

TECHNISCHE HOGESCHOOL DELFT
AFDELING DER CIVIELE TECHNIEK
VAKGROEP WATERBOUWKUNDE



VAKGROEP
WATERBOUWKUNDE
Afd. Civiele Techniek
TH Delft

PROBABILISTISCHE ANALYSE
VOOR DE CAPACITEIT VAN HET
LOZINGSMIDDEL BIJ BATH

P. Struik

student aan de Technische Hogeschool Delft,
afdeling der Civiele Techniek,
vakgroep Waterbouwkunde.

Afstudeer-hoogleraar: Prof. ir. J.F. Agema
Afstudeer-begeleider: Ir. J. Stuip

Delft,
augustus 1982

INHOUD

	blz.
Inleiding	1
Samenvatting	2
1 Inleiding; de Deltawerken	4
1.1 Het Deltaplan	4
1.2 Oosterscheldeproblematiek	9
1.3 De compartimenteringswerken	12
1.4 Zout versus zoet	18
1.5 Peil- en kwaliteitsbeheer Zoommeer; situering lozingsmiddel	24
1.6 Lozingsmiddel; het huidige ontwerp	27
2 Peilbeheer op het Zoommeer	31
2.1 Algemeen	31
2.1.1 Inleiding	31
2.1.2 Peilbeheer; beschrijving van het systeem	33
2.1.3 Lozingscapaciteit; berekeningswijze Rijkswaterstaat	37
2.2 Het waterbezwaar op het Zoommeer	41
2.3 Lozingscapaciteit van de spuisluis	47
2.3.1 Algemeen	47
2.3.2 Berekening lozingscapaciteit spuisluis	50
2.3.3 Verband Zoommeerwaterstand, laagwater op de Westerschelde en afvoercapaciteit van het lozingsmiddel	54
2.4 De waterstanden ter weerszijden van de spuisluis; lozingscapaciteit	56
2.4.1 Waterstand aan de Westerschelde-zijde	56
2.4.2 Astronomisch getij op de Westerschelde bij Bath	57
2.4.3 Windinvloed op de waterstanden op de Westerschelde	60
2.4.4 Waterstanden aan de Zoommeer-zijde van de spuisluis	63
2.4.5 Windinvloed op de Zoommeerwaterstanden	63

	blz.	
2.4.6	Correlatie tussen de windinvloeden op de waterstanden aan Westerschelde- en Zoommeerzijde van de spuisluis	64
2.4.7	Definitief verband tussen laagwater op Westerschelde, Zoommeerwaterstand en afvoercapaciteit lozingsmiddel	69
2.4.8	Kansdichtheidsfunctie van de laagwaterstanden op de Westerschelde bij Bath	71
2.5	Kans op een peilstijging, gerekend over een decade	76
2.5.1	Peilstijging op het Zoommeer; tweedimensionale kansdichtheidsfunctie en probabilistische berekening	76
2.5.2	Discussie van de resultaten	84
2.6	Peilstijgingen gedurende kortere windopzet-periodes	88
2.6.1	Algemeen	88
2.6.2	Maatgevende waterbezwaren over kortere periodes	89
2.6.3	Het verschil in waterbezwaar en lozingscapaciteit, bij een peilstijging, voor kortere periodes	93
2.6.4	Windopzetperiodes op de Westerschelde	94
2.6.5	Tweedimensionale kansdichtheidsfunctie voor duur en hoogte van de opzetperiode	99
2.6.6	De driedimensionale kansdichtheidsfunctie voor een peilstijging op het Zoommeer	102
2.6.7	Discussie van de resultaten	106
3	Kwaliteitsbeheer Zoommeer	107
3.1	Inleiding	107
3.1.1	Algemeen	107
3.1.2	Beschrijving van het systeem	109
3.1.3	Foutenboom	112
3.1.4	Rekenperiode	114

	blz.	
3.2	Zoutbelastingen	115
3.2.1	Zoutbelasting bij de schutsluizen	115
3.2.2	Neerslag, polderlozingen, afvoer Westbrabantse rivieren	122
3.2.3	Zoutgehalte Volkerak-inlaatdebiet	125
3.2.4	Zoetwaterverlies bij de schutsluizen	128
3.3	Chloridegehalten Zoommeer	130
3.3.1	Water- en chloridebalans	130
3.3.2	Het doorspoeldebiet QVK	133
3.3.3	Nivo-II berekening chloridegehalten Zoommeer, bij gemiddelde voorspelling van de zoutlast bij de schutsluizen	134
3.3.4	Nivo-II berekening voor chloridegehal- ten op het Zoommeer, bij pessimisti- sche schatting voor de zoutlast bij de schutsluizen	139
3.4	Chloridegehalten op de vakken I, II en III	142
3.4.1	Berekening van het chloridegehalte per vak	142
3.4.2	Vergelijking van de resultaten, met de door Rijkswaterstaat gevonden waarden	146
3.5	Conclusies	148
	Literatuur hoofdstuk 1	150
	Literatuur hoofdstukken 2 en 3	152
	Bijlagen	

Inleiding

Deze studie is verricht als deelontwerp in het kader van de eindstudie voor civiel ingenieur bij de vakgroep Waterbouwkunde.

Het onderwerp van deze studie werd gevonden op aangeven van de Deltadienst van Rijkswaterstaat, waar men geïnteresseerd was in een analyse van het reeds ontworpen lozingsmiddel van het Zoommeer.

Het Zoommeer ontstaat wanneer de Oosterschelde door middel van dammen gecompartmenteerd zal zijn. Achter de dammen ontstaat een randmeer, het Zoommeer, dat in de toekomst zoet zal zijn en een vast waterpeil zal hebben.

Om zowel het waterpeil als de waterkwaliteit van het meer te kunnen beheren, wordt er een lozingsmiddel aangelegd, het spuikanaal en de spuisluis bij Bath. Hierdoor kan water van het Zoommeer afgevoerd worden naar de Westerschelde.

In deze studie wordt aandacht besteed aan de lozingscapaciteit van deze spuisluis. Om het peil en de waterkwaliteit van het meer doelmatig te kunnen beheren is een voldoende capaciteit van de sluis benodigd. We zullen voor beide aspecten de kans op 'falen van het systeem' -het optreden van een peilstijging resp. een hoog chloridegehalte op het Zoommeer- afschatten. Hierbij is uitgegaan van het ontwerp, zoals dat door Rijkswaterstaat is gemaakt. Verder is in dit deel van het afstudeerwerk verondersteld dat de spuisluis naar behoren functioneert. Bij het bepalen van de kans op het optreden van een peilstijging of hoog chloridegehalte wordt gebruik gemaakt van probabilistische berekeningen.

In het hoofdontwerp van het afstudeerwerk zal aandacht besteed worden aan het falen van de spuisluis op zich.

Samenvatting

In het eerste hoofdstuk van deze scriptie wordt aandacht besteed aan de historie van de Deltawerken en een algemene "terreinverkenning" uitgevoerd. De Oosterschelde-problematiek neemt hierbij een belangrijke plaats in; de discussie omtrent open/dicht en milieuaspecten komen aan de orde. Dit mondt uit in een beschrijving van de compartimenteringswerken en het Zoommeer. Tot slot van hoofdstuk 1 wordt het huidige ontwerp van het spuikanaal en de spuisluis beschreven, zoals dat door Rijkswaterstaat is gemaakt. In de volgende hoofdstukken wordt hiervan gebruik gemaakt.

Hoofdstuk 2 gaat in op de kans op peilstijgingen op het Zoommeer. Wanneer, gedurende een bepaalde periode, de lozingscapaciteit van het meer overschreden wordt door de wateraanvoer, zal er een peilstijging optreden. Door kansverdelingen op te stellen van de waterbezwaren op het Zoommeer en van de lozingscapaciteit van de spuisluis, en deze vervolgens te combineren, kan de kans op het optreden van een peilstijging bepaald worden.

In het laatste hoofdstuk wordt aandacht besteed aan het kwaliteitsbeheer van het Zoommeer. De kwaliteit van het Zoommeerwater wordt direct gerelateerd aan het chloridegehalte ervan. Door verschillende oorzaken komt er chloride op het Zoommeer; via de schutsluizen, polderlozingen, enz. Hierdoor zal het chloridegehalte op het meer stijgen. Het chloridegehalte kan verlaagd worden door het meer door te spoelen met relatief zoet water, uit het Hollands Diep. Dit doorspoeldebiet zal dan ook weer via de spuisluis geloosd moeten worden. We stellen voor zowel het zout als het water balansvergelijkingen op en bepalen voor elke variabele in deze vergelijkingen de kansverdeling. Met behulp van een probabilistische berekening op nivo II wordt dan de kans op overschrijding van een bepaald chloridegehalte op het Zoommeer bepaald.

We doen dit voor verschillende doorspoeldebieten en chloridegehalten.

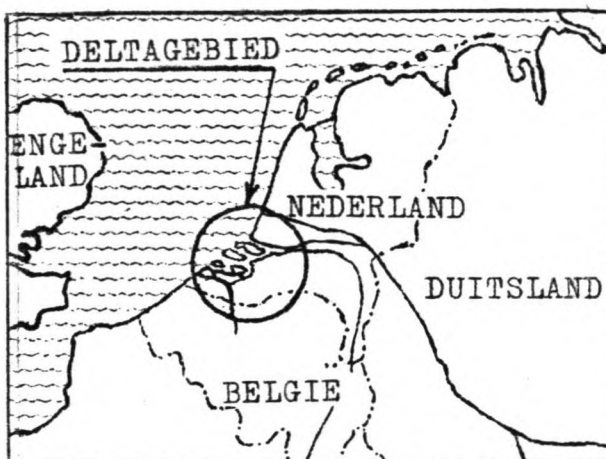
Uiteindelijk kan een uitspraak gedaan worden omtrent de lozingscapaciteit van de spuisluis bij Bath; als de gevonden kansen voor peilstijgingen en chloridegehalten aanvaardbaar zijn, is de lozingscapaciteit van de sluis voldoende. Het zal blijken dat dit inderdaad het geval is.

1 Inleiding; de Deltawerken

1.1 Het Deltaplan

Zoals vrijwel iedere Nederlander weet is de geschiedenis van ons land sterk beïnvloed door de strijd tegen het water zoals die door de jaren heen is gevoerd. Hiervan getuigen vandaag de dag nog de vele terpen die we vinden in Friesland, de dijken langs onze rivieren en kusten, het systeem van gemalen, afwateringen en kanalen, onze dammen en zeekeringen.

Eén van de gebieden die wel zeer ernstig door het water werden bedreigd is het Delta-gebied in het zuidwesten van Nederland. Dit is de delta van onze grote rivieren, de Rijn, de Maas en de Schelde, zoals op het kaartje in figuur 1.1 in beeld is gebracht.

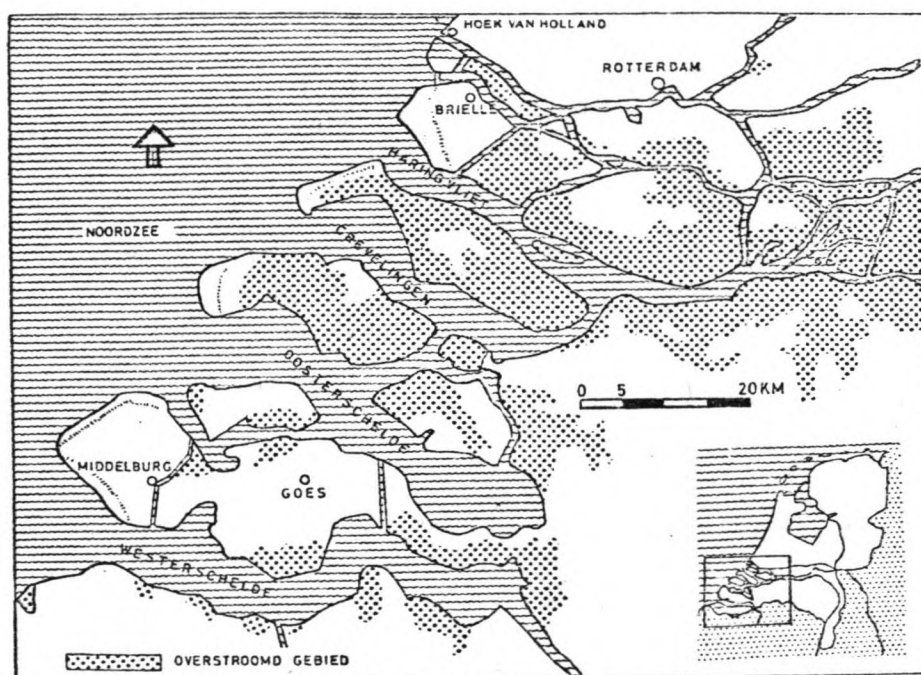


Figuur 1.1, Het Deltagebied.

Naar aanleiding van vele overstromingen zijn er in de loop der tijden, maar vooral in de laatste 5 decennia, al verschillende plannen gemaakt om het Deltagebied beter tegen de zee te kunnen beschermen. Studies van de 'Stormvloedcommissie 1939' rekenden al voor dat de bestaande zeewaterkeringen niet langer bestand waren tegen extreem hoge stormvloedwaterstanden. In die tijd bepaalde men de vereiste dijkhoogte aan de hand van de hoogste bekende waterstand. Men beschikte nog niet over de kennis om de kans op nog hogere en zeer hoge stormvloedstanden te bepalen.

Overeenkomstig de plannen voor een betere beveiliging tegen de zee, was men reeds vóór de waternoodsramp van 1953 begonnen met het afsluiten van enkele kleine zeearmen. Zo werden de Brielse Maas, tussen Voorne en Rozenburg, en de Braakman, in Zeeuws-Vlaanderen, respectievelijk in 1950 en 1952 afgesloten.

De bestudering van de mogelijkheden om ook andere zeearmen af te sluiten en zodoende de veiligheid tegen overstromingen te vergroten, was in volle gang, toen op 1 februari 1953 de bevolking werd verrast door de waternoodsramp. Bij deze ramp brak de extreem hoge stormvloed op tal van plaatsen door de zeedijken, waardoor grote delen van zuidwest Nederland overstromden. Figuur 1.2 geeft hiervan een beeld. Er waren tengevolge van deze overstromingsramp 1850 mensenlevens te betreuren.



Figuur 1.2: Waternoodsramp, 1 februari 1953, overstromde gebieden in zuidwest Nederland.

Met grote inspanning gelukte het binnen één jaar alle gaten in de zeekering te sluiten en de overstromde gebieden weer droog te maken.

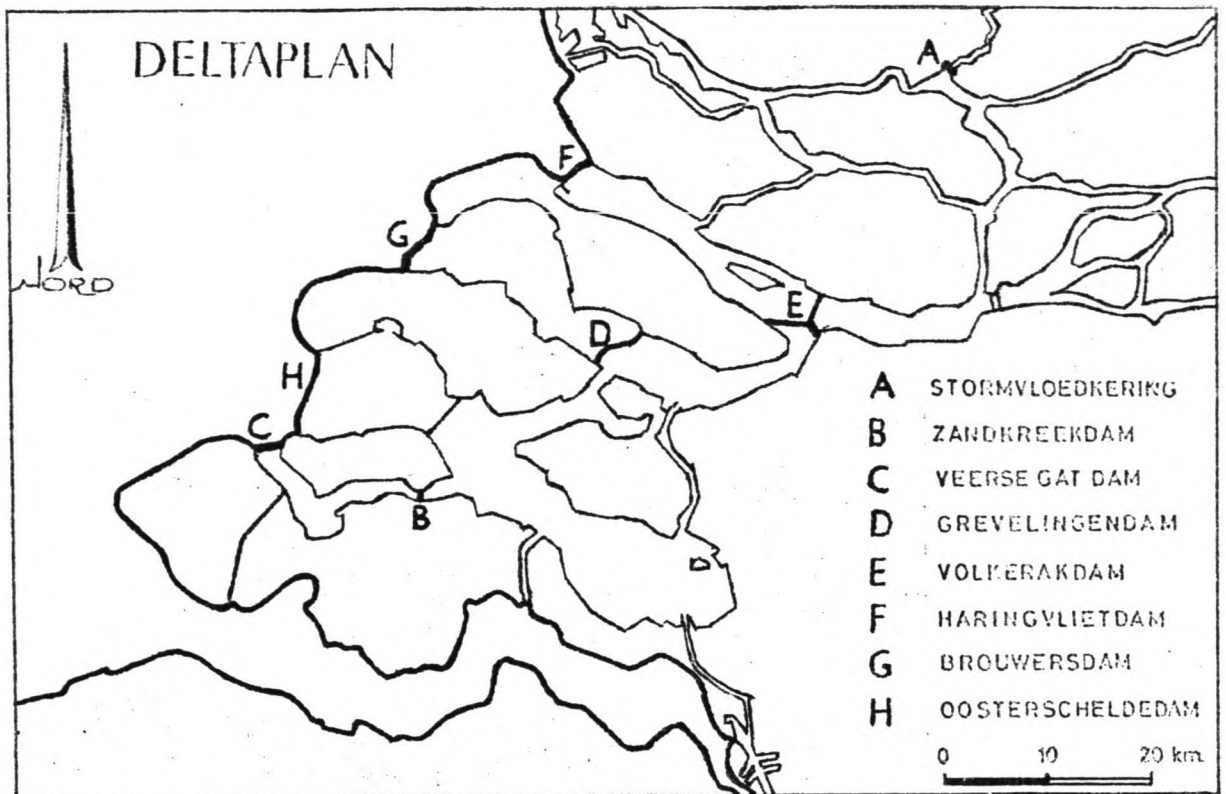
Na deze waternoedsramp was men zich nog sterker bewust van de noodzaak een beter verdediging van het Deltagebied tegen het zeewater te realiseren. Slechts enkele weken na de ramp werd door de toenmalige minister van Verkeer en Waterstaat de "Deltacommissie" ingesteld, bestaande uit een aantal waterbouwkundig ingenieurs, een landbouwkundig ingenieur en een econoom. Deze Deltacommissie kreeg als opdracht een antwoord te vinden op de vraag welke waterstaatkundige voorzieningen getroffen konden worden om overstromingsrampen zoals die van februari 1953 in de toekomst te voorkomen.

Na het tweede interim-advies van de commissie werd reeds in 1954 begonnen met de bouw van de beweegbare stormvloedkering in de Hollandse IJssel, het eerste deel van de Deltawerken. Na de uiteindelijke rapportage van de commissie werd op 5 november 1957 de Deltawet, basis voor het Deltaplan, door de Tweede Kamer aangenomen.

De Deltawet beoogt de gestelde veiligheid tegen overstromingen te bereiken door middel van een kustverkorting en een versterking van de hoogwaterkeringen. De kustverkorting moet dan plaatsvinden door afsluiting van alle zeearmen in het Deltagebied, behalve de Westerschelde. Figuur 1.3 geeft hiervan een beeld.

Deze afsluiting van de zeearmen heeft naast de bedoelde vergroting van de veiligheid echter ook grote gevolgen voor de waterhuishouding van het achterliggende gebied. Het Deltaplan beoogt een betere waterbeheersing voor het gehele land mogelijk te maken, waarbij zo weinig mogelijk zoet water naar zee wordt afgevoerd en het zoute water zoveel mogelijk in zeewaartse richting wordt teruggedrongen. Zodoende komt meer zoet water beschikbaar voor landbouw en drinkwatervoorziening en wordt verzilting van de bodem tegengegaan.

De werken behorende tot het Deltaplan werden direct met grote voortvarendheid ter hand genomen en inmiddels zijn veel van de afsluitingen al een feit.



Figuur 1.3: Het Deltaplan; kustverkorting en versterking van de waterkeringen.

De letters A tot en met H in figuur 1.3 geven in chronologische volgorde de werken ter afsluiting van de zee-armen aan. Tegen het einde van de jaren vijftig kwam de stormvloedkering in de Hollandse IJssel gereed. In respectievelijk 1961 en 1965 volgden de Zandkreekdam en de Grevelingendam, ter afsluiting van het Grevelingen. In 1970 werd het spuisluizencomplex in de monding van het Haringvliet in werking gesteld en de Volkerakdam voltooid. Het jaar daarop volgde de sluiting van het Brouwershavense Gat.

We zien dat bij de afsluiting van de getijdebekken van klein naar groot werd gewerkt. Op deze wijze kon men bij de sluiting van een volgend, groter, bekken steeds gebruikmaken van de ervaring die was opgedaan bij voorgaande sluitingen, waarbij kleinere getijvolumes een rol speelden.

Ondertussen werden ook reeds vele kilometers zeewering langs de gehele kust verhoogd en versterkt. Met het laatste en grootste werk, de afsluiting van het Oosterschelde-bekken, werd in 1967 een begin gemaakt. Hierbij kwamen echter niet alleen technische problemen om de hoek kijken; er ontstond een heftige discussie tussen vóór- en tégenstanders van de afsluiting. Hierop gaan we in de volgende paragraaf nog wat verder in.

Bij het aannemen van de Deltawet door de Tweede Kamer werd er gerekend op een uitvoeringstijd van 25 jaar. In 1978 zou het gehele Deltaplan gerealiseerd moeten zijn. De veranderde inzichten aangaande de Oosterscheldewerken hebben echter voor een grote vertraging gezorgd. Het uiteindelijke jaar van gereedkomen wordt nu geschat op 1985, maar ook hierover bestaan al weer twijfels.

Wanneer het nieuwe ontwerp voor de werken in de Oosterschelde-monding werkelijkheid geworden zullen zijn is het Deltaplan daarmee voltooid. De beoogde veiligheid tegen overstromingen van zuidwest Nederland zal dan gerealiseerd zijn. (zie figuur 1.4)



Figuur 1.4: De Delta-
werken voltooid;
door middel van een
kustverkorting een
grotere veiligheid.

1.2 Oosterscheldeproblematiek

Zoals in de voorgaande paragraaf al aangeduid zou, als laatst onderdeel van het Deltaplan, het Oosterscheldebekken worden afgesloten door middel van een dam. Toen men echter begon met dit werk ging er een steeds toenemend aantal stemmen op tégen afsluiting van dit bekken. Aanvankelijk slechts enkele vissers en milieugroeperingen, maar allengs méér mensen waren de mening toegedaan dat een open Oosterschelde te prefereren was, boven een afgesloten bekken, en gaven daarvan steeds openlijker blijk.

Als belangrijkste voordeel van de voorgenomen afsluiting werd gezien dat met relatief lage kosten de bij de Deltawet beoogde kustverkorting en veiligheid gerealiseerd zouden kunnen worden. De groeperingen die het open-houden van de Oosterschelde nastreefden hadden voornamelijk oog voor het natuurlijk milieu; een uniek zout getijde-milieu, met schorren en slikken die tweemaal daags droogvallen en weer onderlopen. Dit milieu zou volledig verloren gaan bij een eventuele sluiting van het bekken.

Niet alleen milieugroeperingen hielden zich hiermee bezig; de zeeuwse vissers, mossel- en oesterkwekers kwamen ook in verzet en mengden zich in de discussie. Een reden temeer om het zoute getijde-milieu te willen handhaven was, dat het inmiddels stabiel(er) (lees: zouter) geworden was. Dit vond z'n oorzaak in het feit dat de grote rivieren hun zoete water niet meer naar het zuidelijk Deltagebied afvoerden, als gevolg van de aanleg van de Volkerakdam. Deze tegenstanders van een gesloten bekken hadden voor ogen de vereiste Deltawet-veiligheid te realiseren door de bestaande dijken langs het Oosterscheldebekken te verhogen en te versterken.

Naar aanleiding van deze discussie werd in 1973 (de werken ter afsluiting van het bekken waren reeds 6 jaar bezig!) door de minister van Verkeer en Waterstaat de 'Oosterschelde Commissie' ingesteld.

Deze commissie kreeg tot taak de verschillende alternatieven te onderzoeken en te rapporteren omtrent alle veiligheids- en milieuaspecten die hierbij een rol spelen. Tevens moest worden nagegaan of een aanpassing van de Deltawet noodzakelijk was als er gekozen zou worden voor één van de alternatieve oplossingen.

Op 1 maart 1974 kwam de commissie met een voorstel dat zowel de veiligheidseisen als de milieuaspecten diende. Er zou eerst een voorlopige waterdoorlatende blokkendam worden aangelegd, waarbij het getij gedeeltelijk gehandhaafd zou blijven, terwijl een eventuele stormvloed gereduceerd zou worden. Na de aanleg van deze blokkendam zou in een bouwput een afsluitbare stormvloedkering gebouwd moeten worden. Aansluitend moest dan de doorlatende dam afgebouwd worden tot een dichte dam.

Naar aanleiding van het rapport van de Oosterschelde Commissie werden door Rijkswaterstaat en de aannemingscombinatie 'Dos' nog verschillende andere voorstellen aangedragen. Deze werden onderzocht op technische haalbaarheid, benodigde financiën en tijdstip van gereedkomen.

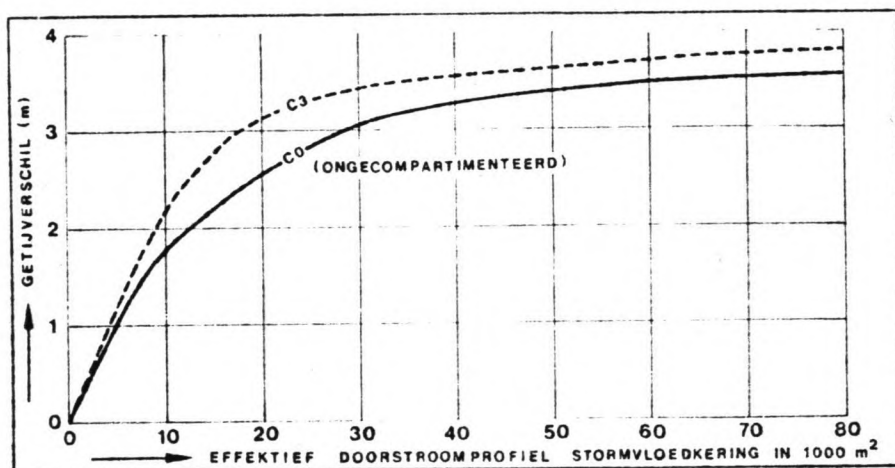
Uiteindelijk werd op 23 juni 1976 door de Tweede Kamer besloten tot de bouw van een stormvloedkering in de monding van de Oosterschelde. Deze stormvloedkering zal bestaan uit pijlers, met daartussen beweegbare schuiven die de openingen tussen de pijlers kunnen afsluiten. Onder normale weersomstandigheden zullen de schuiven geopend zijn, zodat het getij vrij toegang heeft tot het bekken. Bij stormweer met hoge waterstanden worden de schuiven neergelaten, waardoor de in de Deltawet vastgelegde kustverkorting ontstaat en de vereiste veiligheid gewaarborgd is.

Door de bouw van de stormvloedkering in de monding van de Oosterschelde wordt het netto doorstroomprofiel verkleind tot 14000 m^2 . Deze doorstroomopening is een compromis tussen de wens een zo groot mogelijke getijinvloed op het Oosterschelde- bekken te handhaven en de door de regering gestelde financiële grens.

Om bij de gekozen doorstroomopening toch een voldoende verticaal getijverschil te kunnen handhaven is het noodzakelijk de oppervlakte van het bekken te verkleinen. Dit wordt gerealiseerd door het bekken met behulp van twee dammen in compartimenten te verdelen, de zogenaamde compartimenteringswerken.

De grootte van het netto doorstroomprofiel en het oppervlak van het getijde-bekken worden nu zó op elkaar afgestemd dat er een gemiddeld getijverschil van 2,70 m. bij Yerseke gehandhaafd blijft. Dit is 77% van het oorspronkelijk getijverschil en wordt voldoende geacht voor het in stand houden van de zoutminnende flora en fauna in het getijde-milieu, waaronder ook de schelpdiercultures.

Eén en ander wordt geïllustreerd door het verband tussen het doorstroomprofiel en het getijverschil bij Yerseke, zoals dit gegeven is in figuur 1.5.



Figuur 1.5, Verband tussen doorstroomprofiel van de stormvloedkering en het getijverschil bij Yerseke, bij gemiddeld getij.

C₀: Oosterschelde ongecompartimenteerd,
 C₃: Oosterschelde gecompartmenteerd met Philipsdam en Oesterdam.

1.3 De compartimenteringswerken

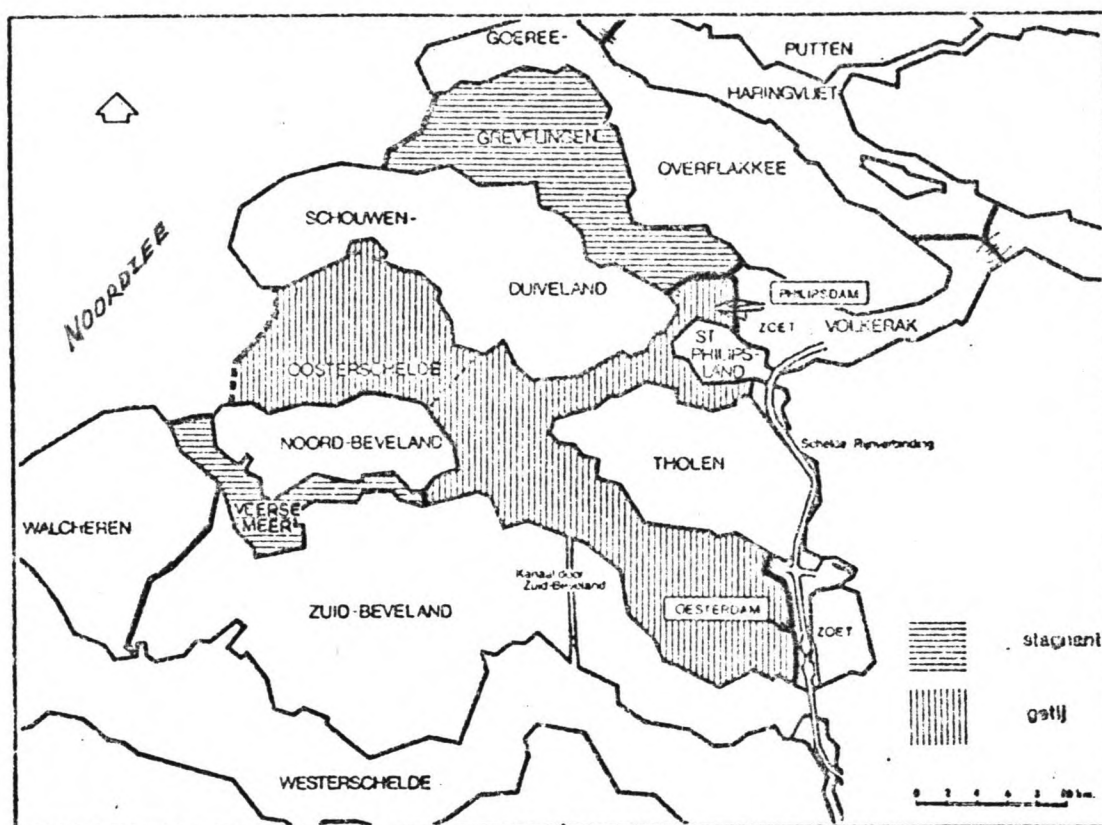
Reeds tijdens de studie van de Oosterschelde Commissie naar de mogelijkheden om de getij-invloed op de Oosterschelde te handhaven, bleek het noodzakelijk het bekken daartoe te verdelen in een aantal compartimenten. In het westelijk compartiment zou dan de beweging van eb en vloed aanwezig blijven, terwijl in het oostelijk compartiment, grenzend aan Noord-Brabant, een zoet meer met een vaste waterstand zou ontstaan.

Deze compartimenteringswerken zijn noodzakelijk om de volgende redenen:

- In een tractaat met België heeft Nederland zich vastgelegd tot de aanleg van een getij-vrije Schelde-Rijn verbinding. Op dit traject zijn de doorvaarthoogten van de bruggen en de kanaaldiepten reeds hierop gebaseerd. Verder zou de scheepvaart grote hinder ondervinden van getijstromingen als er niet word gecompartmenteerd.
- Een goede zoetwaterhuishouding van westelijk Brabant en het noordelijk Deltabekken wordt mogelijk gemaakt door de aanleg van de compartimenteringsdammen. Achter de dammen zal door middel van het zoete randmeer de verzilting van gronden kunnen worden tegengegaan.
- Doordat de netto doorstroomopening in de monding van de Oosterschelde kleiner wordt zal ook het getijoppervlak van het bekken verkleind moeten worden om een voldoende getijbeweging te behouden.

Om de verschillende alternatieven voor de compartimenterig te onderzoeken heeft de minister van Verkeer en Waterstaat in 1974, nadat in principe besloten was tot de bouw van de stormvloedkering, de 'Commissie Compartimentering Oosterschelde' (C.C.O.) ingesteld. Naast het adviseren van de minister en de provinciale besturen van Zeeland en Noord-Brabant, kreeg deze commissie tot taak het gekozen alternatief verder uit te werken en de uiteindelijke uitvoering te begeleiden.

Na het rapport van de C.C.O., waarin een vergelijking van de vier overgebleven alternatieven werd gegeven, en adviezen van de Raad van de Waterstaat en van de Rijksplanologische Commissie, besloot de regering in 1975 tot compartimentering volgens model "C3-kanaal door Zuid-Beveland". Figuur 1.6 geeft een beeld van hetgeen dit model inhoudt. Deze beslissing werd definitief toen in juni 1976 werd besloten dat de bouw van de stormvloedkering in de monding van de Oosterschelde doorgang moest vinden.



Figuur 1.6: Compartimenteringsmodel C3-kanaal door Zuid-Beveland.

Zoals ook op bovenstaand kaartje te zien is houdt dit compartimenteringsmodel het volgende in:

- De aanleg van een dam tussen Sint-Philipsland en de Grevelingendam, de Philipsdam. Deze dam wordt voorzien van een schutsluizencomplex.

- De aanleg van de Oesterdam, tussen Tholen en Zuid-Beveland, parallel aan de Schelde-Rijnverbinding. In deze dam wordt eveneens een schutsluis gesitueerd.
- Omkading van het Markiezaat van Bergen op Zoom.
- Verruiming van het kanaal door Zuid-Beveland met een aanpassing van de schutsluis bij Hansweert. De schutsluis aan de Oosterschelde-zijde van het kanaal, bij Wemeldinge, vervalt.
- Aanleg van een lozingsmiddel voor peil- en kwaliteitsbeheer van het meer, dat ontstaat achter de beide dammen.

Bij dit alternatief gaat een groot deel van de westelijke scheepvaart door getijwater. Doordat er een sluispassage in de Philipsdam bijkomt en men het totaal aantal sluispassages tussen Rotterdam en Terneuzen niet wilde vergroten, is er gekozen voor het laten vervallen van de sluis bij Wemeldinge. Dit heeft tot gevolg dat het gedempt getij van de Oosterschelde op het kanaal door Zuid-Beveland toegelaten wordt.

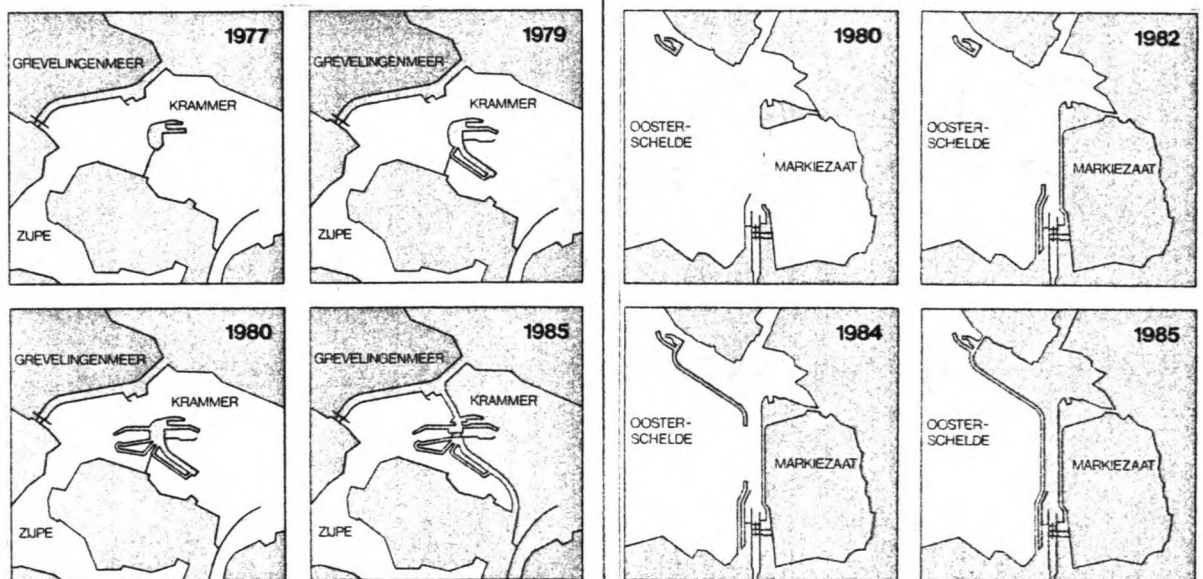
De aanleg van de Philipsdam en de Oesterdam hebben tot gevolg dat het oostelijk deel van het Oosterschelde-bekken, bestaande uit Volkerak, Eendracht en Markiezaat, afgescheiden worden van het getijdegebied. Deze delen zullen in de toekomst een zoet meer gaan vormen met een nagenoeg vast peil, het Zoommeer.

Het tracé van de Philipsdam is zodanig vastgesteld dat aan zoveel mogelijk belangen zo goed mogelijk tegemoet wordt gekomen. Zo is de aansluiting op de Grevelingendam zodanig ontworpen dat in de toekomst nog kan worden beslist omtrent een zout of zoet Grevelingenmeer. Bij de aansluiting van de dam aan Tholen heeft het behouden van zoveel mogelijk inter-getijdegebied een grote rol gespeeld.

Wat betreft het schutsluizencomplex in de Philipsdam is besloten tot de bouw van 2 duwvaartsluizen, ingericht op 4-baks duwvaart, en 1 jachtensluis. Tevens worden reeds voorzieningen getroffen, zodat uitbreiding tot 3 duwvaartsluizen en 2 jachtensluizen mogelijk is.

De bouw van het sluisencomplex is reeds vergevorderd, terwijl er ook al een aanvang is gemaakt met de aanleg van de damvakken. Diverse aanlegstadia en de tijdsplanning voor de Philipsdam zijn aangegeven in figuur 1.7.

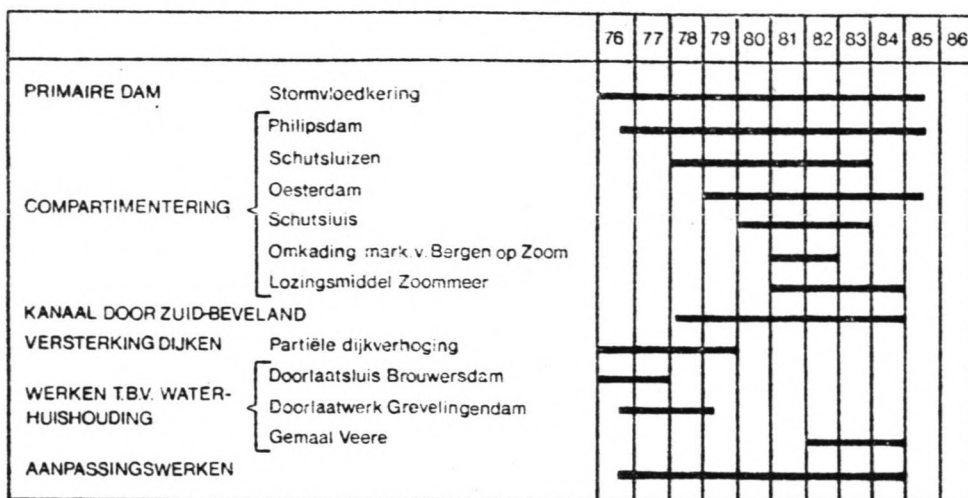
Het tracé van de Oesterdam ligt voor het grootste deel zo dicht mogelijk langs de Schelde-Rijnverbinding, om het waardevolle getijdegebied, achter in het Oosterschelde-bekken, zo groot mogelijk te houden. Het noordelijk deel van de dam buigt naar het westen af om het laatste sluitgat, het Tholensche Gat, te kunnen afsluiten op een manier die voor de scheepvaart de minste overlast veroorzaakt. Het zuidelijk deel van de dam, de aansluiting op Zuid-Beveland, is zo oostelijk mogelijk gesitueerd, met dien verstande dat er een ca. 200 m. brede strook naast de geleidedammen van de Kreekraksluizen vrij moet blijven voor de aanleg van het lozingsmiddel. Figuur 1.8 geeft een beeld van aanlegstadia en tijdschema van de Oesterdam.



Figuur 1.7 en 1.8, Tracé en aanlegstadia van respectievelijk Philipsdam en Oesterdam.

In de Oesterdam, iets zuidelijk van het Tholensche Gat, wordt een schutsluis gebouwd. Deze dient om het gebied ten oosten van de dam toegankelijk te houden voor hoge scheepvaart en de toekomst van Bergen op Zoom als kleine zeehaven veilig te stellen. De sluis zal worden uitgevoerd als een zogenaamde liftsluis; de werking van een dergelijke sluis zal nog nader worden toegelicht in de volgende paragraaf. Bij dit type schutsluis wordt een goede scheiding tussen zout- en zoet water verwezenlijkt, terwijl er incidenteel ook een groter schip kan worden geschut door de 'lift' buiten werking te stellen. Tot slot van deze alinea zij nog opgemerkt dat de bouw van de liftsluis in de Oesterdam recentelijk (begin 1982) sterk ter discussie staat; noodzakelijke bezuinigingen spelen hierin een overheersende rol.

Uit het voorgaande zal reeds duidelijk zijn dat de werken in het Oosterschelde-bekken nauwkeurig op elkaar zijn afgestemd. Dit geldt ook voor de tijdschema's van de bouw van de stormvloedkering, de compartimenteringsdammen en het lozingsmiddel. Als de beide dammen te laat klaar zouden zijn ten opzichte van de stormvloedkering, is er gedurende enige tijd een te kleine getij-invloed op het bekken, met grote nadelige gevolgen voor het milieu. Wanneer de compartimenteringsdammen te vroeg gesloten zouden worden heeft dit, door het nog ongedempte getij, grotere stroomsnelheden in de sluitgaten tot gevolg, hetgeen de sluiting kan bemoeilijken. Het in figuur 1.9 gegeven balken-schema geeft een illustratie van de afstemming van de bouwtijd-planningen van de verschillende werken.



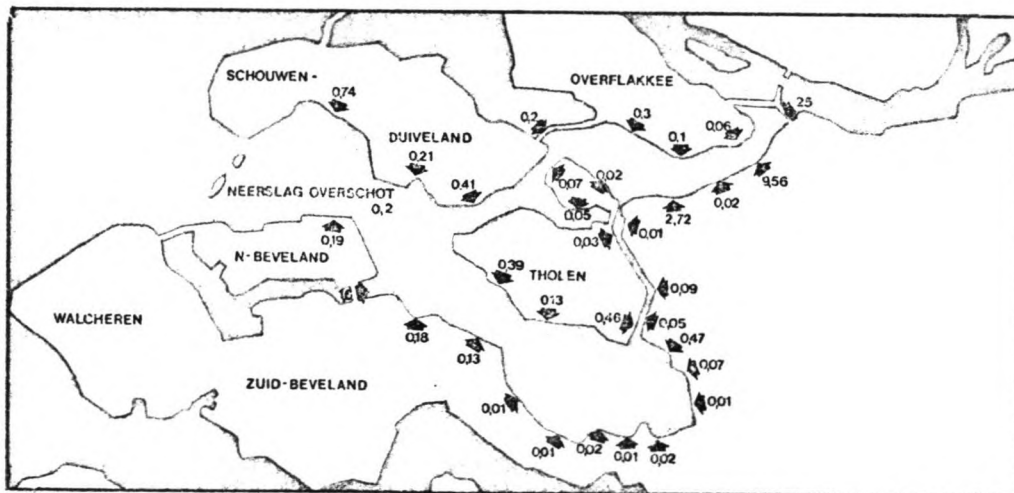
Figuur 1.9, Balkenschema; tijdsplanning van de bouwactiviteiten van de stormvloedkering en de werken van compartimenteringsmodel 'C3-kanaal door Zuid-Beveland'.

Opgemerkt zij nog dat bovenstaand balkenschema enigszins achterhaald is; de bouwactiviteiten zullen uitlopen tot in 1986 en wellicht zelfs 1987.

1.4 Zout versus zoet

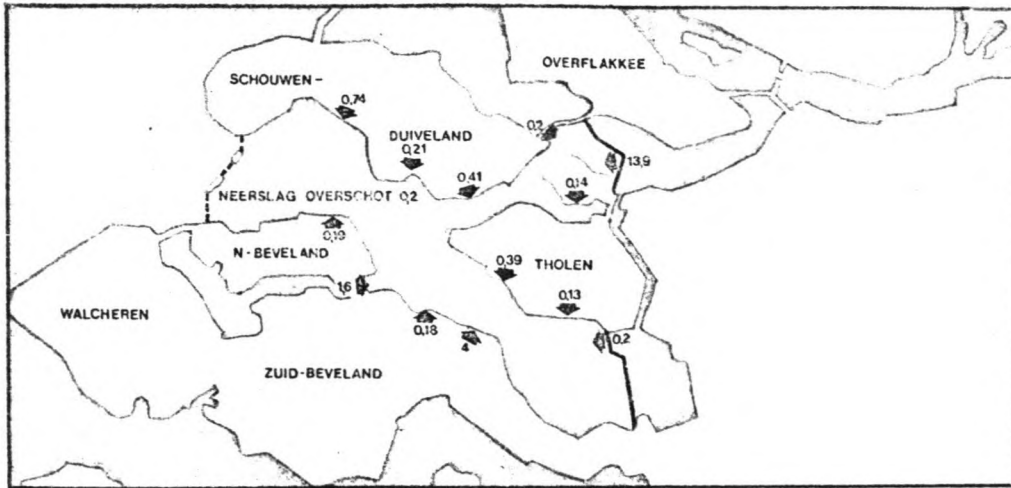
De Philips- en Oesterdam zullen in de toekomst de scheiding gaan vormen tussen het zoute Oosterschelde-getijdebekken en het zoete, peilvaste, Zoommeer; bestaande uit Volkerak, Eendracht en Markiezaat van Bergen op Zoom. Er worden hoge eisen gesteld aan zowel de kwaliteit van het zoute water in het getijdebekken, als aan die van het zoete water van het Zoommeer.

Het Oosterschelde-bekken zal een voldoende hoog chloride-gehalte moeten houden om aan de eisen van de zoutminnende flora en fauna te voldoen. De Oosterschelde wordt op verschillende wijzen belast met water met een andere samenstelling (lager zoutgehalte) dan dat van het bekken zelf; onder andere door neerslag, polderlozingen, rivierafvoeren en schutwater van de sluizen. Figuur 1.10 geeft een overzicht van deze zoetwaterbelastingen in de huidige situatie.



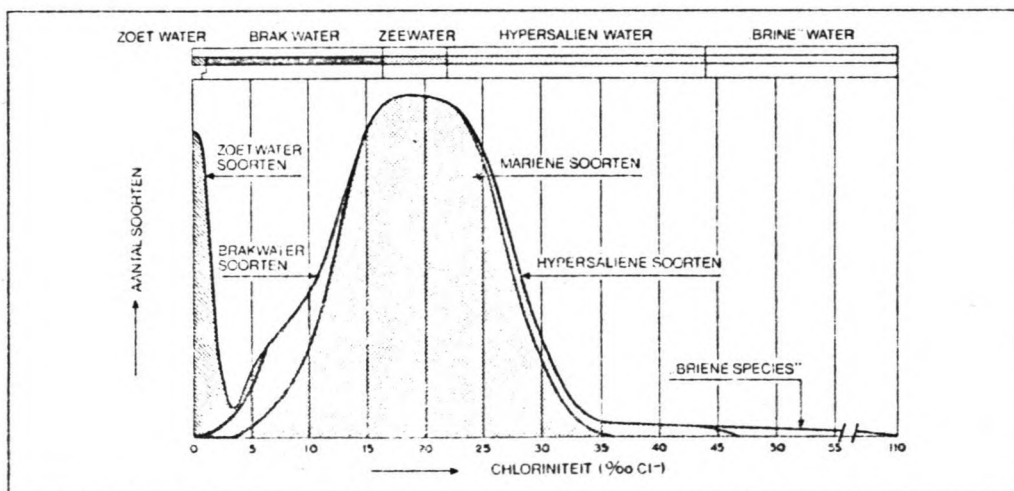
Figuur 1.10, De gemiddelde zoetwaterbelasting op de Oosterschelde in de huidige situatie, in kubieke meters per seconde.

Deze situatie zal door de aanleg van de compartimenteringsdammen en verdere aanpassingen in de waterhuishouding ingrijpend gewijzigd worden, zoals in fig. 1.11 is te zien.

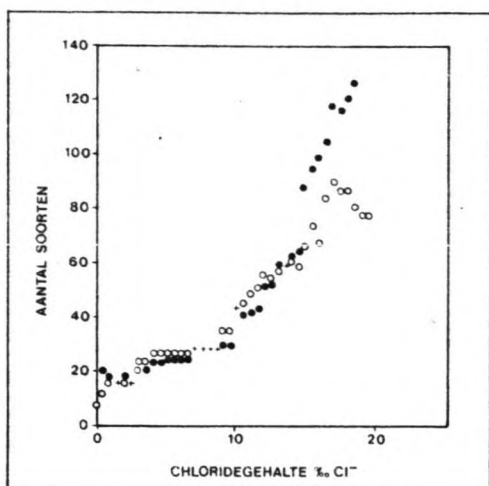


Figuur 1.11, De gemiddelde zoetwaterbelasting op de Oosterschelde in de toekomstige situatie, in kubieke meters per seconde.

Diverse onderzoeken hebben uitgewezen dat een hoger chloride-gehalte van het zoute water een grotere soortenrijkdom van de levensgemeenschap geeft. Ook is aangetoond dat voor een zoet meer, zoals het Zoommeer, een zo laag mogelijk zoutgehalte de beste levenskansen geeft voor flora en fauna. Eén van de onderzoekers, Remane, heeft zijn bevindingen weergegeven in de vorm zoals die in figuur 1.12 is weergegeven. Figuur 1.13 geeft het resultaat van een onderzoek uitgevoerd in het Deltagebied, door Rijkswaterstaat.



Figuur 1.12, De kromme van Remane; verband tussen zoutgehalte en soortenrijkdom.



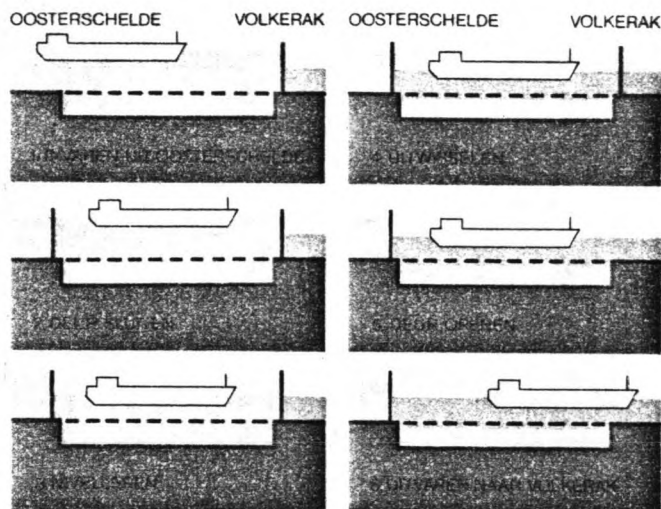
Figuur 1.13, Relatie tussen soortenrijkdom van zeven diergroepen (op harde o en zachte ● ondergrond) in het Deltagebied, en het zoutgehalte.

Om een optimale ontwikkeling van de zoutminnende levensgemeenschap in het Oosterschelde-bekken te kunnen garanderen is een chloride-gehalte van tenminste 15,5 gram Cl^- /liter noodzakelijk. Voor zeer korte perioden zou eventueel een daling tot 13,5 gr. Cl^- /ltr. toelaatbaar kunnen zijn.

Voor het Zoommeer, een stagnant zoet meer, dient het zoutgehalte minder dan 0,3 gr. Cl^- /ltr. te bedragen. Dit is niet alleen een eis voor de ontwikkeling van flora en fauna; het zoutgehalte mag een dergelijke lage waarde niet overschrijden omdat de waterhuishouding van West-Brabant en het noordelijk Deltabekken hieraan direct gerelateerd is. Het streven is de chloride-gehalten op het Zoommeer zo laag mogelijk te houden. Alhoewel het moeilijk is hiervoor harde cijfers te geven, denkt men met name voor het Volkerak aan zoutgehaltenes van ongeveer 0,25 gr/ltr.

We zien dat het noodzakelijk is het Oosterschelde-bekken zo zout mogelijk te houden en het Zoommeer zo zoet mogelijk. Hiertoe dient de zoetwaterbelasting op de Oosterschelde en de zoutwaterbelasting op het Zoommeer zoveel mogelijk beperkt te worden. Eén van de grootste bronnen van deze zout- en zoetlast zijn de schutsluizen die het zoete meer en het zoute bekken verbinden. Om de belastingen te beperken zijn de schutsluizen in de Philips- en Oesterdam uitgerust met een efficiënt zout/zoet-scheidingsysteem.

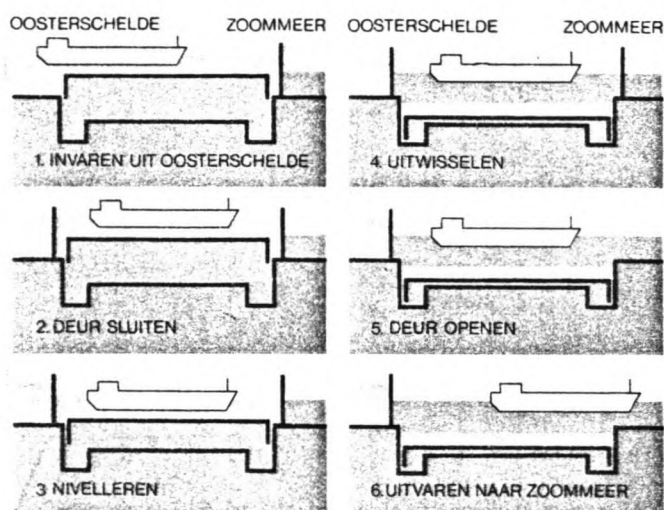
De Philipsdamsluizen worden voorzien van een scheidingsstelsel zoals dat al eerder bij de Kreekraksluizen is toegepast. Dit stelsel is gebaseerd op het vervangen van een zoute kolkinhoud door een zoete, en omgekeerd bij een schutting van zoet naar zout, bij gesloten deuren. Bij het uitwisselen van de kolkinhoud wordt gebruik gemaakt van het feit dat het zoute water zwaarder is dan het zoete water. Figuur 1.14 geeft een beeld van een schutting van zout naar zoet.



Figuur 1.14, Het schutstelsel van de sluizen in de Philipsdam; tijdens het uitwisselen wordt zoet water vervangen door zout water of omgekeerd.

Door toepassing van dit zout/zoet-scheidingsstelsel kan de zoutbelasting op het Zoommeer beperkt worden tot 1 à 2 ‰ van de kolkinhoud per schutcyclus. De zoetwaterbelasting op het Oosterscheldebekken zal 80 à 90 ‰ van de kolkinhoud bedragen per schutcyclus. Als er in een droge periode een tekort aan zoet water in het Zoommeer ontstaat is er nog de mogelijkheid zoet water bij de schutsluizen terug te winnen. Dit gaat echter wel ten koste van een grotere zoutbelasting op het meer.

De schutsluis in de Oesterdam wordt, zo hij gebouwd wordt, uitgevoerd als een liftsluis; een stalen liftbak, met zout water gevuld, beweegt op en neer in een ruime betonnen sluiskolk, met zoet water gevuld. Er bevindt zich een glijdende afdichting tussen liftbak en sluiskolk, zodat een goede scheiding tussen zout en zoet water is verzekerd. De werking van de sluis wordt geïllustreerd in figuur 1.15. Voor het incidenteel schutten van een groter schip dan in de liftbak past, kan het zout/zoet scheidingsysteem uitgeschakeld worden. Het schip kan dan normaal geschut worden via de ruimere betonnen sluiskolk.



Figuur 1.15, Het schutsysteem van de sluis in de Oesterdam; zout water wordt door zoet water vervangen of omgekeerd, door de liftbak, gevuld met zout water, omlaag respectievelijk omhoog te bewegen.

Het blijkt dat dankzij de toepassing van deze systemen de zout- en zoetbelasting bij de schutsluizen aanmerkelijk kunnen worden gereduceerd. In tabel 1.1 wordt een overzicht gegeven van de toekomstige zoutbelastingen op het Zoommeer door de schutsluizen en polderwaterlozingen. Zoals ook blijkt uit een vergelijking van de figuren 1.10 en 1.11 zal in een gemiddeld jaar de totale zoetwaterbelasting op het Oosterscheldebekken $22 \text{ m}^3/\text{sec}$ bedragen;

In de huidige situatie bedraagt deze zoetwaterlast 50 m³/sec. Het is wel zo dat de belasting in de toekomst meer direct op het Oosterscheldebekken zal plaatsvinden; het Volkerak dat nu nog een buffer vormt zal dan een onderdeel zijn van het Zoommeer.

Sluizen	zonder terugwinnen			ca. 50% terugwinnen				
	zout-belasting kg Cl ⁻ /s			zoetwater- verlies in m ³ /s	zout- belasting kg Cl ⁻ /s			zoetwater- verlies in m ³ /s
	min.	gem.	max.		min.	gem.	max.	
Krammersluizen (2 duwvaart + 2 jachtensluizen)	2,5	2,5	4,8	14,2	10,9	15,3	20,9	7,5
Bergsche Diepsluis liftsluis (10 x 90 m)	1	1,2	1,5	0,14				
Kreekraksluizen (2 duwvaartsluizen)	0	0,4	1,7	17,4	3,2	9,7	16,2	8,1

Polderwaterlozingen 4,6 kg Cl⁻/s gemiddeld per dekade.

Tabel 1.1, Zoutbezwaar schutsluizen en polderlozingen in kg.Cl⁻/sec. en zoetwaterverlies schutsluizen in m³/sec.

Wat betreft het Zoommeer wordt het chloridegehalte sterk beïnvloed door het zoutbezwaar bij de schutsluizen. Er is berekend dat elke kg.Cl⁻/sec méér zoutbelasting bij de sluizen een stijging van het zoutgehalte van het meer van 0,02 gr.Cl⁻/ltr tot gevolg heeft. Ook de zoutlast door polderlozingen heeft een grote invloed op het chloridegehalte van het meer. Tengevolge van deze zouttoevoer zou het chloridegehalte van het meer ongeveer 0,2 à 0,6 gr.Cl⁻/ltr bedragen, afhankelijk van plaats en seizoen. Om dit gehalte te verlagen is er de mogelijkheid zoet water in te laten vanuit het Hollands Diep en gelijktijdig relatief zouter water te lozen door het lozingsmiddel bij Bath. Op deze manier wordt het Zoommeer doorgespoeld met zoet water; we komen hierop nog uitgebreid terug in hoofdstuk 3.

1.5 Peil- en kwaliteitsbeheer Zoommeer; situering lozingsmiddel

Zoals we reeds in de vorige paragrafen hebben gezien zal het Zoommeer, ontstaan ten oosten van de compartimenteringsdammen, in de toekomst een zoet meer worden met een nagenoeg vast peil. Om de waterkwaliteit en het peil van dit randmeer te kunnen beheersen zijn voorzieningen vereist om zoet water in te kunnen laten en overtollig water te lozen.

Als inlaatmiddel zal de Volkerak-inlaatsluis fungeren, gesitueerd in het noorden van het meer. Deze inlaatsluis heeft een capaciteit van $300 \text{ m}^3/\text{sec}$, onder gemiddelde omstandigheden op het Hollands Diep en een meerpeil van N.A.P. Deze grote capaciteit was nog gebaseerd op een zoet Zeeuws meer achter een gesloten Oosterscheldemonding.

Wat betreft het spuimiddel om overtollig water te lozen, moet bij de situering en dimensionering rekening gehouden worden met twee hoofdfuncties en één nevenfunctie. De hoofdfuncties van het spuimiddel zijn het reeds genoemde peil- en kwaliteitsbeheer van het Zoommeer. Als nevenfunctie moet het spuimiddel bijdragen in de primaire ontzilting van het meer, kort nadat de dammen zijn gesloten, en het meer nog een zoute inhoud heeft.

Bij de situering van het lozingsmiddel hebben de volgende overwegingen een rol gespeeld:

- Doorspoeling van het Zoommeer, nodig voor een goed kwaliteitsbeheer, is alleen dan effectief voor het gehele meer wanneer het lozingsmiddel in het zuiden is gelegen. Immers, het inlaatpunt is noordelijk gesitueerd.
- Lozing van het zoet Zoommeer-water op een zout Grevelingenmeer is niet mogelijk, terwijl bij lozing op een zoet Grevelingenmeer de waterkwaliteit van dit meer direct gekoppeld zou zijn aan die van het Zoommeer. (De beslissing omtrent een zout of zoet Grevelingenmeer is nog niet genomen.)

Bovendien zou bij lozing op het Grevelingenmeer een extra lozingsmiddel nodig zijn voor de doorspoeling van het zuidelijk deel van het Zoommeer.

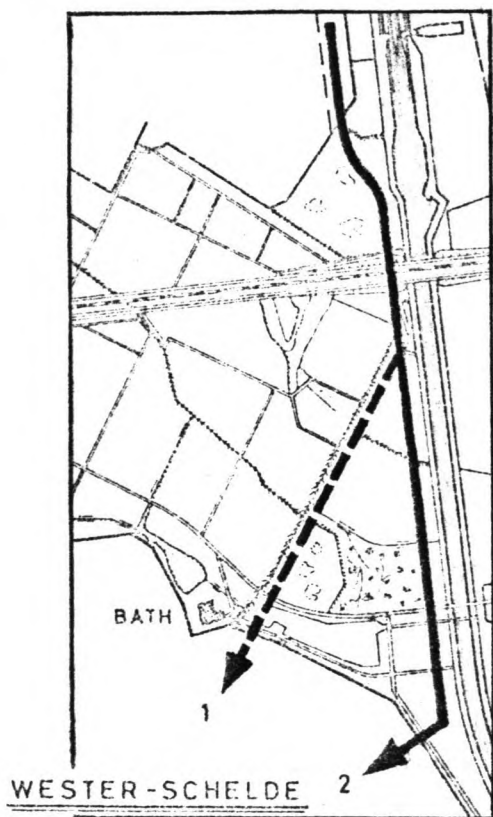
- Het Oosterscheldebekken komt als ontvangend water niet in aanmerking, in verband met de eisen welke aan de kwaliteit van dit water gesteld worden.
- Het incidenteel lozen van overtollig water op het Haringvliet, ten behoeve van peilbeheer, is mogelijk.

Naar aanleiding van de voorgaande overwegingen is gekozen voor een zuidelijke lozing op de Westerschelde, bij Bath.

Het lozingsmiddel zal bestaan uit een open spui-kanaal, tussen het Zoommeer en de hoogwaterkering van de Westerschelde, en een kunstwerk in deze hoogwaterkering. Het spuikanaal zal een lengte hebben van 8,4 km. Het tracé van het kanaal wordt sterk bepaald door de noodzakelijke kruising met de rijkswegen 258 en A58 en de spoorlijn Vlissingen-Bergen op Zoom. Om een kruising met de Schelde-Rijnverbinding te vermijden is het kanaal

westelijk hiervan geprojecteerd.

Er zijn twee hoofdalternatieven voor het tracé van het spuikanaal onderzocht. Alternatief 1 buigt na de kruising met de rijkswegen en de spoorlijn direct af van de Schelde-Rijnverbinding, terwijl alternatief 2 deze blijft volgen en pas vlak bij de Westerschelde afbuigt. Figuur 1.16 illustreert beide alternatieven.

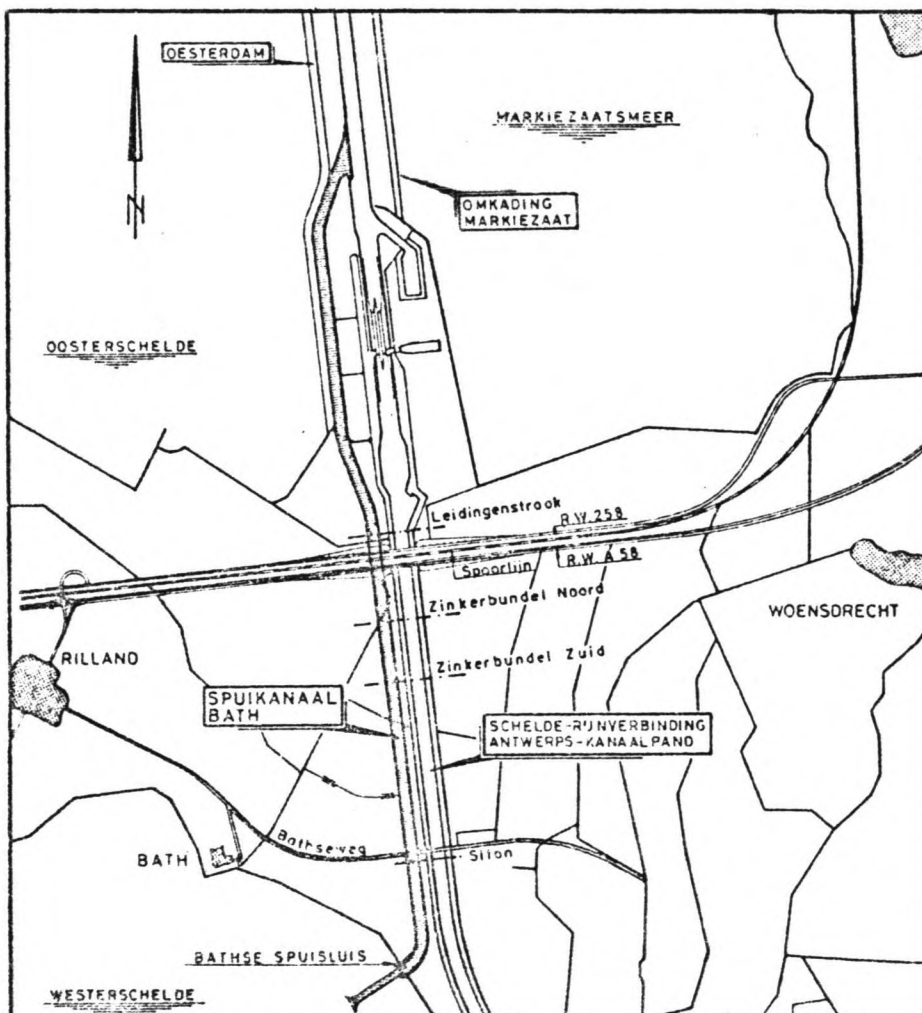


Figuur 1.16, Alternatieve tracé's voor het spuikanaal.

Op grond van verschillende overwegingen is een keuze gemaakt uit de beide alternatieven. Factoren die hierbij een rol hebben gespeeld zijn:

- Infrastructuur; variant 1 betekent een extra doorsnijding van het landschap, terwijl dit bij variant 2, waarbij het spuikanaal dicht langs de Schelde-Rijnverbinding loopt, veel minder het geval is.
- Intergetijdegebieden; er is onderzocht welke variant de minste schade zou berokkenen aan de intergetijdegebieden van de Westerschelde.
- Het verloren gaan van landbouwgronden.
- Scheepvaartseisen .
- Kosten.

Uiteindelijk is gekozen voor variant 2; de toekomstige situatie zal worden zoals in figuur 1.17 is aangegeven.



Figuur 1.17, Situatie spuikanaal Bath.

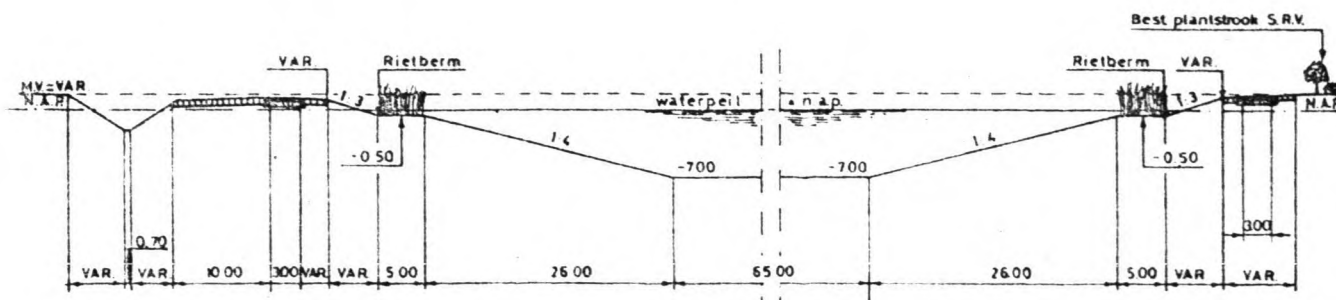
1.6 Lozingsmiddel; het huidige ontwerp

In deze paragraaf zullen de huidige inzichten met betrekking tot het ontwerp van het lozingsmiddel beschreven worden. In de volgende hoofdstukken zal dit ontwerp kritisch beschouwd worden, met als doel eventuele onevenwichtigheden op te sporen.

Voor het huidige ontwerp van het spuikanaal en de spuisluis is uitgegaan van een benodigde afvoercapaciteit van $100 \text{ m}^3/\text{sec}$, als etmaalgemiddelde. Tot voor kort was er sprake van een uitbreidingsmogelijkheid van het afvoergemiddelde tot $150 \text{ m}^3/\text{sec}$; het betonwerk hiervoor zou reeds bij de bouw van de spuisluis worden uitgevoerd. Wegens bezuinigingsmaatregelen staat deze uitbreidingsmogelijkheid nu ter discussie. De gemiddelde afvoercapaciteit van $100 \text{ m}^3/\text{sec}$ mag éénmaal per jaar, gedurende een tiendaagse periode, onderschreden worden. Dit gebeurt als de gemiddelde laagwaterstand op de Westerschelde, gedurende die tiendaagse periode, hoger is dan N.A.P.-1,50 m.

Bij de dimensionering van het spuikanaal heeft men geprobeerd de breedte van het dwarsprofiel zo klein mogelijk te houden. Dit in verband met de inpassing van het kanaal in het landschap en ruimtebesparing. De dimensionering van spuikanaal en spuisluis hangt ook nauw samen met de toelaatbare stroomsnelheden in het kanaal en het beschikbare verval over het kanaal en het kunstwerk.

Als het dwarsprofiel van het spuikanaal verkleind wordt, zal, bij eenzelfde afvoer, het verval over het kanaal groter moeten zijn, immers, de weerstand neemt toe. Hoe groter het verval over het kanaal, hoe kleiner het verval dat nog beschikbaar is voor de spuisluis, en dus hoe breder de sluis moet worden ontworpen. Er kan een relatie afgeleid worden tussen het stroomvoerend profiel van het spuikanaal en dat van de spuisluis. Gekozen is voor een kanaalprofiel zoals is weergegeven in figuur 1.18.



Figuur 1.18, Dwarsprofiel spuikanaal Bath.

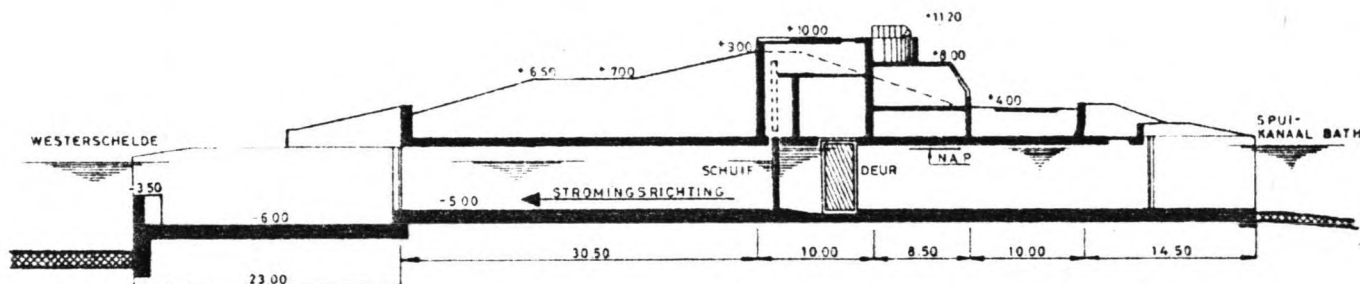
Voordat een keuze werd gemaakt aangaande het te bouwen kunstwerk zijn er drie alternatieven onderzocht, te weten een spuisluis, een hevel en een gemaal. In verband met de hoge energiekosten, en de verwachte toekomstige ontwikkeling daarvan, viel het gemaal al snel af. Uit de overgebleven alternatieven is de spuisluis met vrije waterspiegel als de meest gunstige naar voren gekomen. Redenen hiervoor waren de grote bedrijfszekerheid, de goede veiligheid tegen overstromingen en de probleemloze afvoer van drijvende stoffen.

Bij de dimensionering van de sluis moest weer tegemoet worden gekomen aan een aantal compromissen; een brede, lage sluis geeft een betere stroomspreiding achter de sluis, hetgeen gunstig is met betrekking tot de bodembescherming aan de uitstroomzijde. Een dergelijke sluis begrenst het maximum debiet echter eerder dan een smallere sluis met een lager gelegen drempel. Er is gekozen voor een drempeldiepte van N.A.P. - 5,00 m. en een stroomvoerende breedte van ongeveer 20 m. Deze breedte wordt verdeeld over 6 kokers om het debiet eenvoudig te kunnen reguleren.

In elke koker wordt een bedienbare schuif en een wachtdeur aangebracht. Door de betrekkelijk kleine breedte van de kokers kunnen deze in hout worden uitgevoerd, hetgeen economisch aantrekkelijk is. Het wordt noodzakelijk geacht de kokers van een dubbele waterkering te voorzien omdat de sluis deel uitmaakt van de primaire kering. Dit is echter discutabel omdat de gevolgen van het niet sluiten van één koker niet groot zullen zijn.

Wellicht kan de faalkansanalyse die in het tweede deel van dit werk uitgevoerd zal worden, een meer gefundeerde uitspraak over de noodzakelijkheid van een dubbele kering mogelijk maken.

Ter bescherming van de bodem aan de Westerschelde-zijde van de sluis zal daar een betonnen constructie gemaakt worden, bestaande uit een vloer, 1 m. beneden de drempel van de sluis, en een ca. 2,5 m. hoge, zaagtand-vormige stroomverdeler. Aansluitend aan de betonconstructie, zowel boven- als benedenstrooms, wordt een bodembescherming aangebracht, bestaande uit stortsteen. Figuur 1.19 geeft een beeld van een langsdoorsnede van de sluis.



Figuur 1.19, Langsdoorsnede spuisluis Bath.

In november 1980 is de bouwput voor de spuisluis gereedgekomen. Op het ogenblik wordt uit het tracé van het spuikanaal zand en klei gewonnen dat gebruikt wordt voor de aanleg van de Oesterdam. Op deze manier wordt 'werk met werk gemaakt', waardoor minder zand en klei van elders behoeft te worden aangevoerd, terwijl voor ca. 1,5 mln. m³. specie uit het tracé geen berging behoeft te worden gevonden. Een nadeel bij deze manier van werken is dat de specie droog ontgraven en per as vervoerd moet worden.

Momenteel wordt er gewerkt aan het schrijven van de bestekken voor de bouw van de spuisluis; dit is wat opgehouden door de veranderde inzichten omtrent de extra lozingscapaciteit.

Binnenkort zullen deze bestekken gereed zijn, waarna de aanbesteding van het werk plaats kan vinden en met de uitvoering begonnen kan worden.

2 Peilbeheer op het Zoommeer

2.1 Algemeen

2.1.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zullen we de kans op het optreden van peilstijgingen op het Zoommeer gaan beschouwen. Een peilstijging wordt bereikt als er, gedurende een bepaalde periode, meer water óp het meer komt dan dat er geloosd wordt; dus als het waterbezwaar groter is dan de lozing, gedurende die periode.

We zullen ons dan ook allereerst bezig houden met het waterbezwaar op het meer, en de overschrijdingsfrequentieverdeling hiervan bepalen.

Daarna beschouwen we de lozingscapaciteit van de spuisluis, die afhankelijk is van de waterstanden ter weerszijden van de sluis. Om de kans, dat een bepaalde lozingscapaciteit niet verwezenlijkt kan worden, af te kunnen schatten, bepalen we de overschrijdingsfrequentieverdeling van de laagwaterstanden op de Westerschelde. Ook gaan we de relatie na tussen de Westerschelde-waterstanden en de waterstanden aan de Zoommeerzijde van de sluis. Dit resulteert in een overschrijdingsfrequentieverdeling voor de capaciteit van het lozingsmiddel.

In de daarna volgende paragrafen wordt de tweedimensionale kansdichtheidsfunctie voor het optreden van een peilstijging bepaald, door de kansdichtheidsfuncties van waterbezwaar en lozingscapaciteit te combineren. Dit is eerst uitgevoerd voor waarden, gemiddeld over de eerste decade van het jaar (1-10 januari). Uit het resultaat van deze berekening is geprobeerd de kans af te leiden op een peilstijging, voor het hele jaar. Het blijkt dat dit niet zonder meer mogelijk is; wel kan een indicatie van deze kans gegeven worden.

Tot slot van dit hoofdstuk worden kortere periodes dan de decade beschouwd, waarover windopzet op de Westerschelde optreedt. Tijdens deze periodes met windopzet is de lozingscapaciteit van de spuisluis kleiner, en bij een bepaald waterbezwaar zal er een peilstijging op het meer optreden. De driedimensionale kansdichtheidsfunctie voor de combinatie: duur van de opzetperiode, hoogte van de opzetperiode en waterbezwaar over de periode, is opgesteld. Aan de hand daarvan kan de kans op een peilstijging, ditmaal gerekend over het gehele jaar, bepaald worden.

2.1.2 Peilbeheer; beschrijving van het systeem

Zoals we in het voorgaande hoofdstuk al hebben gezien zijn er verschillende oorzaken waardoor er waterbelastingen op en wateronttrekkingen aan het Zoommeer plaatsvinden. Voor een deel zijn deze waterbelastingen en -onttrekkingen natuurrandvoorwaarden; andere componenten zijn beïnvloedbaar door de beheerder van het systeem.

De componenten van de waterhuishouding die niet direct te beïnvloeden zijn door de beheerder, zijn:

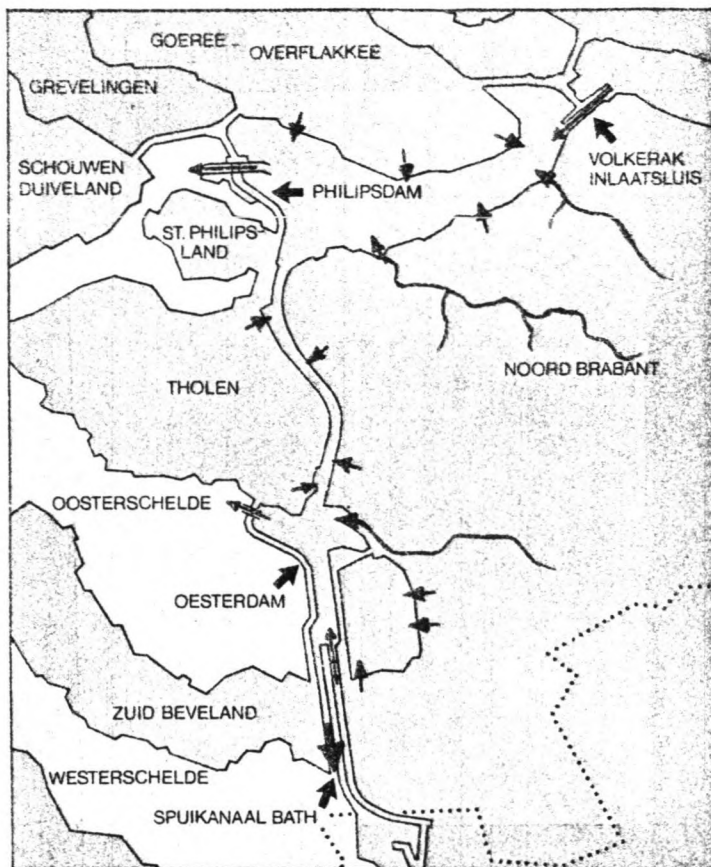
- Neerslag op het Zoommeer.
- Verdamping van water uit het Zoommeer.
- Polderlozingen en polderaanvullingen.
- Afvoer van de westbrabantse rivieren.

De wél door de beheerder te beïnvloeden factoren die een aandeel hebben in de waterbalans van het meer zijn:

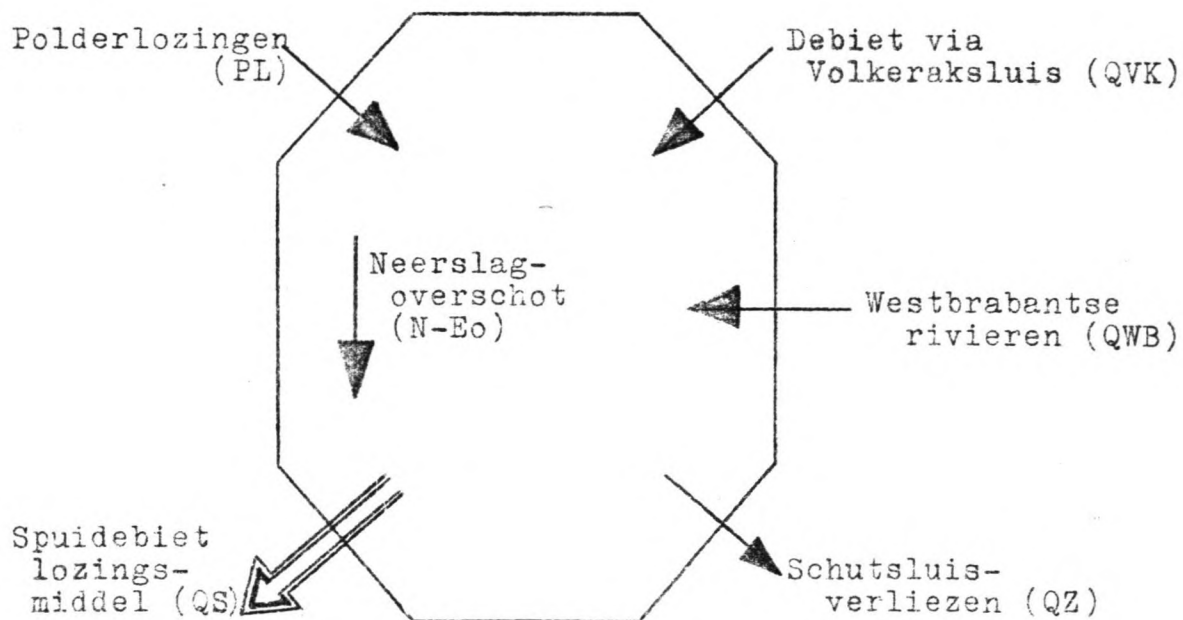
- Zoetwaterverliezen bij de schutsluizen (zout/zoetscheidingsstelsel met of zonder terugwinnen).
- Water ingelaten vanuit het Hollands Diep, door het inlaatmiddel in de Volkerakdam.
- Water gespuid door het lozingsmiddel bij Bath.

Volledigheidshalve moeten hier ook nog de mogelijke kwel onder de compartimenteringsdammen en de mogelijkheid om in noodgevallen water te lozen op het Grevelingenmeer genoemd worden. Zoals in literatuur 1, bladzijde 11 e.v. wordt beschreven is de kwel onder de compartimenteringsdammen verwaarloosbaar ten opzichte van de andere componenten van de waterbalans. Immers, de gemiddelde waterstand zal aan beide zijden van de dammen vrijwel gelijk, ±N.A.P, zijn. De mogelijkheid om in noodgevallen water te lozen op het Grevelingenmeer zal verder niet in de beschouwingen betrokken worden; het behoort niet tot het normaal functioneren van het Zoommeer-systeem.

Op de volgende bladzijde worden in figuur 2.1 de waterbelastingen op en -onttrekkingen aan het Zoommeer aangegeven. In figuur 2.2 is de schematisatie gegeven, zoals die bij de berekeningen is aangehouden.



Figuur 2.1, Overzicht van de waterbelastingen en -onttrekkingen aan het toekomstig Zoommeer.



Figuur 2.2, Schematisatie Zoommeer-systeem, met waterbelastingen en -onttrekkingen.

De vergelijking voor de waterbalans van het Zoommeer luidt:

$$QV.T + PL.T + 10(N-Eo).O + QWB.T = QS.T + QZ.T + PA.T + V$$

(zie ook lit. 1. blz. 6.)

Hierin is:

- QV = Wateraanvoer vanuit het hollands Diep, via de Volkerakdam, $m^3/sec.$
- PL = Polderlozingen, $m^3/sec.$
- (N-Eo) = Neerslagoverschot op het meer, mm/dec.
- QWB = Afvoer westbrabantse rivieren, $m^3/sec.$
- QS = Spuidebiet Bath, $m^3/sec.$
- QZ = Zoetwaterverlies schutsluizen, $m^3/sec.$
- PA = Polderaanvullingen, $m^3/sec.$
- ΔV = Berging op het meer, $m^3.$
- T = Aantal seconden in de beschouwde periode, sec.
- O = Oppervlak van het meer, ha.

Ter vereenvoudiging wordt deze vergelijking gedeeld door T, waarna wordt ingevoerd:

$$QA = QWB + PL - PA + 10.(N-Eo).O/T \quad (m^3/sec);$$

QA is de hoeveelheid water die als gevolg van neerslag of verdamping, direct of indirect via de aanliggende gebieden, aan het Zoommeer wordt onttrokken dan wel toegevoegd.

Het resultaat is de volgende vergelijking voor de waterbalans, die bij de volgende berekeningen gehanteerd zal worden:

$$QV + QA = QS + QZ + \Delta V/T.$$

Voor een evenwichtig ontwerp van het lozingsmiddel is het nodig het maatgevend waterbezwaar op het Zoommeer te bepalen. Het lozingsmiddel moet dan zodanig gedimensioneerd worden dat slechts met een bepaalde, kleine kans de lozingscapaciteit zoveel overschreden wordt door het waterbezwaar op het meer, dat er een ontoelaatbare peilstijging optreedt.

De lozingscapaciteit van het lozingsmiddel is echter afhankelijk van een groot aantal variabelen, zoals verder in dit hoofdstuk nog wordt uitgewerkt. Wanneer de grootte van deze variabelen bekend is, kan het debiet door het lozingsmiddel op een bepaald tijdstip en vervolgens ook de totale lozingscapaciteit over een periode berekend worden. Als we ook de kans van optreden van een bepaald waterbezwaar gedurende die periode kennen, kan er een uitspraak gedaan worden over de kans van optreden van een peilstijging op het meer. Dit zal, na een beschouwing omtrent de door Rijkswaterstaat gehanteerde methode, nader uitgewerkt worden in dit hoofdstuk.

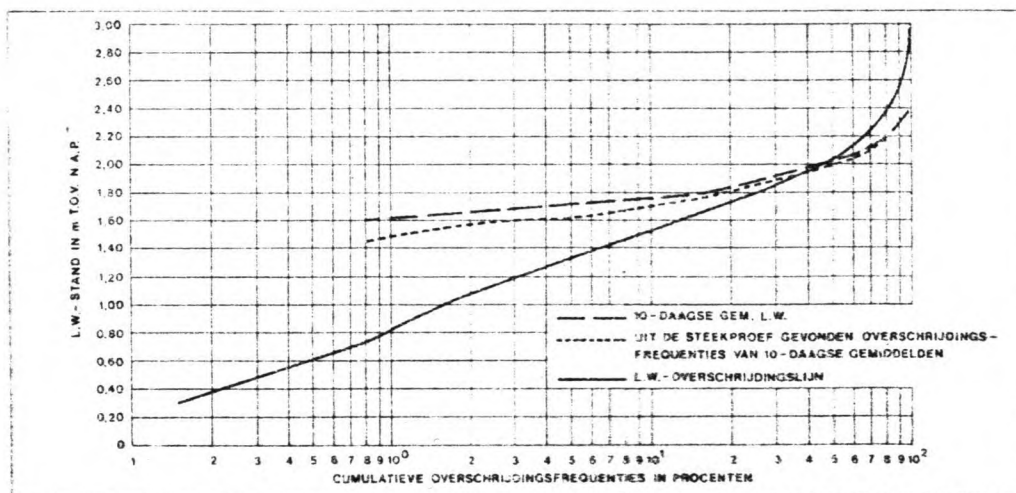
2.1.3 Lozingscapaciteit; berekeningswijze Rijkswaterstaat

Bij de door Rijkswaterstaat toegepaste methode om de vereiste lozingscapaciteit van het lozingsmiddel te bepalen is men als volgt te werk gegaan. Eerst is het maatgevend waterbezwaar op het Zoommeer bepaald; dit is door Rijkswaterstaat gedefinieerd als het waterbezwaar dat met een frequentie van éénmaal in de 1000 jaar overschreden wordt. Hiertoe zijn de hydrologische gegevens van aanvankelijk 17, in een later stadium 42, jaar beschouwd. De manier waarop dit is gedaan wordt beschreven in literatuur (1) en (2). De historische periode werd opgedeeld in 10-daagse periodes, decades, hetgeen gebruikelijk is voor dergelijke hydrologische beschouwingen. Reden hiervoor is voornamelijk dat veel gegevens in deze 10-daagse vorm beschikbaar zijn.

Gedurende de beschouwde periode van 42 jaar waren de neerslag- en verdampingsgegevens van het betreffende gebied beschikbaar. Hieruit zijn de niet bekende hydrologische gegevens, die benodigd waren voor het opstellen van de waterbalans, afgeleid. Dit is met name gedaan voor de polderlozingen, polderaanvullingen en de afvoeren van de westbrabantse rivieren.

Met behulp van deze gegevens kon voor iedere decade het totale waterbezwaar op het Zoommeer, gemiddeld over die tien dagen, bepaald worden. Deze waterbezwaren met de bijbehorende overschrijdingsfrequentie kunnen nu worden uitgezet op kanspapier en Gumbel-papier; door de punten is dan een rechte lijn te trekken, met een goede correlatie. Door extrapolatie van deze lijn is het mogelijk ook voor grote waterbezwaren de kans van overschrijden uit de figuur te bepalen. Het resultaat hiervan was dat het maatgevend waterbezwaar, dat dus gemiddeld eens in de 1000 jaar overschreden wordt, $145 \text{ m}^3/\text{sec}$ bedraagt. Met behulp van dit getal werd nu verder de benodigde capaciteit van de spuisluis bekeken.

De afvoercapaciteit van het lozingsmiddel moest dus worden gerelateerd aan dit waterbezwaar van $145 \text{ m}^3/\text{sec}$. De lozingscapaciteit van de sluis is echter gerelateerd aan de waterstanden ter weerszijden van de sluis, het Zoommeerpeil en de hoogte van het laagwater op de Westerschelde. Het Zoommeerpeil is behoudens de windinvloeden vast, zodat met een variatie hierin geen rekening is gehouden. Om de invloed van het laagwater op de Westerschelde wel mee te nemen is een frequentieverdeling van de hoogte van de laagwaters gemaakt. Dit is, net zoals voor het waterbezwaar, gedaan voor decade-gemiddelden. Literatuur (4) geeft hierover meer informatie; de overschrijdingsfrequentielijn voor de laagwaters, gegeven in figuur 2.3 is hieruit overgenomen.



Figuur 2.3, Laagwater-overschrijdingsfrequenties te Bath.

Uit deze figuur kan afgelezen worden dat een laagwater van $1,50 \text{ m} - \text{N.A.P}$, als decade-gemiddelde, gedurende één tien-daagse periode per jaar overschreden wordt. Het werd gewenst geacht dat bij deze waterstand op de Westerschelde nog $100 \text{ m}^3/\text{sec}$, als decade-gemiddelde, afgevoerd kan worden. De sluis zal dus zodanig gedimensioneerd moeten worden dat bij een laagwater van $1,50 - \text{N.A.P}$. op de Westerschelde nog een gemiddelde lozingscapaciteit van $100 \text{ m}^3/\text{sec}$ gerealiseerd kan worden.

In het navolgende zullen we enkele kritische kanttekeningen plaatsen bij deze door Rijkswaterstaat gevolgde berekeningswijze.

Bij de bepaling van de grootte van de verschillende componenten van het waterbezwaar op het Zoommeer treden reeds enkele onnauwkeurigheden op. Zo is bij de bepaling van de polderlozingen de verdamping in de polders gesteld als $E_p = f \times E_o$, waarin E_p de verdamping in de polder en E_o de verdamping voor open water is. Voor de waarde van de factor 'f' is voor het zomerhalfjaar de waarde 0,75 aangehouden en voor het winterhalfjaar 0,90. In literatuur (1), bladzijde 8, wordt al aangegeven dat er ondanks veel onderzoeken nog grote onzekerheid is omtrent de juiste waarde van f. Om deze reden zal de bepaling van de grootte van de polderlozingen niet nauwkeurig kunnen zijn; het verschil in de gebruikte waarden voor f geeft al een indruk van de mate van spreiding die de berekeningsresultaten zullen hebben ten opzichte van de werkelijke waarden van de polderlozingen.

Ook de afvoeren van de Westbrabantse rivieren waren niet bekend uit waarnemingen en moesten dus op andere wijze worden bepaald. Deze afvoeren zijn berekend door gebruik te maken van waargenomen correlaties tussen de afvoergegevens van de Overijsselse Vecht en de Westbrabantse rivieren. Het zal duidelijk zijn dat ook deze methode niet exact is.

Gezien deze onzekerheden zou het juister zijn de componenten van het waterbezwaar niet weer te geven door één waarde, zoals door Rijkswaterstaat is gedaan, maar door een kansdichtheidsfunctie of, zo dit te veel rekenwerk met zich brengt, door een gemiddelde waarde en een spreidings-coëfficiënt. Iets dergelijks is in een later stadium wél gedaan voor het water- en zoutbezwaar bij de schutsluizen, zoals onder andere te zien is op bijlage 6 van literatuur (5), als bijlage 1 aan dit verslag toegevoegd.

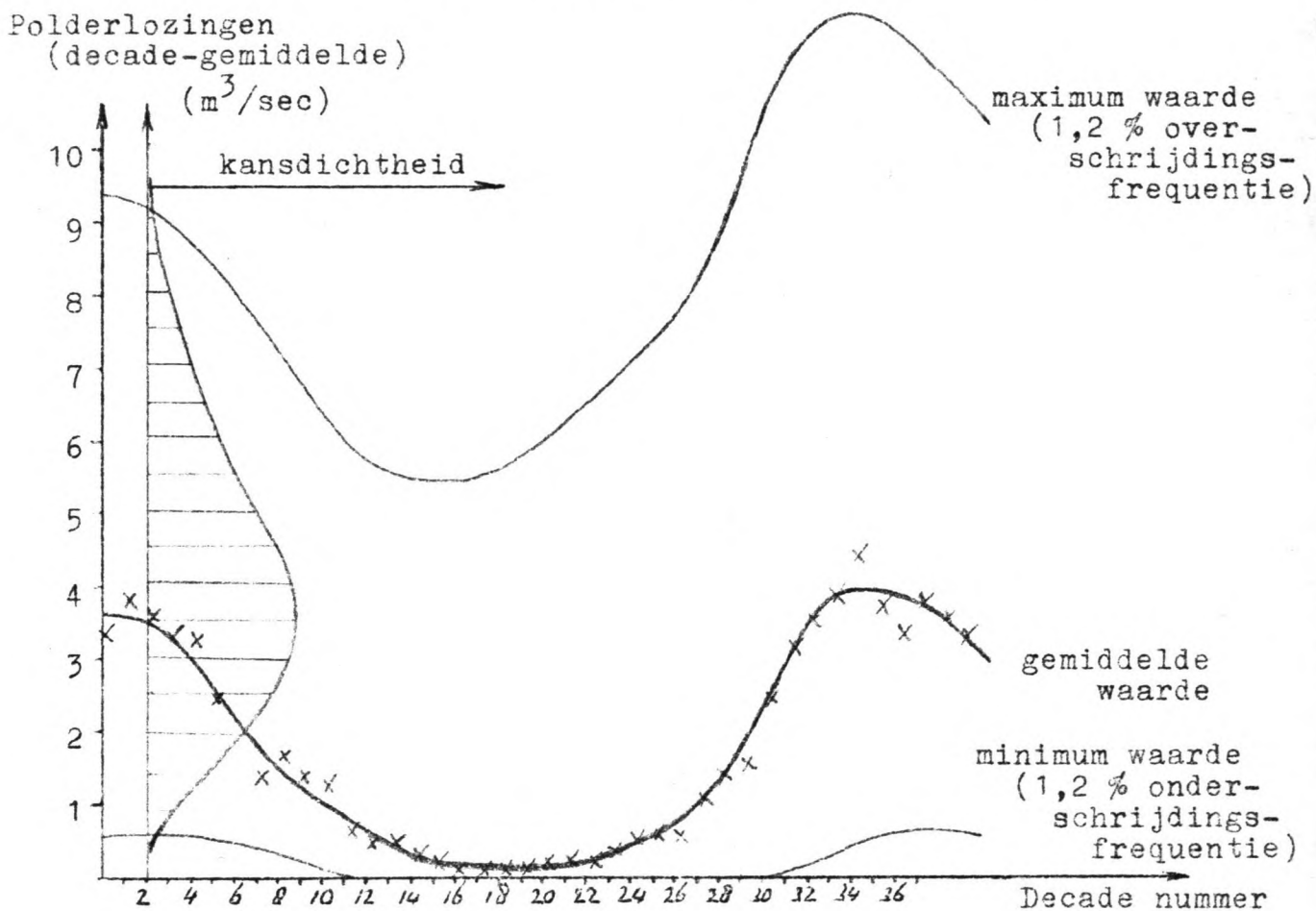
Door alleen de gemiddelde waarden mee te nemen in de verdere beschouwingen gaat informatie verloren en zal het resultaat van de berekeningen minder in overeenstemming zijn met de werkelijkheid.

Rijkswaterstaat kon geen informatie geven omtrent de onnauwkeurigheid in de berekende grootheden. Voor de uiteindelijke resultaten werd er op gerekend dat de fouten in de verschillende componenten van het waterbezwaar elkaar gedeeltelijk compenseren, zodat over het algemeen wel een juiste indicatie wordt verkregen. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat met dezelfde kans als waarmee de fouten elkaar compenseren de fouten elkaar versterken, zodat in werkelijkheid optredende extremen door de berekeningen 'afgetopt' kunnen worden.

Het zou dus nuttig zijn om bij dergelijke beschouwingen ook informatie omtrent de spreiding in de gevonden waarden in de berekeningen mee te nemen. In dit verband zou het echter te ver voeren om de grootte van deze spreidingen in de verschillende componenten van het waterbezwaar te achterhalen. In het volgende zullen we dan ook voor een groot deel de gegevens gebruiken zoals die ook door Rijkswaterstaat zijn gehanteerd.

2.2 Het waterbezwaar op het Zoommeer

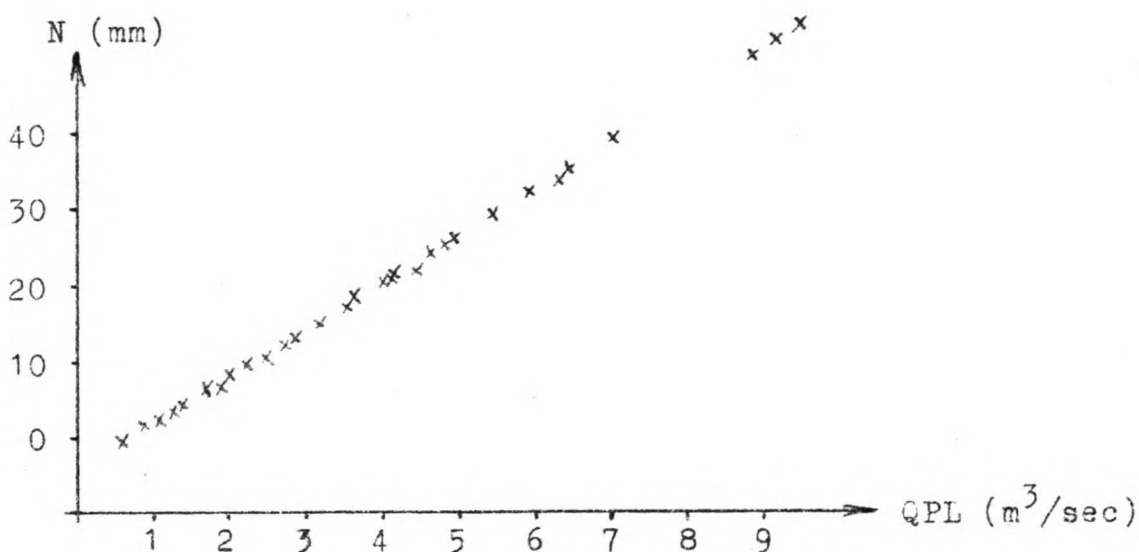
Om bij de nieuwe berekeningen die we gaan uitvoeren niet direct in de voetsporen van de Rijkswaterstaat-aanpak te treden zullen we iedere decade apart beschouwen. Zoals uit figuur 2.3 blijkt is er een groot verschil in de polderlozingen gedurende de winter- en zomerperiode. Deze figuur geeft ook een beeld van de geschatte kansdichtheidsfunctie van de polderlozingen voor de 2^e decade. Het totale waterbezwaar op het Zoommeer zal ook sterk variëren met het seizoen. Ook om deze reden heeft het zin elke decade op zich te beschouwen.



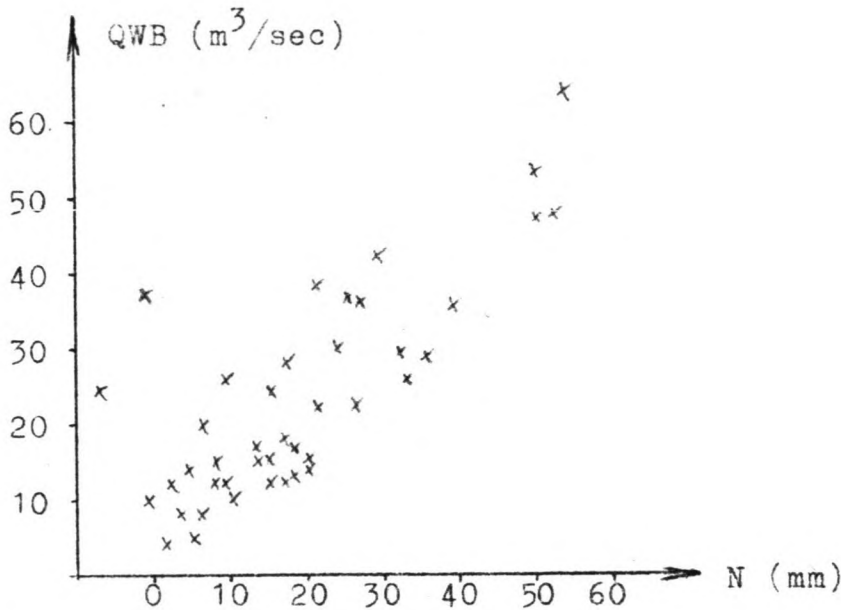
Figuur 2.3, Polderlozingen op het Zoommeer, als decade-gemiddelde over het jaar weergegeven. Het gemiddelde, de maximum en minimum waargenomen waarde over de periode van 1933 tot 1975.

Uit de figuur op de vorige bladzijde, en met name uit de geschetste kansdichtheidsfunctie, blijkt dat we zullen moeten werken met de grootte van de polderlozingen en van de andere componenten van het waterbezwaar, gecombineerd met de bijbehorende overschrijdingsfrequentie.

We beschouwen nu eerst het waterbezwaar op het meer, onderscheiden in polderlozingen, afvoer van de Westbrabantse rivieren en neerslagoverschot, opgetreden in de 1^e decade (1-10 januari) van de jaren 1933 tot en met 1974. In de figuren 2.4 en 2.5 is de correlatie onderzocht tussen de verschillende componenten van het waterbezwaar. Door de wijze waarop de gegevens van de polderlozingen verkregen zijn vinden we in 24 een correlatiecoëfficiënt 1; de polderlozingen zijn berekend uit de neerslaggegevens. Ook tussen de neerslag en de afvoer van de Westbrabantse rivieren bestaat een duidelijk verband. Het is dus zeker niet mogelijk kans op een groot waterbezwaar te berekenen als het product van de kansen op een grote bijdrage van de componenten. Dit zou alleen correct zijn als de deelgebeurtenissen onafhankelijk zijn.



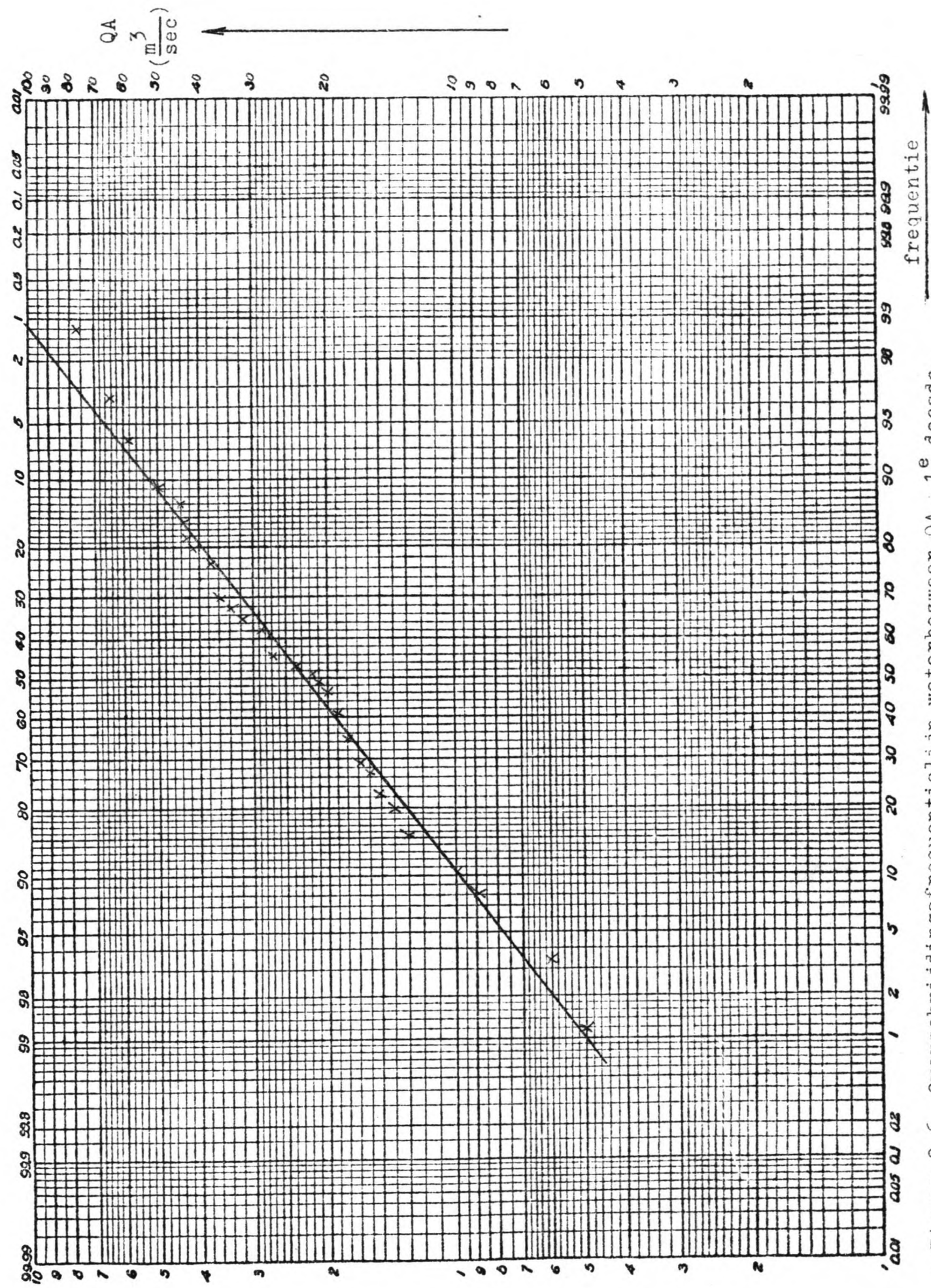
Figuur 2.4, Correlatie tussen de neerslag, N, en de polderlozingen, QPL. (1^e decade 1933 t/m '74)



Figuur 2.5, Correlatie tussen de neerslag N en de afvoer van de Westbrabantse rivieren QWB voor de eerste decade van de jaren 1933 t/m 1974.

Het ligt nu voor de hand om direct het totale waterbezwaar op het Zoommeer te beschouwen. Uit de bekende waterbezwaren van de eerste decade over de jaren 1933 - 1974 kunnen we een overschrijdingsfrequentielijn construeren. Hiertoe zetten we de in grootte opklimmende waterbezwaren uit tegen de bijbehorende overschrijdingsfrequentie, op kanspapier. Door de zo verkregen punten kan dan een zo goed mogelijk passende lijn getrokken worden die het verband geeft tussen waterbezwaar en overschrijdingsfrequentie. Figuur 2.6, op de volgende bladzijde, geeft hiervan een beeld.

Het blijkt echter dat bij gebruik van deze frequentielijn te grootte waarden voor het waterbezwaar gevonden worden, bij kleine overschrijdingsfrequenties. Zo vinden we uit figuur 2.6 een waterbezwaar van $170 \text{ m}^3/\text{sec}$ met een kans van overschrijden van 0,001, voor de eerste decade van elk jaar. Als we veronderstellen dat deze eerste decade representatief is voor de andere decades van het winter-halfjaar vinden we voor de overschrijdingskans per jaar: $18 \times 0,1 = 1,8 \%$.

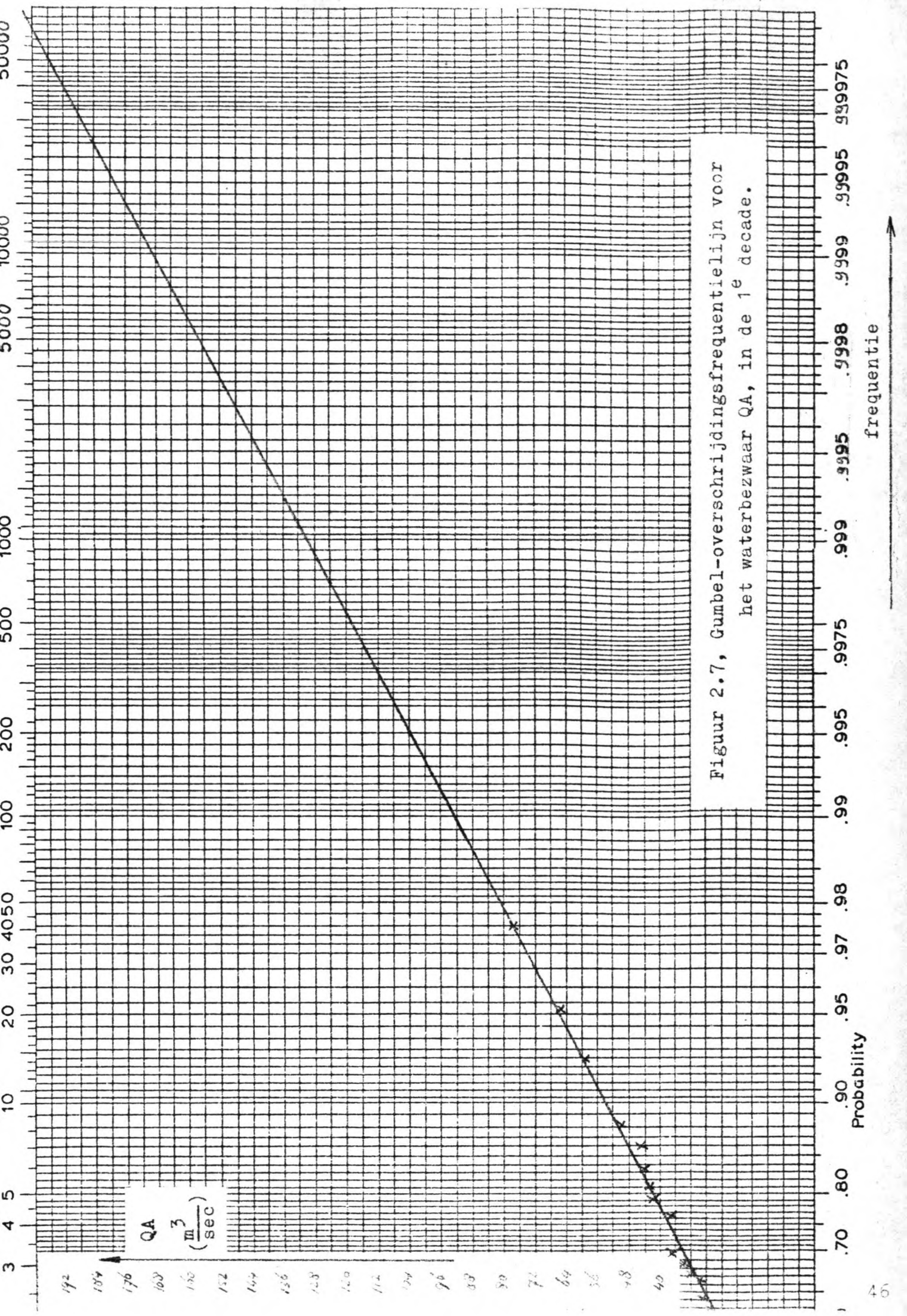


Figuur 2.6, Overschrijdingsfrequentielijn waterbezwaar QA, 1^e decade.

Bij de bepaling van deze waarde, die vooral als indicatie gezien moet worden, is verder verondersteld dat de kans dat in het zomer-halfjaar een dergelijk groot waterbezwaar optreedt verwaarloosbaar is. Achttien is het aantal decades in het winter-halfjaar. Volgens de overschrijdingsfrequentielijn die door Rijkswaterstaat is gehanteerd (zie onder andere literatuur (1), bijlage 9) wordt een waterbezwaar van $145 \text{ m}^3/\text{sec}$, als decade-gemiddelde, overschreden met een frequentie van 0,001 keer per jaar. We zien dat dit resultaat sterk afwijkt met het door ons gevonden cijfer. Bij een nadere beschouwing van de frequentielijn uit figuur 2.6 zien we dat bij kleinere overschrijdingsfrequenties de waarden van de waargenomen waterbezwaren naar beneden toe afwijken van de getrokken lijn. Dit duidt er op dat de lijn daar naar beneden af zou moeten buigen. Een verklaring hiervoor en voor het verschil in de gevonden waarden en de Rijkswaterstaat-cijfers kan ik niet geven.

Teneinde een overschrijdingsfrequentielijn te vinden die meer overeenstemt met de door Rijkswaterstaat gevonden waarden proberen we of een verdeling volgens Gumbel beter past bij de waarnemingen. Hiertoe selecteren we de 21 grootste waarnemingen en zetten deze uit tegen de bijbehorende overschrijdingsfrequentie, op Gumbel-waarschijnlijkheidspapier. De Gumbel verdeling wordt vooral gebruikt om de kans van optreden van extreme gebeurtenissen af te kunnen schatten. (Zie hiervoor ook Seyhan, 1980, literatuur (6).) Het resultaat van deze procedure is weergegeven in figuur 2.7. De waarden van deze Gumbel-overschrijdingsfrequentielijn zijn beter in overeenstemming met de door Rijkswaterstaat gevonden waarden, hoewel ze toch nog wel wat hoger uitvallen.

In het navolgende zullen we deze Gumbel-verdeling gebruiken om de kans van peilstijgingen op het Zoommeer te bepalen.

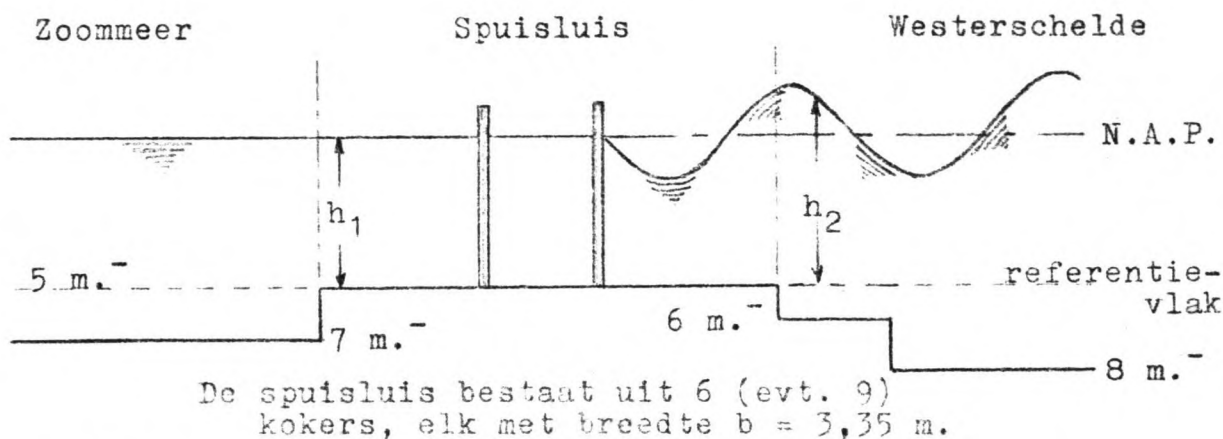


Figuur 2.7, Gumbel-overschrijdingsfrequentielijn voor
 het waterbezwaar QA, in de 1^e decade.

2.3 Lozingscapaciteit van de spuisluis

2.3.1 Algemeen

Onderstaande figuur (2.8) geeft een schematisch beeld van de spuisluis en de voor de lozingscapaciteit relevante afmetingen.



Figuur 2.8, Situatieschets spuisluis, met enige maten.

Lozing van water van het Zoommeer op de Westerschelde vindt uitsluitend plaats onder vrij verval. Het zal duidelijk zijn dat dit alleen mogelijk is als de waterstand aan de Westerschelde-zijde van de sluis lager is dan de binnenwaterstand. Als dit het geval is worden de benodigde schuiven geöpend en zal zich een overlaat-situatie over de sluis instellen. De aard van deze overlaat-situatie is afhankelijk van de waterstand op het Zoommeer, de waterstand op de Westerschelde en het sluis-ontwerp. We zullen voor de sluis het ontwerp zoals dat door Rijkswaterstaat is gemaakt aanhouden en hiervoor de overlaat-situatie, die dan nog afhankelijk is van de waterstand aan weerszijden van de sluis, beschouwen.

We onderscheiden de volkomen overlaat, waarbij de bovenwaterstand het debiet door de sluis begrenst, en de onvolkomen overlaat, waarbij het debiet begrenst wordt door de benedenwaterstand.

De geëigende formules voor het berekenen van het debiet door de sluis, bij een bepaalde overlaat-situatie, zijn de volgende:

(de Vries, 1977, literatuur (7), bladz. 6.42 - 6.48)

- Onvolkomen overlaat.

Deze situatie treedt op wanneer de buitenwaterstand groter is dan $2/3$ maal de binnenwaterstand ($h_2 > 2/3 \cdot h_1$). De formule voor het debiet luidt nu:

$$Q = u \cdot b \cdot h_2 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (h_1 - h_2)},$$

waarin Q = debiet door de sluis (m^3/sec),

u = coëfficiënt waardoor de energie-verliezen over de sluis verrekend worden; In dit geval is volgens de opgave van Rijkswaterstaat $u = 0,85$,

b = breedte van het doorstroomprofiel (m),

g = versnelling zwaartekracht (m^2/sec),

h_1 = binnenwaterstand, zie ook figuur 2.8, (m),

h_2 = buitenwaterstand (m).

- Volkomen overlaat.

Deze situatie treedt op wanneer de buitenwaterstand kleiner is dan $2/3$ maal de binnenwaterstand ($h_2 < 2/3 \cdot h_1$). De formule voor het debiet luidt nu:

$$Q = u \cdot b \cdot \frac{2}{3} \cdot h_1 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \frac{1}{3} \cdot h_1},$$

waarin de symbolen dezelfde betekenis hebben als bovenomschreven. Bij deze volkomen-overlaat bereikt het debiet een maximum, afhankelijk van de Zoommeerwaterstand, en neemt niet verder toe bij daling van de waterstand aan Westerschelde-zijde.

- Energieverliezen over het spuikanaal.

Bij beide overlaat-situaties moeten de energieverliezen over het spuikanaal verdisconteerd worden door een reductie van de binnenwaterstand, groot:

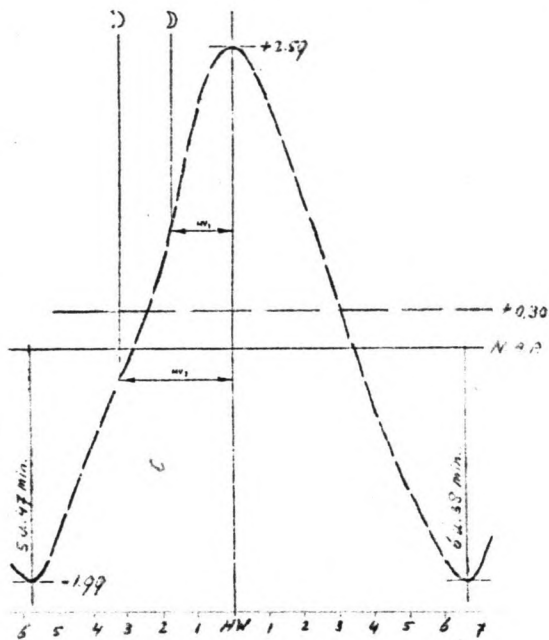
$$\Delta h_1 = \xi \cdot v_k^2 / (2 \cdot g),$$

waarin ξ = coëfficiënt voor de energieverliezen;
 volgens opgave van Rijkswaterstaat: $\xi = 13$,
 v_k = stroomsnelheid in het spuikanaal (m/sec)

Met behulp van bovenstaande formules kan het debiet op een bepaald tijdstip, bij bekende binnen- en buitenwaterstand, berekend worden. Als het getij op de Westerschelde bekend is kan door een sommatie van de afvoeren op verschillende tijdstippen de totale afvoer gedurende het laagwater bepaald worden. In de volgende paragraaf gaan we hierop verder in.

2.3.2 Berekening lozingscapaciteit spuisluis

We zullen nu voor een bepaalde waterstand op het Zoommeer de totale afvoercapaciteit door de sluis, gerekend over een laagwaterperiode op de Westerschelde, berekenen. We doen dit allereerst voor een Zoommeerpeil van N.A.P. en een gemiddeld laagwater op de Westerschelde, zoals dat is aangegeven in figuur 2.8. (Bron: literatuur (8), bijl.1)



Figuur 2.9, Gemiddelde getijbeweging op de Westerschelde bij Bath.

Ten behoeve van de berekening wordt deze getijbeweging geschematiseerd tot een sinus. Het is gebruikelijk hiervoor een sinus-functie te kiezen met een periode gelijk aan de periode van het getij en een amplitude die overeenkomt met de gemiddelde getij-amplitude. We zullen later zien dat in dit geval een andere keuze van periode en amplitude tot een betere schematisatie leidt.

Volgens de gebruikelijke schematisatie vinden we:

getijperiode = 12 uur, 25 min. = 745 min.

hoogwater = 2,59 m. + N.A.P.)
 laagwater = 1,99 m. - N.A.P.) gemiddelde amplitude = 4,58 m.

halftij = $(2,59 - 1,99)/2 = 0,30$ m. - N.A.P.

$$\text{getijschematisatie} = 0,30 + \frac{4,58}{2} \sin\left(\frac{2\pi}{745}t\right) \text{ m.}$$

Het nadeel van deze schematisatie is voor ons geval dat de duur van het laagwater niet correct wordt weergegeven. Het geschematiseerde laagwater duurt ongeveer 30 min. korter dan het werkelijke laagwater. Omdat het spuien alleen tijdens het laagwater plaatsvindt zouden we dit juist zo goed mogelijk willen weergeven in de schematisatie. Hiertoe passen we de periode van het geschematiseerde getij zodanig aan, dat de duur van het laagwater overeenkomt met de realiteit. Dit heeft wel tot gevolg dat we deze schematisatie niet mogen gebruiken voor het hoogwater. Ook voor de getijperiode dienen we de reële waarde van 745 min. aan te houden.

De nieuwe schematisatie wordt nu:

$$\text{getijschematisatie} = 0,30 + \frac{4,58}{2} \sin\left(\frac{2\pi}{808}t\right) \text{ m.}$$

We gaan nog even de duur van het laagwater na.

We vinden voor de tijdstippen waarvoor geldt getij = 0:

$$t = \frac{808}{2\pi} \arcsin\left(-\frac{0,30 \cdot 2}{4,58}\right) = 17 \text{ en } \left(\frac{1}{2}T - 17\right) \text{ min.}$$

Daaruit volgt voor de duur van het laagwater:

$$D_{lw} = \frac{1}{2}T - 2 \cdot 17 = 404 - 34 = 370 \text{ min.} = 6u.10\text{min, hetgeen}$$

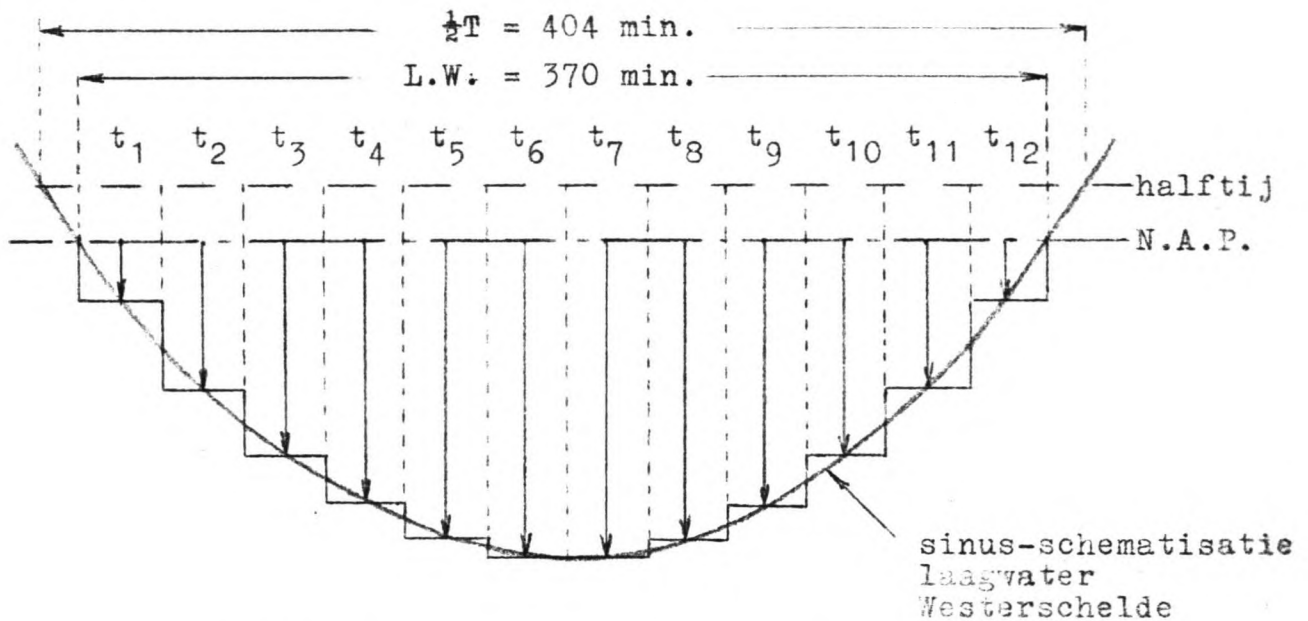
overeenkomt met het reële gemiddelde laagwater.

Voordat we aan de uiteindelijke berekening beginnen moet tenslotte nog gecontroleerd worden of het peil op het Zoommeer gedurende de spuiperiode constant verondersteld mag worden. Daartoe beschouwen we de volgende situatie:

Stel er wordt $100 \text{ m}^3/\text{sec}$ gespuid, gemiddeld over één getij. Dit is een vrij grote waarde, zodat we aan de veilige kant zitten. Gerekend over een laagwaterperiode is de afvoer ongeveer $200 \text{ m}^3/\text{sec}$, de duur van de spuiperiode nemen we aan als 6 uur. De totale geloosde hoeveelheid is dan $200 \cdot 6 \cdot 3600 = 432 \cdot 10^4 \text{ m}^3$.

De oppervlakte van het Zoommeer bedraagt $6300 \cdot 10^4 \text{ m}^2$,
zodat er een peilstijging resulteerd van $432 \cdot 10^4$
 $432 \cdot 10^4 / 6300 \cdot 10^4 = 0,068 \text{ m}$.

De invloed van deze Zoommeer-peilstijging op de afvoercapaciteit van de spuisluis zal verwaarloosbaar zijn, zodat we een vast peil mogen aannemen bij onze berekeningen.



Figuur 2.10, Schematisatie van het getij op de Westerschelde bij Bath en benadering met tijdstappen t .

Voor de bepaling van de afvoercapaciteit beschouwen we bovenstaande figuur 2.10. De spuiperiode, de tijd dat de waterstand op de Westerschelde lager is dan die op het Zoommeer, wordt verdeeld in tijdsintervallen t . De waterstand op de Westerschelde kan nu op de tijdstippen t_1 , t_2 tot en met t_{12} uit de sinus-schematisatie berekend worden. De waterstand op het Zoommeer was reeds bekend en de waterhoogten vóór en achter de sluis, h_1 en h_2 in figuur 2.8 zijn eenvoudig af te leiden. Nu moet door een vergelijking van h_2 met $2/3 \cdot h_1$ bepaald worden of er een volkomen- dan wel een onvolkomen overlaat-situatie optreedt. Door middel van de geëigende formule kan dan voor dát tijdstip het debiet door de sluis berekend worden.

Wel moet er dan nog rekening gehouden worden met de energieverliezen die optreden in het spuikanaal. Deze worden iteratief doorberekend in het debiet; eerst wordt het debiet door de sluis bepaald onder verwaarlozing van de energieverliezen, bij de zo gevonden waarde voor het debiet wordt de stroomsnelheid in het kanaal bepaald, waarna achtereenvolgens het energieverlies, de nieuwe h_1 , en het bij deze h_1 behorende debiet berekend worden. Na slechts enkele iteraties wordt een juist debiet gevonden.

De totale afvoer, gedurende de gehele laagwaterperiode, wordt nu gevonden door de debieten op de tijdstippen t_1 tot en met t_{12} , die we representatief stellen voor het betreffende interval, te vermenigvuldigen met het tijdsinterval Δt en daarna te sommeren over de gehele laagwaterperiode. Het resultaat is dus:

$$Q_{\text{totaal}} = Q_{t_1} \cdot \Delta t + Q_{t_2} \cdot \Delta t + Q_{t_3} \cdot \Delta t + \dots + Q_{t_{12}} \cdot \Delta t.$$

Om tenslotte de spuisluisafvoer per tijdseenheid te bepalen, gemiddeld over het gehele getij, moet gedeeld worden door de getijperiode, 745 min.

Het uiteindelijke resultaat van een dergelijke berekening was, voor een Zoommeerpeil van N.A.P. en een gemiddeld getij op de Westerschelde, $Q = 138 \text{ m}^3/\text{sec}$, gemiddeld over de gehele getijperiode. Hierbij is gerekend met een sluis met 6 kokers, dus zonder de eventuele uitbreiding tot 9 kokers.

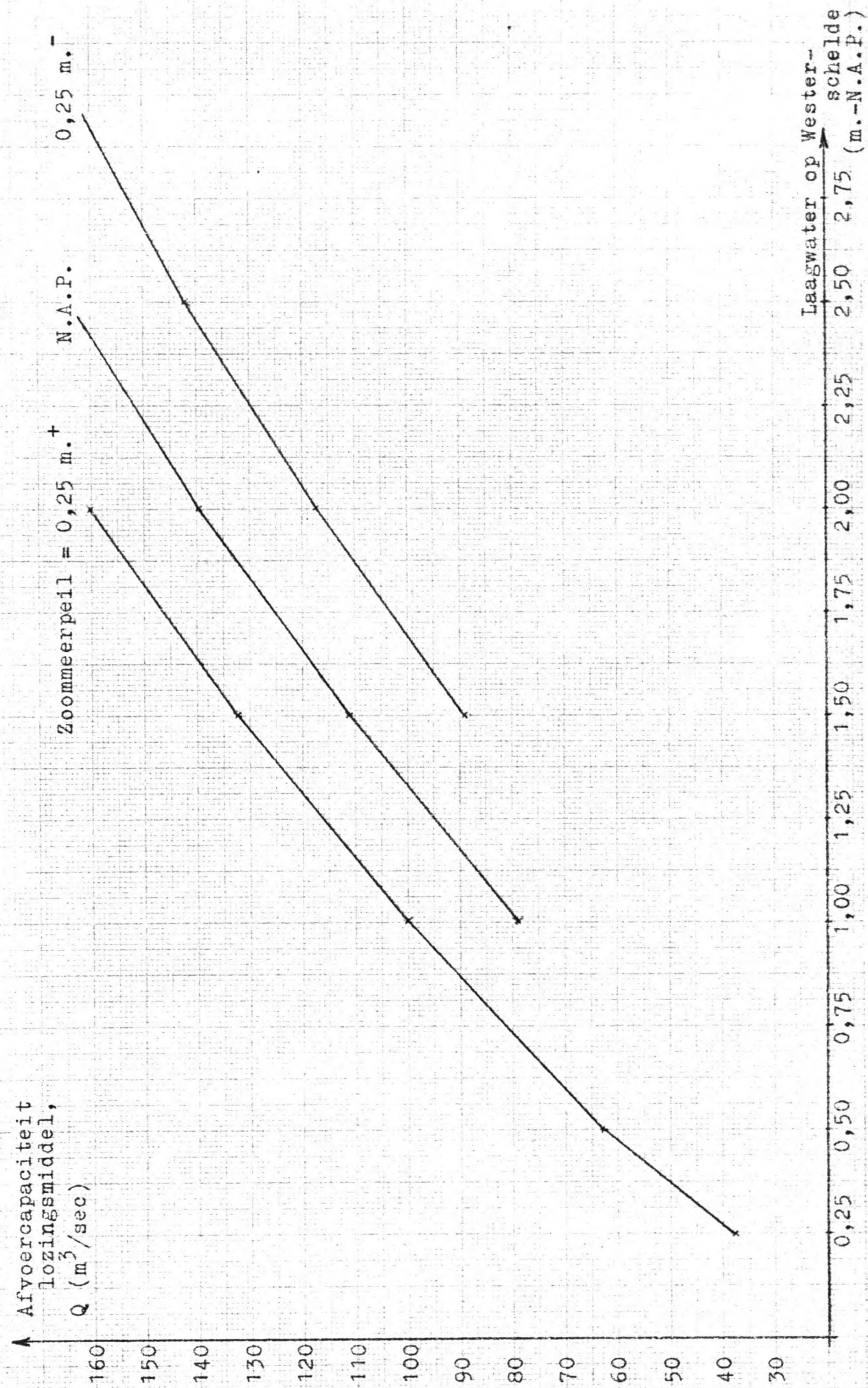
2.3.3 Verband Zoommeerwaterstand, laagwater op Westerschelde en afvoercapaciteit van het lozingsmiddel

Naar aanleiding van modelproeven van de spuisluis door het Waterloopkundig laboratorium in Delft, was er inmiddels een rapport met de resultaten van dit onderzoek gereedgekomen. (literatuur (9)) Hierin werd de relatie gegeven tussen de waterstand op het Zoommeer, de waterstand op de Westerschelde en het debiet door de sluis. De betreffende grafiek uit het W.L.-rapport, literatuur (9) deel II figuur 18, is gegeven in bijlage 2. Met behulp van deze grafiek is, door weer het laagwater in te delen in tijdsintervallen Δt , het verband gezocht tussen de waterstand op het Zoommeer, het laagwater op de Westerschelde en de totale afvoercapaciteit door de sluis, gemiddeld over de getijperiode.

Hierbij moet vermeld worden dat het waterloopkundig laboratorium een verbetering van het Rijkswaterstaat-ontwerp heeft voorgesteld, waarbij een 8% groter debiet gehaald wordt, bij overigens gelijke omstandigheden. Hier is verder gewerkt met het hydraulisch verbeterde ontwerp en de ongunstigste C-waarde van $68 \text{ m}^{\frac{1}{2}}/\text{sec}$, voor verouderd beton.

Ter vergelijking noemen we nog de waarde van de afvoercapaciteit, in dezelfde situatie als bij de berekening van de vorige paragraaf, nu gevonden met behulp van de W.L.-grafiek, $Q = 139 \text{ m}^3/\text{sec}$. Bij de vorige berekening vonden we $138 \text{ m}^3/\text{sec}$, maar daar was geen rekening gehouden met het verbeterde ontwerp. Dan zouden we verkrijgen: $138 + 8\% = 149 \text{ m}^3/\text{sec}$, hetgeen toch nog redelijk overeenkomt.

In de figuur 2.11, op de volgende bladzij, wordt de grafiek gegeven met het genoemde verband tussen Zoommeerwaterstand - Westerschelde laagwater - Debiet spuisluis.



Figuur 2.11, Verband tussen Laagwater op de Westerschelde, Zoommeerwaterstand en lozingscapaciteit door de spuisluis.

2.4 De waterstanden ter weerszijden van de spuisluis

2.4.1 Waterstand aan de Westerschelde-zijde

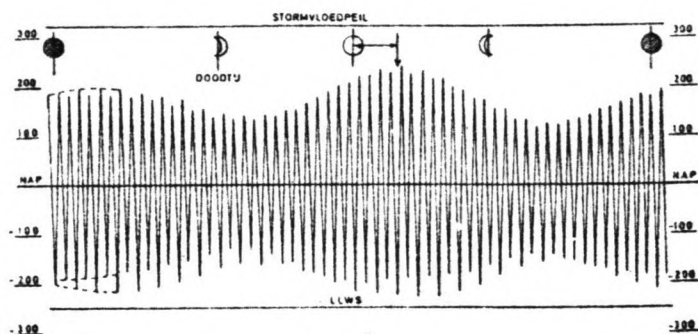
Zoals in de voorgaande paragraaf al is aangegeven is de afvoercapaciteit van het lozingsmiddel in grote mate afhankelijk van de waterstand op de Westerschelde, met name van het laagwater-tij. Aangezien we de waterbezwaren op het Zoommeer gemiddeld over tien-daagse periodes, decades, beschouwen, is het nodig ook de laagwaters op de Westerschelde te beschouwen als decade-gemiddelden.

Een eerste probleem dat hierbij optreedt is de vraag of de lozingscapaciteit behorend bij het rekenkundig gemiddelde van de 20 laagwaterstanden in één decade afwijkt van het bepalen van de lozingscapaciteit voor elk laagwater afzonderlijk en daarná middelen. Immers, in de formules voor het berekenen van het debiet over een volkomen- danwel onvolkomen overlaat zien we dat de waterstand op de Westerschelde, h_2 , niet-lineair voorkomt. Bij een sterk niet-lineair verloop van de lijn die in grafiek het verband aangeeft tussen de Westerschelde-waterstand en de lozingscapaciteit, zal een dergelijke middeling zeker niet toelaatbaar zijn. Deze lijn wordt later in deze paragraaf geconstrueerd (figuur 2.18). We zien dat het gevonden verband niet dèrmate afwijkt van een rechte, dat de middeling niet toelaatbaar zou zijn; het resultaat geeft wel een iets te grote waarde voor de lozingscapaciteit, maar is wel aanvaardbaar.

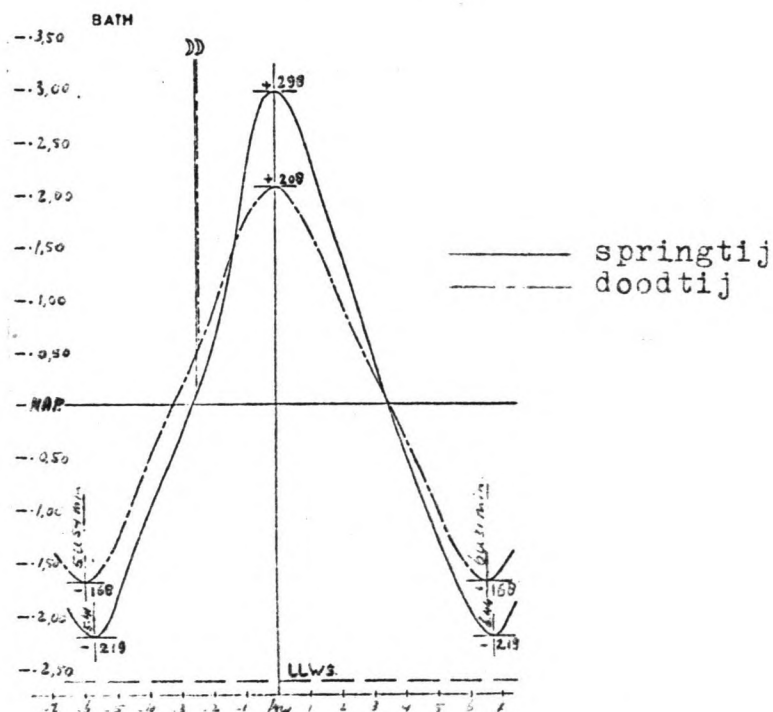
Een tweede probleem dat zich voordoet bij de beschouwing van de laagwaters op de Westerschelde bij Bath is dat de waargenomen waterstanden bestaan uit een astronomisch deel en een deel veroorzaakt door windinvloeden. We zullen nu eerst aandacht schenken aan het astronomisch getij, later gaan we in op de invloed van de wind op de waterstanden.

2.4.2 Astronomisch getij op de Westerschelde bij Bath

Omdat we uit het oogpunt van lozingscapaciteit vooral geïnteresseerd zijn in het laagwater-getij zullen we dit vooral in onze beschouwing betrekken. Door astronomische invloeden, voornamelijk van zon en maan (zie Kalkwijk, 1975, lit.(10)), varieert het laagwater om de gemiddelde waarde van 1,99 m. - N.A.P. De beweging van het astronomisch getij is weergegeven in de figuren 2.12 en 2.13.



Figuur 2.12, Astronomische getijbeweging op de Westerschelde.

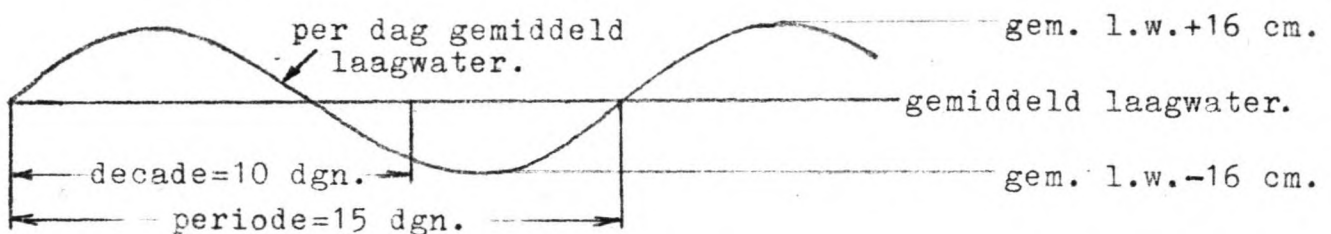


Figuur 2.13, Astronomisch getij; springtij en doddtij op de Westerschelde bij Bath.

In het nu volgende zal aangetoond worden dat een verwaarlozing van de variatie in het laagwater door astronomische oorzaken in ons geval gerechtvaardigt is.

In figuur 2.13 zien we dat het hoogste astronomische laagwater optreedt bij doodtij en een waarde heeft van 1,68 m. - N.A.P. De gemiddelde dagelijkse ongelijkheid voor het laagwater is 0,30 m, zodat het laagwater volgend op het hoogste laagwater ongeveer een waarde zal hebben $1,68 + 0,30 = 1,98$ m. - N.A.P. Het gemiddeld laagwater gerekend over die dag is dan 1,83 m. - N.A.P. en dus niet meer dan 16 cm. hoger dan het gemiddeld laagwater.

Een tweede opmerking die we kunnen maken is dat we met langere periodes rekenen, in dit geval met decades. De over een decade gemiddelde astronomische laagwaters zullen slechts weinig van de gemiddelde waarde afwijken, omdat de periode waarmee de laagwaterstand om het gemiddelde varieert betrekkelijk kort is. Zoals in figuur 2.12 al te zien is en in figuur 2.14 nog eens is weergegeven bedraagt deze periode 15 dagen.



Figuur 2.14, Schematisatie van de variatie van de laagwaterstanden om het gemiddelde laagwater.

We zien in bovenstaande figuur dat het over één dag gemiddelde laagwater gedurende 7 à 8 dagen boven het gemiddeld laagwater ligt, dan eenzelfde periode erboven, enz. Voor een tiendaagse periode geeft dit een gemiddeld laagwater van ongeveer:

$$(7 \text{ à } 8) - (2 \text{ à } 3) \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{16}{10} = 5 \text{ cm.}$$

De berekening geeft een benadering voor het oppervlak onder de laagwater-sinus, gedeeld door de 10 dagen decade-duur.

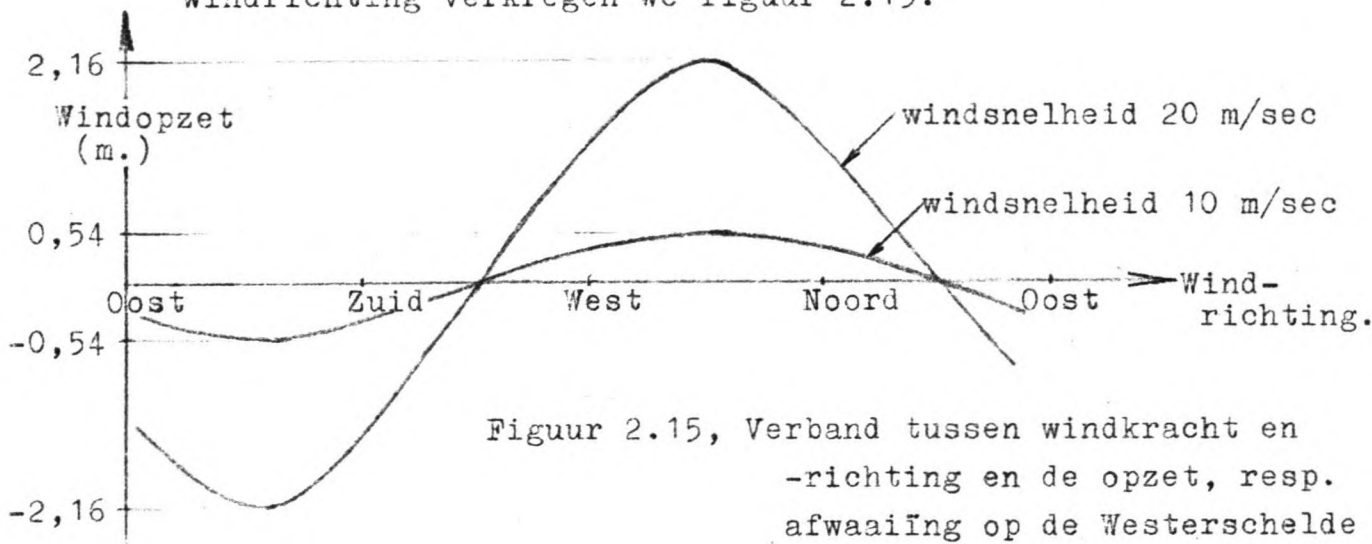
Tenslotte merken we nog op dat het astronomische laagwater de ene keer een reducerende invloed op de lozingscapaciteit van de spuisluis heeft, en de volgende keer een vergrotende invloed. Gemiddeld genomen zullen de beide effecten, die op zich niet groot zijn, elkaar dus opheffen. We maken dus geen grote fout als we aannemen dat de astronomische variatie in het laagwater op de Westerschelde verwaarloosbaar is. In het volgende zullen we dan ook verder werken met het gemiddelde laagwater en de windinvloeden hierop gaan beschouwen.

2.4.3 Windinvloed op de waterstanden op de Westerschelde

Informatie omtrent de relatie tussen windrichting, windkracht en opzet of afwaaiing op de Westerschelde ter plaatse van Bath was niet direct beschikbaar. Er moest dus uit andere, wel bekende, gegevens een dergelijk verband afgeleid worden. Hiertoe zijn de astronomische getijden uit literatuur (11), de waargenomen waterstanden uit literatuur (12) en de gegevens omtrent windrichting en -kracht uit literatuur (13) gebruikt.

Uit de registratie van de windgegevens hebben we periodes gezocht waarin een wind met een snelheid groter dan 8 m/sec uit een redelijk constante richting was waargenomen. Over deze periode is de gemiddelde windrichting en -kracht bepaald. Door over dezelfde periode het verschil tussen het gemiddelde astronomische laagwater en het gemiddelde waargenomen laagwater te berekenen verkrijgen we de gemiddelde windopzet of -afwaaiing over die periode.

Verder kunnen we stellen dat de opzet of afwaaiing evenredig is met het kwadraat van de windsnelheid, zodat we alle gevonden combinaties van windsnelheid en -opzet kunnen herleiden tot een opzet bij een windsnelheid van 10 of 20 m/sec, uit dezelfde richting. Door de zo gevonden waarden voor de windopzet en -afwaaiing op de Westerschelde bij Bath uit te zetten tegen de windrichting verkregen we figuur 2.15.



Figuur 2.15, Verband tussen windkracht en -richting en de opzet, resp. afwaaiing op de Westerschelde bij Bath.

De berekende waarden bleken goed te kloppen met de verwachte sinus-kromme. Als windrichting waarbij de grootste opzet optreedt vinden we Noordwest, hetgeen, gezien de geometrie van de Westerschelde, wel te verwachten was.

Hierbij moet nog wel worden opgemerkt dat we voor het bepalen van de windopzetten bij Bath genoodzaakt waren gebruik te maken van het astronomisch getij bij Hansweert, doordat dit niet bekend was voor Bath. Gezien de geometrie van het gebied lijkt dit wel aanvaardbaar. Bovendien zullen we nog op een andere manier het gevonden resultaat verifiëren.

Volgens Weenink (1958, literatuur (14)) zijn inderdaad alleen Noordwester-stormen aanleiding tot extreme stormvloedstanden langs de kust, zoals ook uit de door ons gevonden figuur 2.15 blijkt. De hoogte van de windopzet bij Vlissingen ten gevolge van een Noordwester-storm wordt door Weenink gegeven als:

$$\text{Opzet}_{\min, \max} = (3,40 \text{ à } 3,60) \cdot 10^{-3} \cdot v_{\text{wind}}^2$$

Voor een windsnelheid van 20 m/sec vinden we hieruit een opzet bij Vlissingen van 1,36 à 1,52 m.

Om de windopzet bij Bath te berekenen moeten we nog de opwaaiing op de Westerschelde over de afstand van Vlissingen tot Bath superponeren. Om dit te berekenen gebruiken we de formule:

$$\text{Opzet} = a \cdot v_{\text{wind}}^2 \cdot l \cdot \cos\beta / h ,$$

waarin l = de strijklengte, hier de afstand Vlissingen-Bath,

v_w = windsnelheid,

β = hoek tussen de windrichting en de lengterichting van het beschouwde bekken,

h = diepte van het bekken,

a = een coëfficiënt, afhankelijk van de vorm van het beschouwde bekken.

Als we invullen: $l = 45 \cdot 10^3$ m.

$h = 5$ m.

$v_w = 20$ m/sec.

$a = 0,2 \cdot 10^{-6}$

$\beta = 45$ grad.

verkrijgen we: Opzet = 0,51 m.

Als resultaat voor de totale windopzet bij Bath vinden we: $Opzet = (1,36 \text{ à } 1,52) + 0,51 = 1,87 \text{ à } 2,03 \text{ m.}$ We zien dat dit resultaat redelijk overeenkomt met de eerder gevonden waarde van 2,16 m. Wanneer we echter bedenken dat de 2,16 m. berekend is voor de windopzet tijdens een laagwater op de Westerschelde is het duidelijk dat we ook voor de 'h' in de laatste formule op de voorgaande bladzij een kleinere waarde moeten invoeren. Als we $h = 3,50 \text{ m.}$ aanhouden voor de gemiddelde waterstand op de Westerschelde bij laagwater vinden we: $Opzet = 2,17 \text{ m,}$ hetgeen opmerkelijk goed overeenkomt met het resultaat van eerdere berekeningen.

Ten behoeve van verdere beschouwingen zullen we de windopzetten zoals die gepresenteerd werden in figuur 2.15 aanhouden.

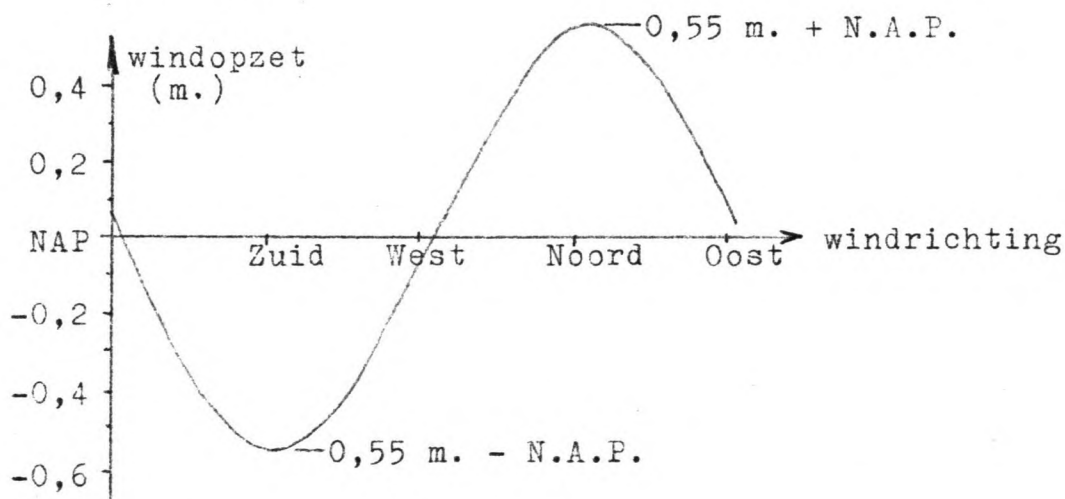
2.4.4 Waterstanden aan de Zoommeer-zijde van de spuisluis

Zoals in Hoofdstuk 1 reeds is betoogd mag het Zoommeer-peil niet lager zijn dan 1 m. - N.A.P. en niet hoger dan 0,5 m. + N.A.P. Dit onder andere in verband met het met België gesloten Rijn-Schelde verdrag en de afwatering van de polders. Het streefpeil zal liggen tussen N.A.P. + 0,25 en - 0,25 m, zoals ook in literatuur (8) beschreven wordt.

Het staat echter vrijwel vast dat het Zoommeer een vast peil zal hebben, gelijk aan N.A.P. In de volgende beschouwingen zullen we hiermee dan ook verder rekenen.

2.4.5 Windinvloed op de Zoommeerwaterstanden

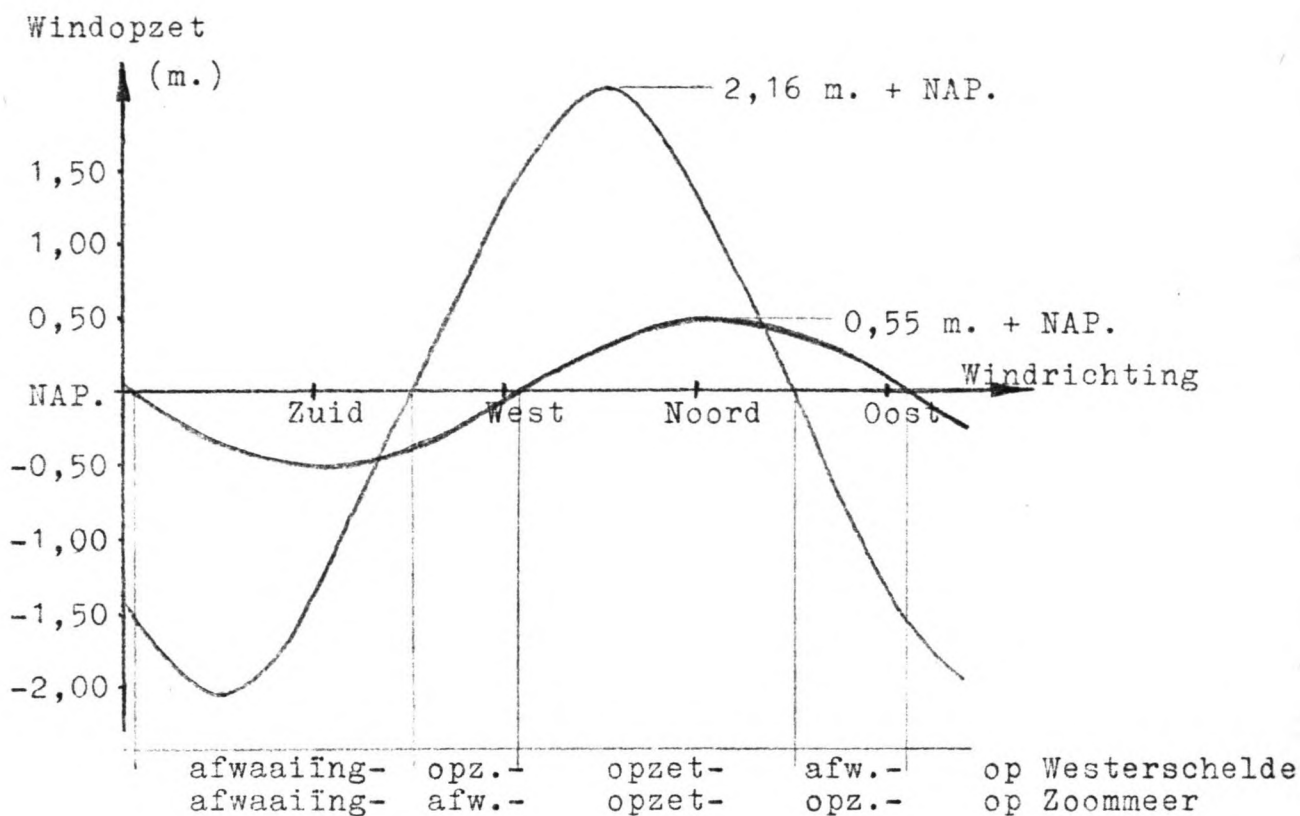
Voor de relatie tussen windkracht, windrichting en de hierdoor veroorzaakte opzet resp. afwaaiing op het Zoommeer bij de spuisluis, is in literatuur (3), bijlage III-5, een figuur gegeven. Deze wordt hier gepresenteerd als figuur 2.16.



Figuur 2.16, Verband tussen windrichting en de opzet, resp. afwaaiing op het Zoommeer bij Bath, hierdoor veroorzaakt. Windsnelheid = 20 m/sec.

2.4.6 Correlatie tussen de windinvloeden op de waterstanden aan Westerschelde- en Zoommeerzijde van de spuisluis

Als we de resultaten van de voorgaande paragrafen over windinvloeden op de waterstanden combineren, vinden we een relatie zoals in figuur 2.17 geschetst.



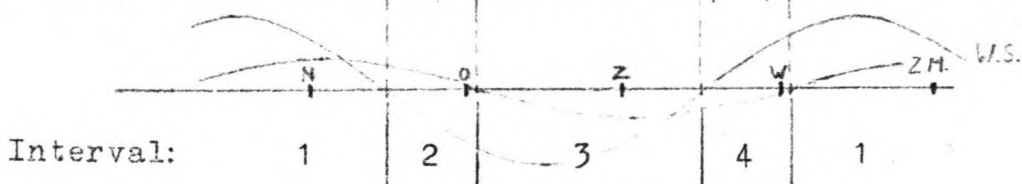
Figuur 2.17, Windopzet en -afwaaiing ter weerszijden van de spuisluis, bij een windsnelheid van 20 m/sec.

We zien dat er bij een windopzet op de Westerschelde bij Bath meestentijds ook windopzet aan de Zoommeerzijde van de spuisluis is. Voor de lozingscapaciteit van de spuisluis treedt de meest ongunstige situatie op als afwaaiing aan de Zoommeerzijde van de sluis samenvalt met windopzet aan de Westerscheldezijde. Uit figuur 2.17 is te zien dat deze situatie optreedt bij wind uit de richtingen van Zuidwest tot West. We zullen nu een schematisatie opstellen waarbij ook met deze situatie rekening gehouden wordt.

Hiertoe onderscheiden we in figuur 2.17 vier verschillende intervallen op de windrichting-as, waarin windopzet resp. -afwaaiing aan de Zoommeerzijde van de sluis samenvalt met opzet en afwaaiing op de Westerschelde. Per interval hebben we de windopzet en -afwaaiing op Zoommeer en Westerschelde geschematiseerd tot het gemiddelde op dat interval. Deze middeling is uitgevoerd met een weging van de waarde van de opzet of afwaaiing met de kans van optreden van wind (\geq windkracht 4) uit die richting. We hebben hierbij de frequentieverdeling van wind met windkracht ≥ 4 aangehouden omdat lagere windkrachten nauwelijks significante opzet of afwaaiing veroorzaken. Bovendien is de verdeling van windkrachten groter dan 6 of 8 nagenoeg gelijkvormig aan die van de windkrachten groter of gelijk 4. Dorrestein (lit.(15), bladzijde 66 e.v.) geeft windgegevens van het lichtschip Goeree, die we hier zullen gebruiken; zie tabel 2.1.

TABLE C 2 Parts per thousand (fractions of time)

Wind force ≥ 4		Goeree											
Month	All directions	Wind direction (tens of degrees)											
		36 N	03	06	09 E	12	15	18 S	21	24	27 W	30	33
Jan.	667	20	39	49	53	30	25	67	136	62	81	69	36
Feb.	601	21	43	67	56	18	27	66	89	70	60	37	48
Mar.	504	28	60	56	44	32	29	23	62	68	23	24	55
Apr.	534	75	126	31	17	4	5	19	62	75	42	23	57
May	488	74	112	39	24	8	6	16	34	74	30	27	43
June	466	80	74	23	8	0	4	9	46	112	42	26	40
July	537	51	55	9	15	3	5	10	56	155	72	49	58
Aug.	509	22	31	17	14	3	9	24	80	136	81	50	43
Sep.	608	23	25	26	31	16	16	29	97	106	108	80	51
Oct.	619	31	26	25	41	23	27	45	117	93	77	58	54
Nov.	728	53	38	26	49	40	42	102	111	62	72	70	61
Dec.	699	13	23	30	30	26	37	72	148	89	107	78	46
Year	579	41	54	33	32	17	19	40	87	92	66	49	49
Winter	536	28	38	42	46	28	31	63	111	74	70	56	50

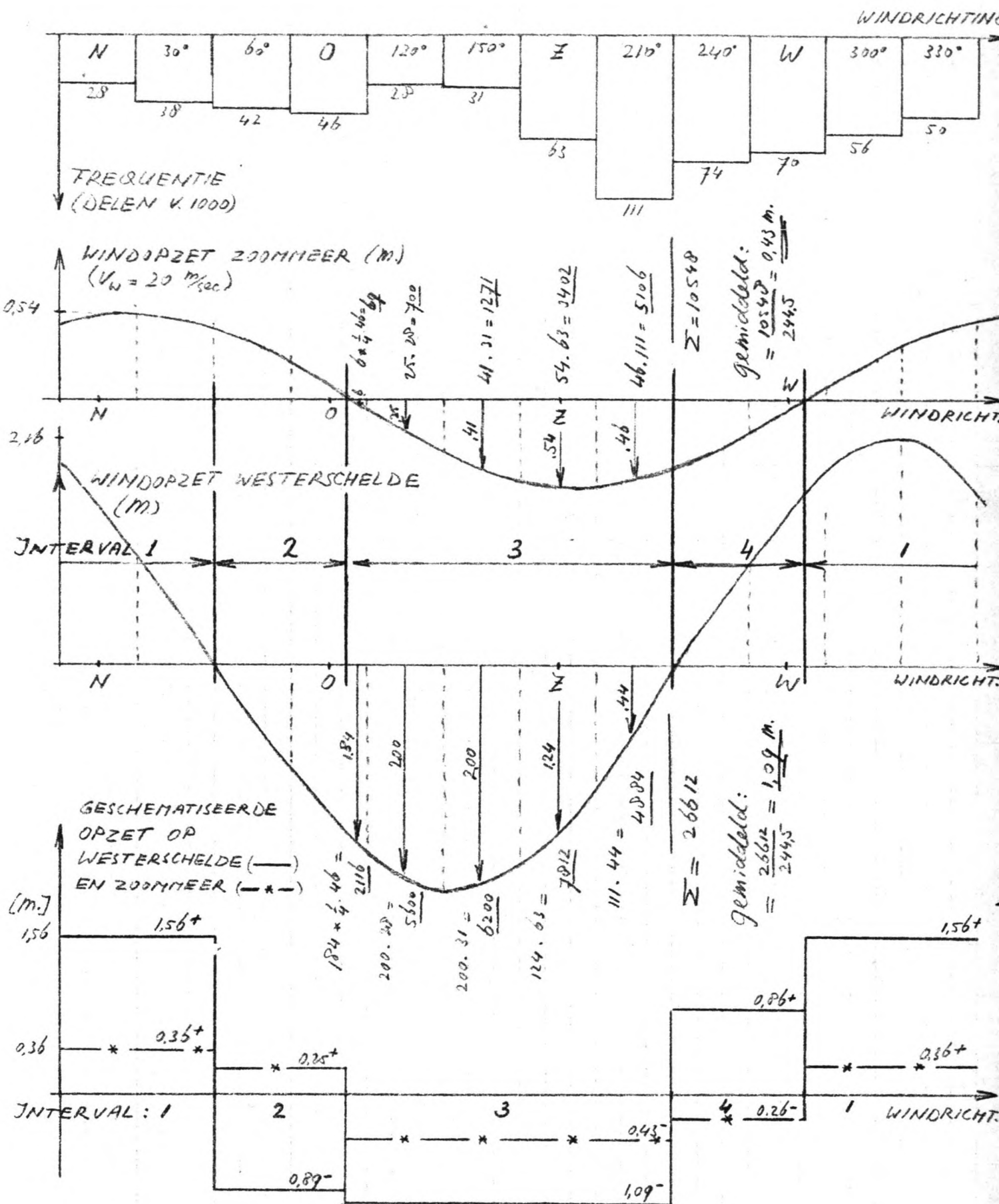


Tabel 2.1, Kans van optreden van windkracht ≥ 4 uit de verschillende windrichtingen en de intervallen waarover de middeling is uitgevoerd.

De grote waterbezwaren op het Zoommeer, die in combinatie met een kleine lozingscapaciteit tot peilstijgingen op het meer kunnen leiden, treden vrijwel uitsluitend op in het winter-halfjaar. Om deze reden beschouwen we ook de windgegevens over het winter-halfjaar. Hierbij zij nog wel opgemerkt dat het formeel juist zou zijn om bij de beschouwing van het waterbezwaar over de eerste decade ook de windgegevens over deze periode te gebruiken. Omdat dit veel werk met zich brengt en de windgegevens slechts per maand bekend zijn is hiervan afgezien. Bovendien wijken de windgegevens over de verschillende maanden niet zoveel af dat dit de resultaten sterk zal beïnvloeden.

Figuur 2.18, op de volgende bladzijde, maakt duidelijk hoe de middeling van de windopzet en -afwaaiing op Westerschelde en Zoommeer is uitgevoerd. In het bovenste deel van de figuur zijn de windkrachten 4 uitgezet met hun overschrijdingsfrequentie, daaronder de windopzetrelaties voor het Zoommeer en de Westerschelde. Voor interval 3 (afwaaiing aan beide zijden van de sluis) is de berekening van de gemiddelde waarde uitgevoerd; daartoe wordt per 30° -interval op de windrichting-as de waarde van de opzet vermenigvuldigd met de frequentie dat er wind uit die richting optreedt. Over het hele interval 3 worden nu deze resultaten gesommeerd, waarna gedeeld wordt door de totale frequentie van de wind uit een richting behorend tot interval 3. Het resultaat is dan de gemiddelde waarde van de opzet bij wind uit een richting van interval 3, in dit geval voor de Westerschelde $-1,09$ en aan Zoommeerszijde $-0,43$ m. Voor de andere intervallen is dezelfde berekening uitgevoerd; het resultaat is weergegeven in de figuur.

In figuur 2.18 is gerekend met een windsnelheid van 20 m/sec, zodat de waarden in het onderste deel van de figuur alleen hiervoor gelden. In het volgende zullen we echter uitsluitend gebruik maken van verhoudingsgetallen, zodat dit geen beletsel is.



Figuur 2.18, Schematisering van de windopzetten en -afwaaiingen op de Westerschelde en het Zoommeer.

Ter bepaling van de lozingscapaciteit van de spuisluis beschouwen we het laagwater op de Westerschelde en de waterstand aan de Zoommeerzijde van de sluis. In het voorgaande hebben we gezien dat als de laagwaterstand op de Westerschelde afwijkt van het gemiddelde dit grotendeels veroorzaakt wordt door windinvloeden, zeker als we decade-gemiddelden beschouwen. Bij een windinvloed op de Westerschelde-waterstand behoort echter, volgens het voorgaande, een windinvloed op de waterstand aan de Zoommeerzijde van de sluis. Bij een bepaalde windopzet of -afwaaiing op de Westerschelde kunnen we via verhoudingsgetallen de windinvloed op de Zoommeerwaterstand bepalen. Deze verhoudingsgetallen zijn afgeleid uit de waarden van het onderste deel van figuur 2.18 en hier weergegeven in tabel 2.2.

windinvloed op Westerschelde:	opzet	afwaaiing
windinvloed op Zoommeer:		
opzet	+4,3	-3,6
afwaaiing	-3,3	+2,5

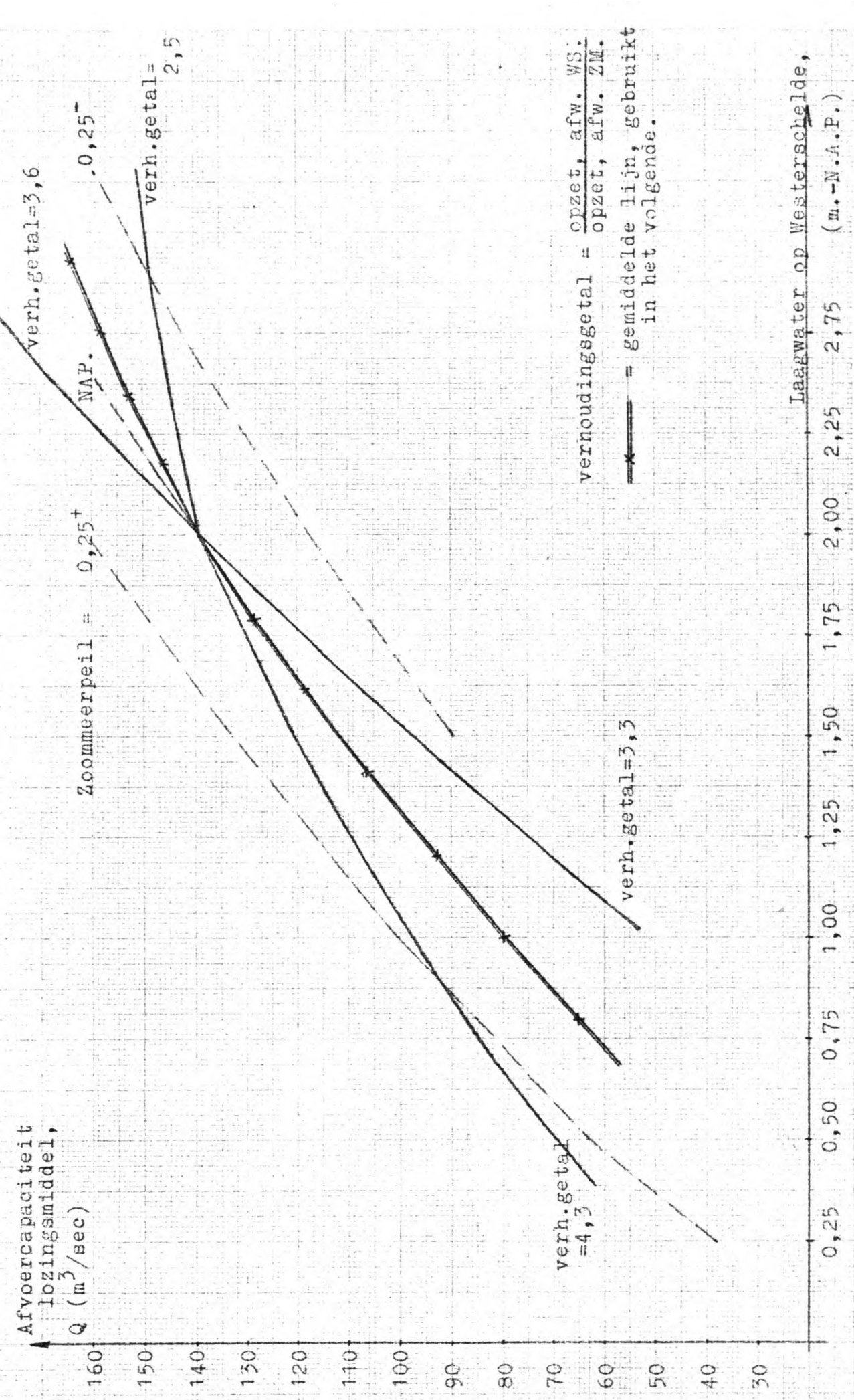
Tabel 2.2, Verhoudingsgetallen van de windinvloeden op de waterstanden ter weerszijden van de sluis.

Tot slot van deze paragraaf berekenen we de kans dat er wind optreedt, met een significante invloed op de waterstanden, uit een richting behorend tot de vier onderscheiden intervallen. We gebruiken hiervoor weer de cijfers van tabel 2.1 en dus de windkrachten 4. Voor de combinatie opzet op Westerschelde - opzet op Zoommeer vinden we een kans: $\frac{1}{4} \cdot 70 + 56 + 50 + 28 + 38 = 189,5 / 1000 = 19 \%$.
 Comb. opzet op W.S. - afwaai. op Z.M. = $74 + \frac{3}{4} \cdot 70 = 12,7 \%$.
 Comb. afwaai. op W.S. - opzet op Z.M. = $42 + \frac{3}{4} \cdot 46 = 7,7 \%$.
 Comb. afwaai. op W.S. - afwaai. op Z.M. = $24,4 \%$.

2.4.7 Definitief verband tussen laagwater op Westerschelde, Zoommeerwaterstand en afvoercapaciteit lozingsmiddel.

Door combinatie van de eerder gevonden relatie voor de lozingscapaciteit (figuur 2.11, par. 2.3.3) en de in de vorige paragraaf afgeleide relatie voor de windinvloeden op de waterstanden ter weerszijden van de sluis kunnen we de uiteindelijke afvoerrelatie vinden. Het resultaat is weergegeven in figuur 2.19, op de volgende bladzijde. De twee buitenste lijnen in deze figuur zijn verkregen door de in de vorige paragraaf gevonden verhoudingsgetallen uit te zetten, uitgaande van het punt "gemiddeld laagwater op de Westerschelde en Zoommeerpeil op N.A.P.".

Tenslotte is de middelste lijn geconstrueerd, door de beide buitenste te middelen, met een weging volgens de kans van optreden van de opzet-afwaaiing combinatie. Dit is de relatie die we in de volgende paragrafen zullen hanteren. We dienen ons er wel van bewust te zijn dat hier diverse middelingen na elkaar zijn uitgevoerd. Dit komt zeker de elegantie van deze methode niet ten goede, terwijl ook de betrouwbaarheid van het eindresultaat nadelig wordt beïnvloed. De hoeveelheid werk die een aparte beschouwing van de beide buitenste lijnen uit de figuur op de volgende bladzijde of, beter nog, van de te vinden lijn voor ieder 30° -interval van de gebruikte windroos, met zich brengt, heeft ons toch tot de beschreven methode doen besluiten.



Figuur 2.19, Relatie tussen laagwater op de Westerschelde, Bijbehorende Zoommeer-
 waterstand en lozingscapaciteit van de spuisluis.

Kansdichtheidsfunctie van de laagwaterstanden op de Westerschelde bij Bath

Teneinde de kans te kunnen bepalen waarmee een bepaald, decade-gemiddeld, debiet door de spuisluis geloosd kan worden, is het nodig de kansdichtheidsfunctie van de decade-gemiddelde laagwaterstanden op de Westerschelde bij Bath te kennen. Later in dit hoofdstuk, bij de tweedimensionale kansdichtheidsfunctie voor een peilstijging op het Zoommeer (figuur 2.27), zullen we zien dat niet alleen de extreem hoge laagwaterstanden hiervoor van belang zijn. Juist ook de laagwaterstanden die dicht bij het gemiddelde liggen hebben een groot aandeel in de totale kans van een peilstijging op het meer.

Dit heeft tot gevolg dat de frequentieverdeling die we voor de laagwaterstanden gaan gebruiken niet de extreme waterstanden met hun kans van optreden correct moet weergeven, maar meer de laagwaterstanden die meer naar het gemiddelde liggen en dus een vrij grote kans van optreden hebben. Het zal duidelijk zijn dat hier de Gumbel-verdeling, die we eerder voor de overschrijdingsfrequentielijn van het waterbezwaar hebben gebruikt, niet bruikbaar is.

Om te bepalen welke verdeling het beste past bij waargenomen laagwaterstanden en hun overschrijdingsfrequentie hebben we in de figuren 2.20 en 2.21 geprobeerd welk schaal op de assen de beste correlatie geeft van de te trekken rechte met de waarnemingen. Hiertoe hebben we voor de horizontale as in beide gevallen een kans-schaal gebruikt. Op de verticale as is in figuur 2.20 een lineaire, in figuur 2.21 een logaritmische schaal uitgezet. In de beide figuren zijn de decade-gemiddelde laagwaters van de eerste drie decades over een periode van 25 jaar uitgezet, met de bijbehorende overschrijdingfrequentie. Het blijkt dat figuur 2.21, de log-schaal op de verticale as, een iets beter resultaat geeft. We zullen het papier met deze verdeling langs de assen dan ook gebruiken om de overschrijdingsfrequentielijn en daaruit de kansdichtheidsfunctie van de laagwaterstand te bepalen.

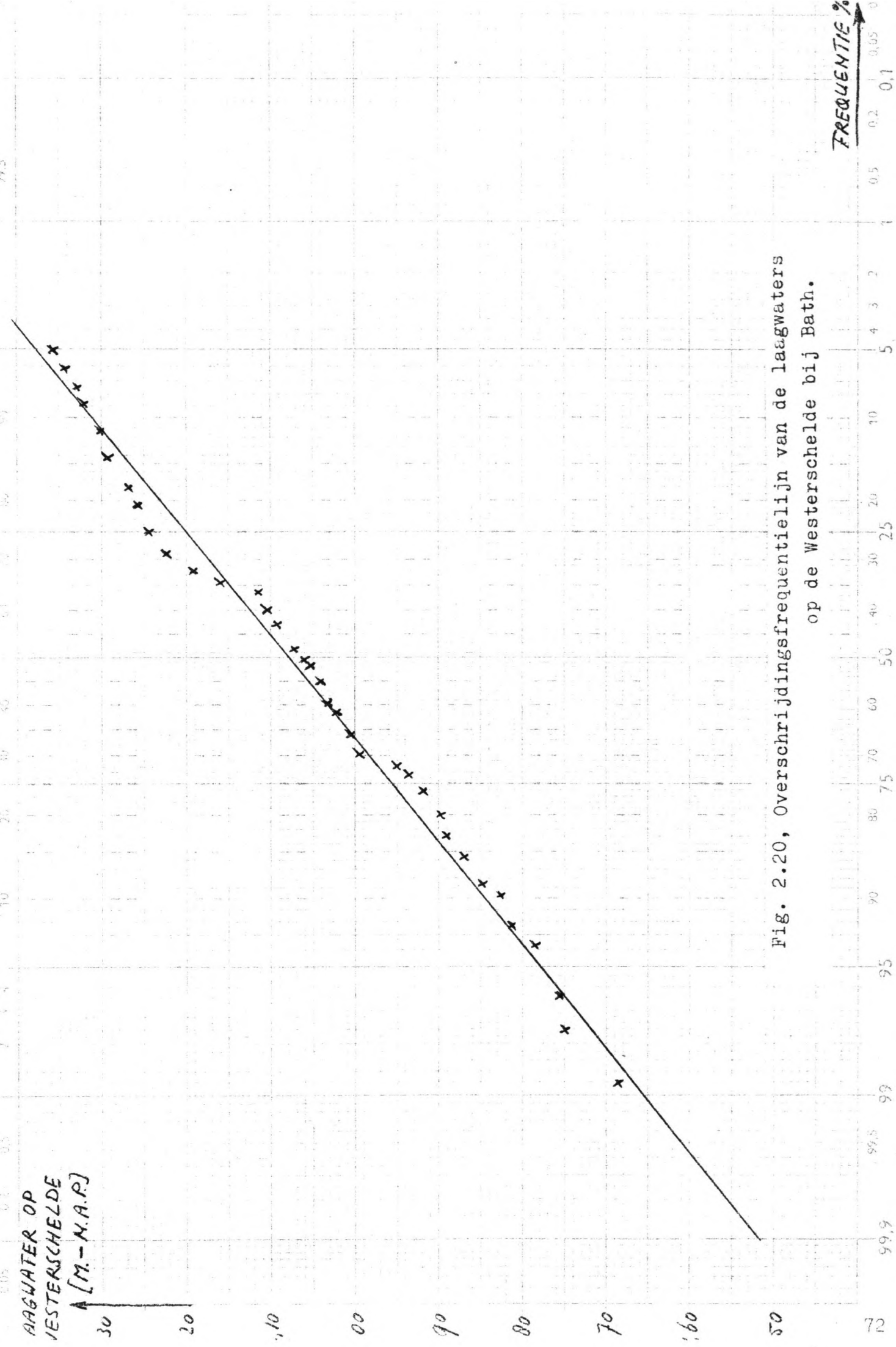


Fig. 2.20, Overschrijdingsfrequentielijn van de laagwaters op de Westerschelde bij Bath.

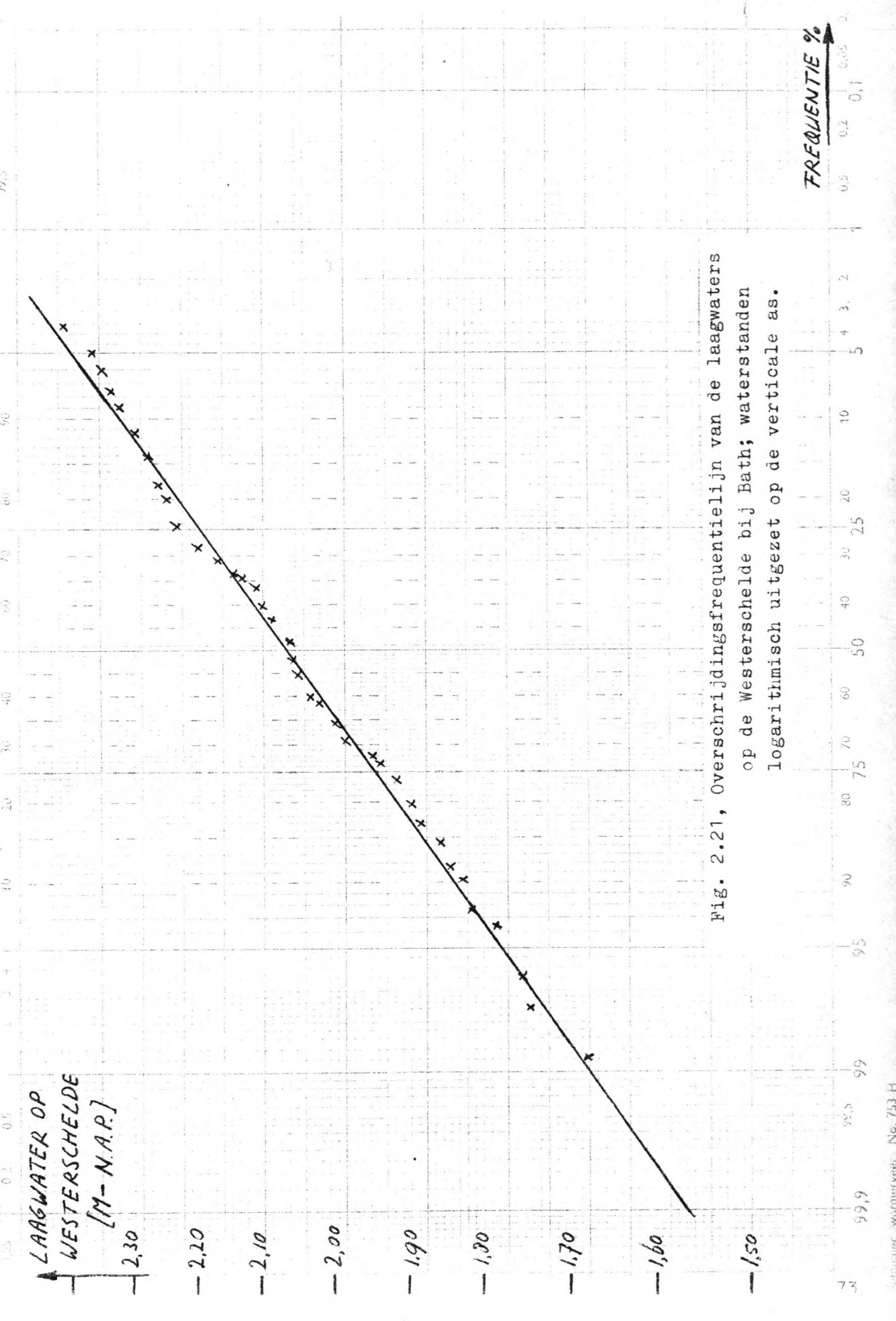


Fig. 2.21, Overschrijdingsfrequentielijn van de laagwaters op de Westerschelde bij Bath; waterstanden logaritmisch uitgezet op de verticale as.

In figuur 2.22 is de overschrijdingsfrequentielijn bepaald voor de decade-gemiddelde laagwaterstanden op de Westerschelde in de eerste decade van het jaar, 1 t/m 10 januari. Deze lijn is afgeleid uit een waarnemingsreeks van 25 jaar.

Uit deze overschrijdingsfrequentielijn voor de laagwaterstanden kunnen we met behulp van de relatie van figuur 2.18 de frequentielijn voor de lozingscapaciteit van de spuisluis bepalen, door bij elke laagwaterstand de bijbehorende capaciteit te zoeken. In de volgende paragraaf zullen we deze resultaten gebruiken en verder uitwerken.

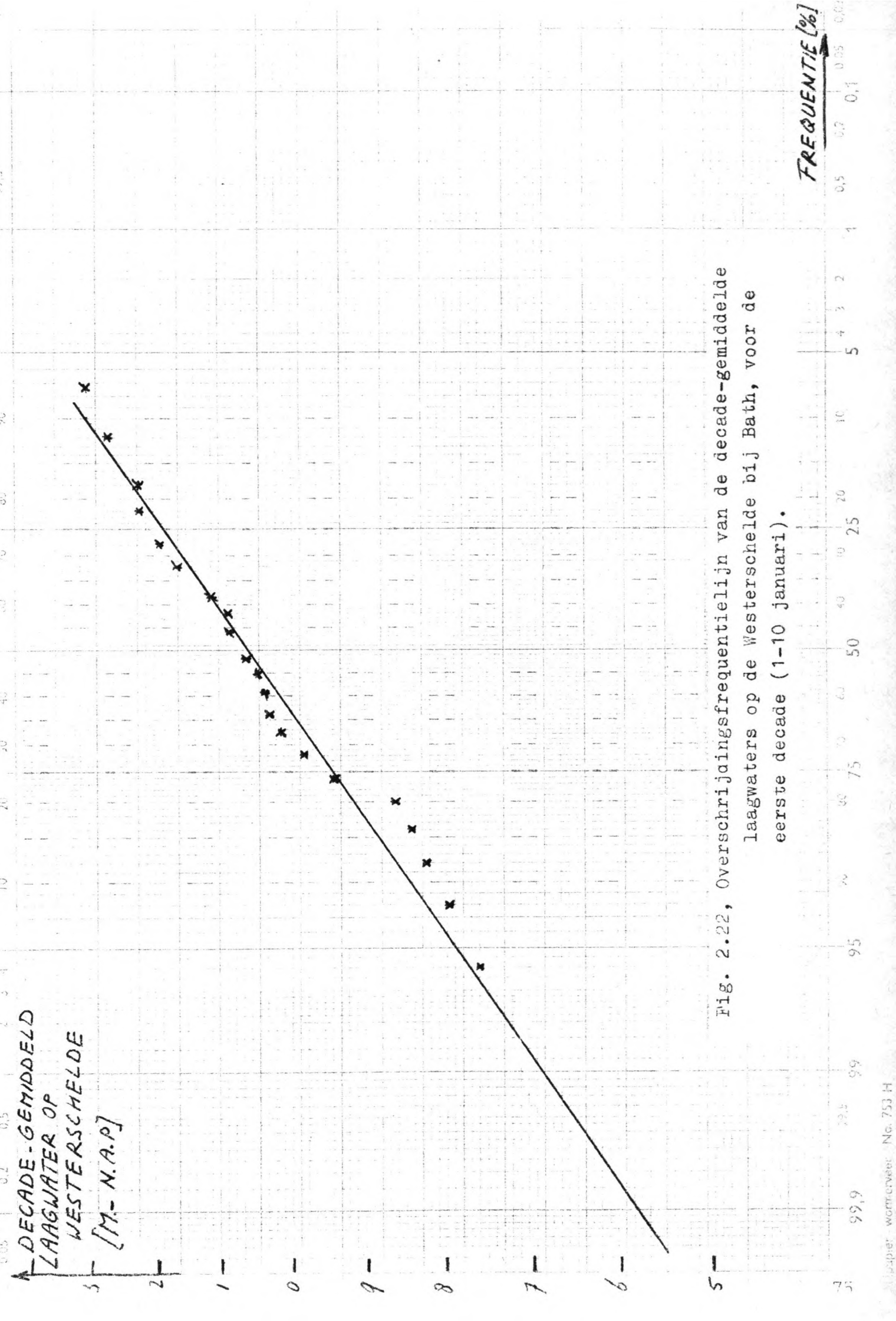


Fig. 2.22, Overschrijningsfrequentielijn van de decade-gemiddelde laagwaters op de Westerschelde bij Bath, voor de eerste decade (1-10 januari).

2.5 Kans op een peilstijging, gerekend over een decade

2.5.1 Peilstijging op het Zoommeer; tweedimensionale kansdichtheidsfunctie en probabilistische berekening

In het voorgaande hebben we de overschrijdingsfrequentielijnen geconstrueerd voor het waterbezwaar op het meer en de laagwaterstanden op de Westerschelde, en dus de lozingscapaciteit van de spuisluis. Het zal duidelijk zijn dat een combinatie van een groot waterbezwaar en een kleine lozingscapaciteit, gedurende een bepaalde periode, een peilstijging op het Zoommeer kan veroorzaken.

Om nu de kans op een peilstijging (van een bepaalde grootte) te kunnen bepalen moeten we de beide kansverdelingen van lozingscapaciteit en waterbezwaar combineren. Omdat de oorsprong van de gebeurtenissen "groot waterbezwaar" en "hoge laagwaterstanden" verschilt; respectievelijk neerslag en windinvloeden, waarbij we kunnen veronderstellen dat deze onafhankelijk van elkaar optreden, mogen we ook aannemen dat de gebeurtenissen onafhankelijk zijn. Dit houdt in dat we de deelkansen mogen vermenigvuldigen om de kans op een bepaalde peilstijging te verkrijgen:

$$P(\text{peilstijging}) = P(\text{groot waterbezwaar}) \times P(\text{hoog laagwater})$$

$$P(\text{peilstijging}) = P(\text{groot waterbezwaar}) \times P(\text{kleine lozingscapaciteit}).$$

We kunnen nu voor elke combinatie van 'waterbezwaar' en 'lozingscapaciteit' die in een decade optreedt, bepalen of er een peilstijging op het Zoommeer optreedt en hoe groot deze peilstijging zal zijn. Tevens is de kans op het optreden van de combinatie te berekenen uit de twee kansen op het optreden van de beide deelgebeurtenissen, 'waterbezwaar' en 'lozingscapaciteit'. Dit wordt ook beschreven in lit. 16 (dictaat college probabilistiek) en lit. 17 (Stuip, 1980) bladzijde 39 e.v. De figuren 2.23 en 2.24 illustreren de tweedimensionale kansdichtheidsfunctie voor een peilstijging op het Zoommeer en de berekeningswijze, zoals die hierboven beschreven is.

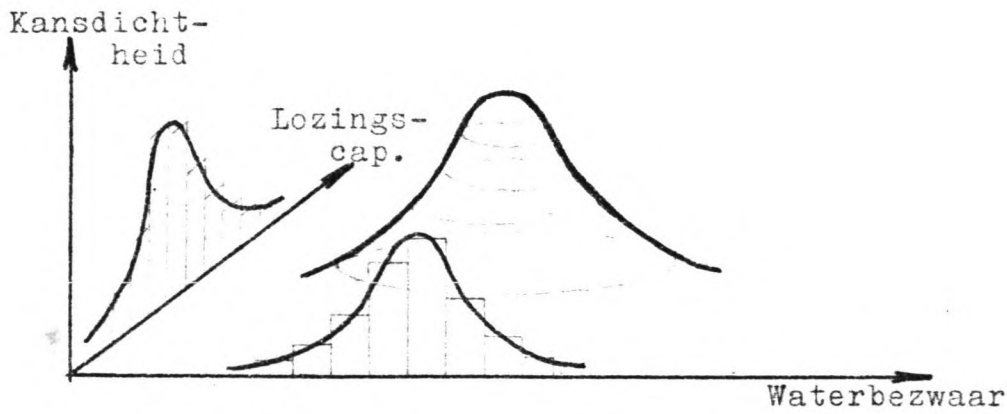


Fig 2.23, Probabilistische berekening; tweedimensionale kansdichtheidsfunctie voor een peilstijging op het Zoommeer.

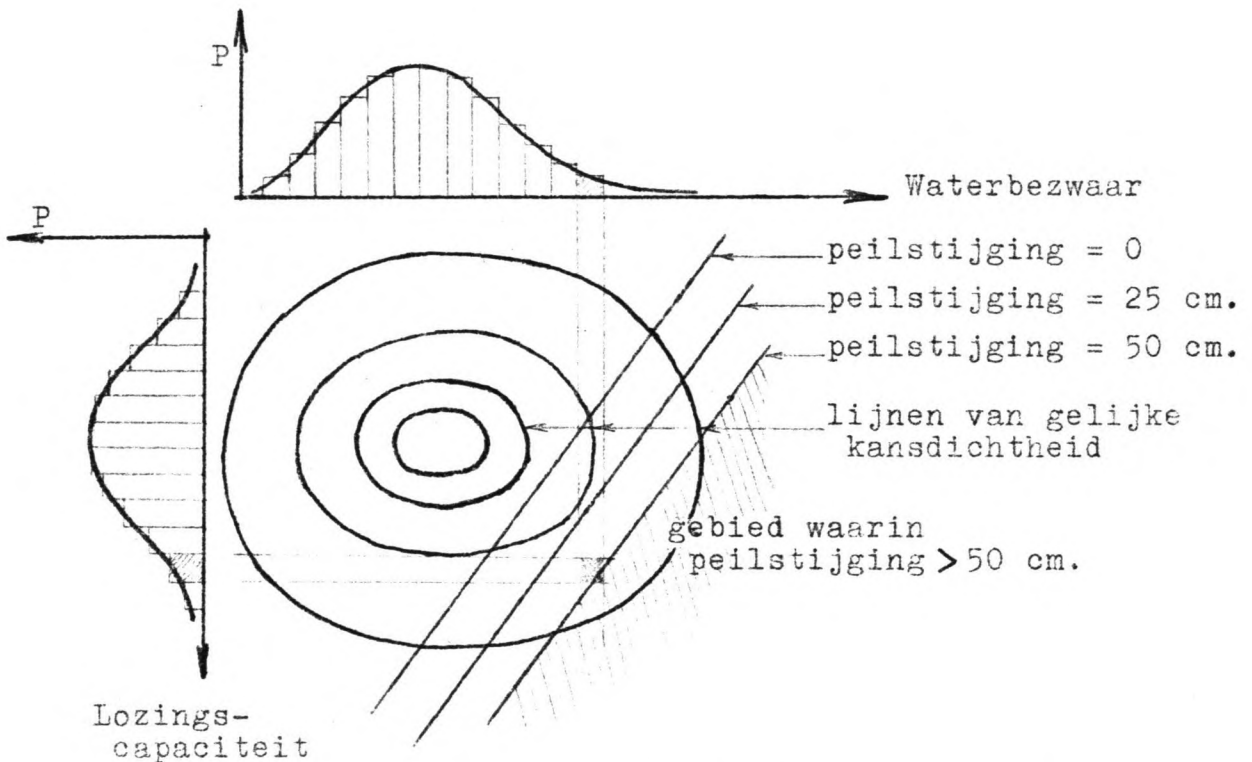


Fig 2.24, Probabilistische berekening; grenzen waarbij de peilstijging groter is dan 0, 25 en 50 cm.

In de figuur 2.24 treden peilstijgingen op bij combinaties van waterbezwaar en lozingscapaciteit die in het gebied rechts van de lijn "peilstijging = 0" liggen. De kans dat er een peilstijging optreedt wordt gegeven door het deel van de tweedimensionale kansdichtheidsfunctie dat door deze lijn wordt afgesneden.

Een exacte oplossing van deze kans zouden we kunnen bepalen door de inhoud van het afgesneden deel van de kansdichtheidsfunctie te berekenen, door de volgende integraal te bepalen:

$$P(\text{peilstijging} \geq x \text{ cm.}) = \iint_{QA-QL \geq x'} P(QA) \times P(QL) d(QA) d(QL),$$

waarin QA = waterbezwaar op het Zoommeer,

QL = lozingscapaciteit door de spuisluis en

x' = berging op het meer, bij een peilstijging x, omgerekend naar een decade-gemiddeld debiet.

Daar we veelal met kansdichtheidsverdelingen werken waarvan we de wiskundige beschrijving niet kennen levert het opstellen van deze integraal vaak moeilijkheden op. Daarom benaderen we de gezochte kans door de kansdichtheidsfuncties te verdelen in intervallen, zoals in de figuren op de vorige bladzijde al is aangegeven. De uiteindelijke kans wordt nu gevonden door sommatie van alle deel-kansjes van de QA-QL-combinaties die rechts van de lijn "peilstijging = 0, 25, 50 cm." liggen.

In de figuren 2.25 en 2.26 hebben we de interessante delen van de kansdichtheidsfuncties van het waterbezwaar en de lozingscapaciteit getekend. Deze zijn afgeleid uit de reeds eerder bepaalde overschrijdingsfrequentieverdelingen.

Bij het bepalen van de grens voor de gebeurtenissen "peilstijging 25, resp. 50 cm." moeten we nog wel rekening houden met de invloed die de verhoogde waterstand op het Zoommeer heeft op de lozingscapaciteit van de spuisluis. Als de waterstand, gerekend over een bepaalde periode, 25 resp. 50 cm. stijgt, kunnen we voor de gemiddelde waarde over die periode een 12,5 resp. 25 cm. hogere waterstand aanhouden. In figuur 2.19 kunnen we zien dat de lozingscapaciteit hierdoor met 11, resp. 22 m³/sec. toeneemt.

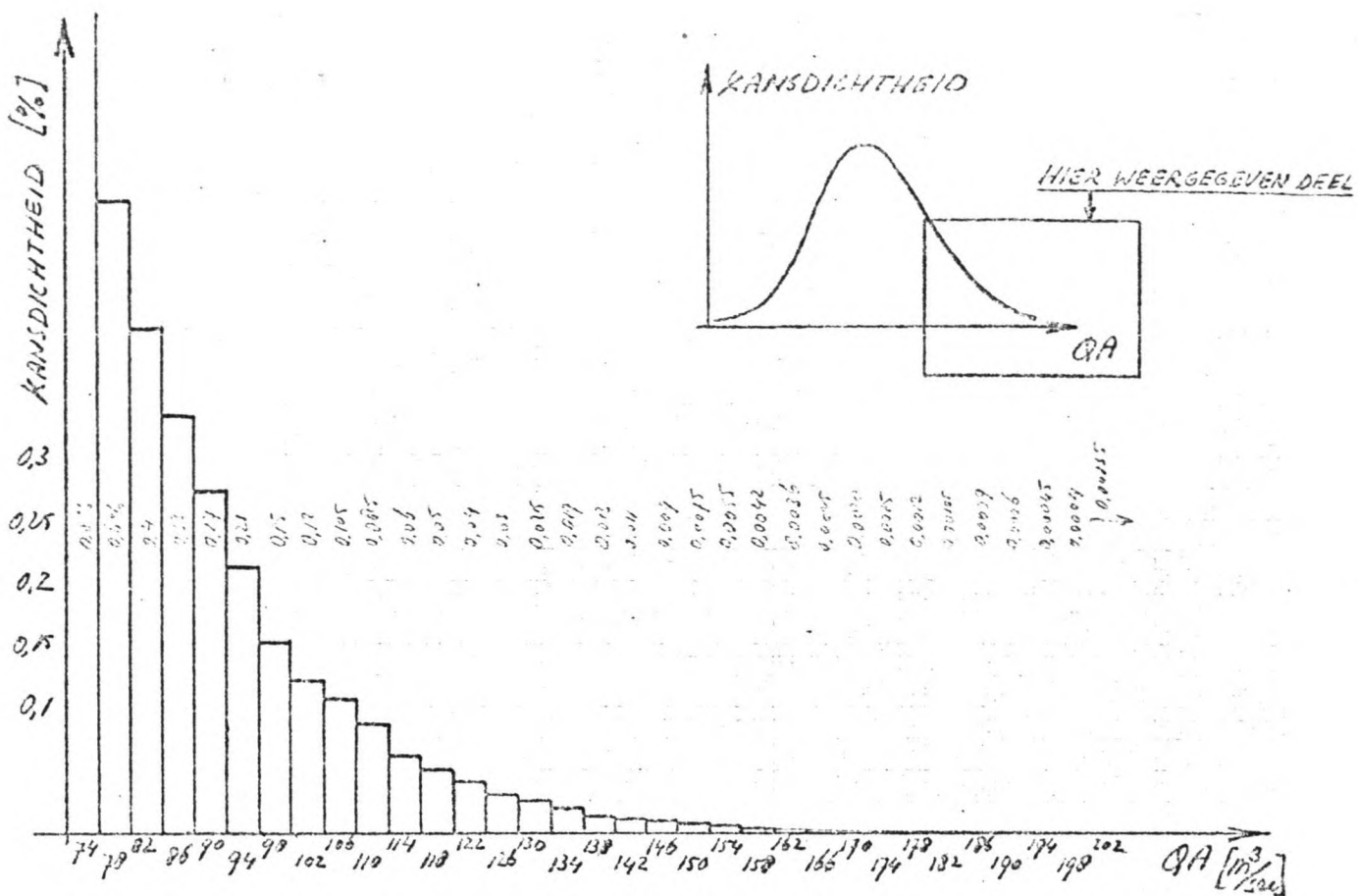


Fig. 2.25, Het interessante deel van de kansdichtheidsfunctie van het decade-gemiddelde waterbezwaar op het Zoommeer, voor de eerste decade.

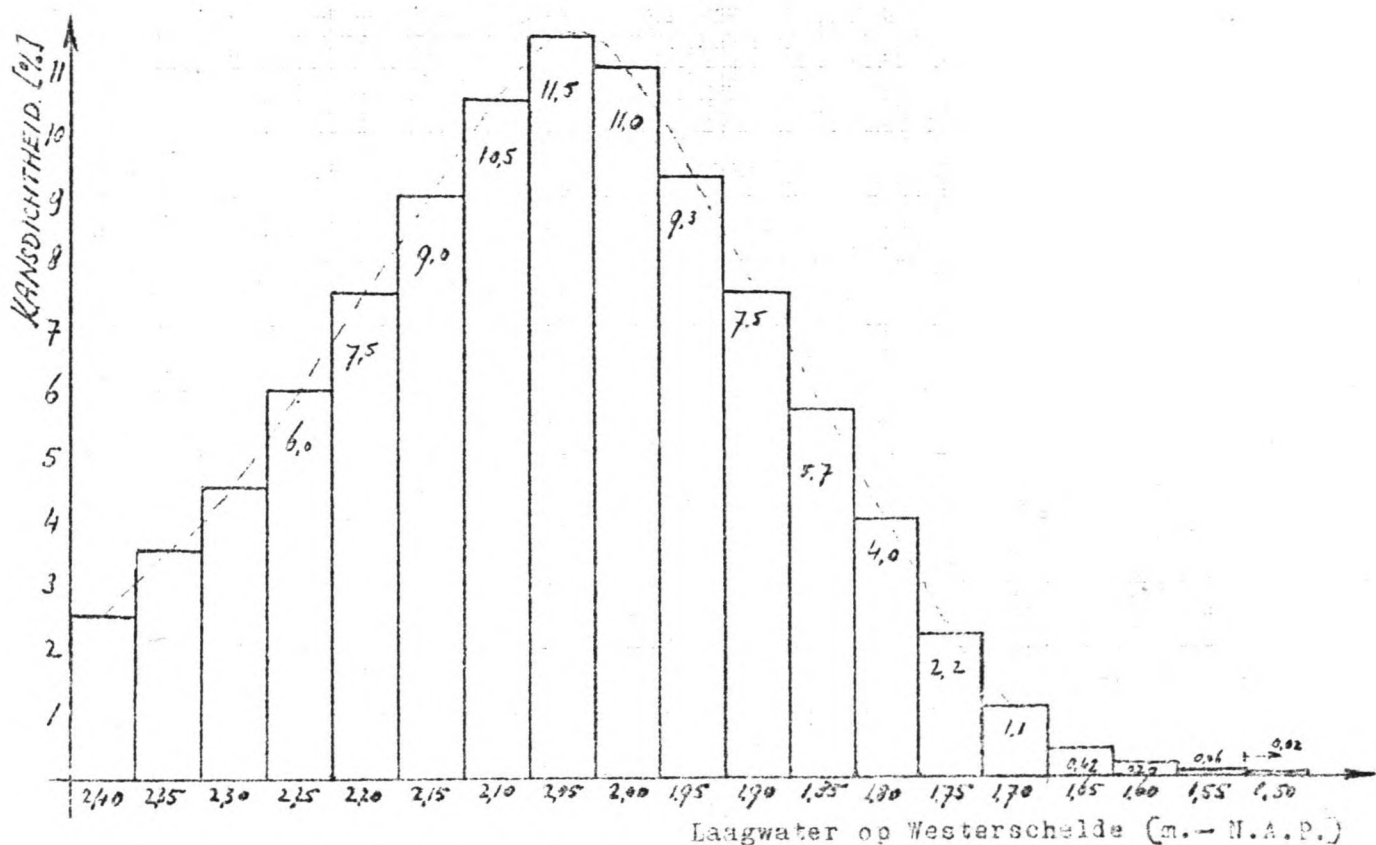


Fig. 2.26, Kansdichtheidsfunctie van de laagwaterstanden op de Westerschelde bij Bath, gemiddeld over de 1^e dec.

Voordat we aan de uiteindelijke berekeningen beginnen dienen we nog de berging op het meer te bepalen, bij een peilstijging van 25 resp. 50 cm. De oppervlakte van het Zoommeer is $6300 \cdot 10^4 \text{ m}^2$, zodat bij een peilstijging van 25 cm. de berging bedraagt:

$$\text{opp.} \times \text{peilst.} = 63 \cdot 10^6 \times 0,25 = 15,75 \cdot 10^6 \text{ m}^3.$$

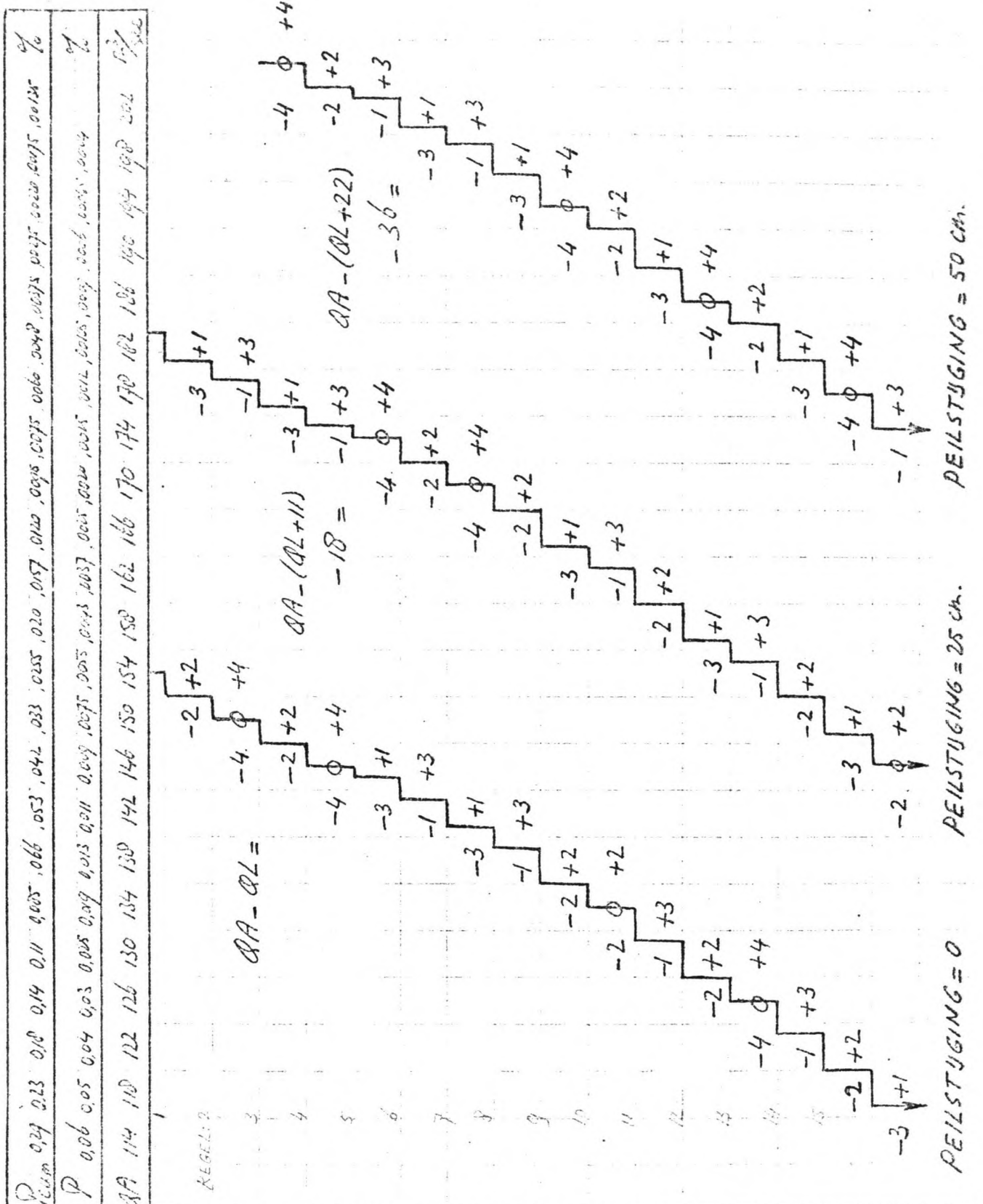
Als we deze hoeveelheid omrekenen tot een decade-gemiddeld debiet verkrijgen we:

$$\text{berging} / \text{tijd} = 15,75 \cdot 10^6 / (10 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60) = 18 \text{ m}^3/\text{sec}.$$

Voor een peilstijging van 50 cm. verkrijgen we op dezelfde wijze een debiet van $36 \text{ m}^3/\text{sec}$, als decade-gemiddelde.

In figuur 2.27 zijn de grenzen voor het optreden van de verschillende peilstijgingen nog eens geschetst, waarbij op de assen de waarden van de lozingscapaciteit en het waterbezwaar intervalls-gewijs zijn weergegeven, met de bijbehorende kansdichtheid en overschrijdingsfrequentie.

Voor elk interval dat door een grenslijn doorsneden wordt, is het verschil tussen waterbezwaar en lozingscapaciteit, nog vermindert met het bergend debiet zoals dat hierboven is bepaald, berekend. Door de kansdichtheid van het interval naar verhouding van deze getallen mee te rekenen, zal de kans op de peilstijgingen vrij nauwkeurig bepaald kunnen worden. Deze berekeningen voeren we uit voor een peilstijging > 0 cm. en een peilstijging > 25 cm. zie de bladzijden na figuur 2.27.



P	L.M.	Q.L.
%	m ³	mm ³ /sec
2,5	2,40	154
3,5	2,35	152
4,5	2,30	150
6,0	2,25	148
7,5	2,20	146
9,0	2,15	145
10,5	2,10	143
11,5	2,05	141
11,0	2,00	139
9,3	1,95	136
7,5	1,90	134
5,7	1,85	131
4,0	1,80	128
2,20	1,75	126
1,10	1,70	123
0,42	1,65	120
0,20	1,60	117
0,06	1,55	114

Fig. 2.27, Probabilistische berekening, de grenzen voor peilstijgingen groter dan 0, 25 en 50 cm, kansdichtheid van het waterbezwaar en de lozingscapaciteit.

PEILSTIJGING > 0 CM.

De kans dat er een peilstijging optreedt op het Zoommeer is groot:

regel 1:

$$P = P(QL = 154 \text{ m}^3/\text{sec.}) \times P(QA > 154 \text{ m}^3/\text{sec.}) \\ = 2,5 \% \quad \times (\frac{1}{2} \cdot 0,0055 + 0,02) \% = 0,0006 \%$$

regel 2:

$$P = P(QL = 152 \text{ m}^3/\text{sec.}) \times P(QA > 150 \text{ m}^3/\text{sec.}) \\ = 3,5 \% \quad \times (0,0255) \% = 0,0009 \%$$

regel 3:

$$P = P(QL = 150 \text{ m}^3/\text{sec.}) \times P(QA > 150 \text{ m}^3/\text{sec.}) \\ = 4,5 \% \quad \times (\frac{1}{2} \cdot 0,0075 + 0,0255) \% = 0,0013 \%$$

regel 4:

P = 6,0 %	x (0,033)	% = 0,0020 %
5: P = 7,5 %	x ($\frac{1}{2} \cdot 0,009 + 0,033$)	% = 0,0028 %
6: P = 9,0 %	x ($\frac{3}{4} \cdot 0,009 + 0,033$)	% = 0,0036 %
7: P = 10,5 %	x ($\frac{1}{4} \cdot 0,011 + 0,042$)	% = 0,0047 %
8: P = 11,5 %	x ($\frac{3}{4} \cdot 0,011 + 0,042$)	% = 0,0058 %
9: P = 11,0 %	x ($\frac{1}{2} \cdot 0,013 + 0,053$)	% = 0,0062 %
10: P = 9,3 %	x (0,066)	% = 0,0061 %
11: P = 7,5 %	x ($\frac{1}{2} \cdot 0,019 + 0,066$)	% = 0,0057 %
12: P = 5,7 %	x ($\frac{1}{4} \cdot 0,025 + 0,085$)	% = 0,0052 %
13: P = 4,0 %	x (0,11)	% = 0,0044 %
14: P = 2,2 %	x ($\frac{1}{2} \cdot 0,03 + 0,11$)	% = 0,0028 %
15: P = 1,1 %	x ($\frac{1}{4} \cdot 0,04 + 0,14$)	% = 0,0017 %
16: P = ,42 %	x (0,18)	% = 0,0008 %
17: P = ,20 %	x ($\frac{3}{4} \cdot 0,05 + 0,18$)	% = 0,0004 %

$$P (\text{Peilstijging, 1}^{\text{e}} \text{ decade}) = 0,06 \%$$

De kans dat er in de eerste decade van een jaar een ongewenste peilstijging optreedt is volgens deze berekening dus 0,06 %.

PEILSTIJGING > 25 CM.

Zoals op de vorige bladzijde de kans is bepaald op een peilstijging 0 cm. op het Zoommeer, zullen we nu de kans bepalen op een peilstijging 25 cm.

regel 1	: P = 2,5 % x ($\frac{1}{4}$.0,00105+0,0038)	% = 9.10 ⁻⁵ %
2	: P = 3,5 % x ($\frac{3}{4}$.0,00105+0,0038)	% = 16.10 ⁻⁵ %
3	: P = 4,5 % x ($\frac{1}{4}$.0,0012+0,0048)	% = 23.10 ⁻⁵ %
4	: P = 6,0 % x ($\frac{3}{4}$.0,0012+0,0048)	% = 34.10 ⁻⁵ %
5	: P = 7,5 % x ($\frac{1}{4}$.0,0015+0,0060)	% = 48.10 ⁻⁵ %
6	: P = 9,0 % x ($\frac{3}{4}$.0,0015+0,0060)	% = 61.10 ⁻⁵ %
7	: P = 10,5 % x (0,0075)	% = 79.10 ⁻⁵ %
8	: P = 11,5 % x ($\frac{1}{2}$.0,0020+0,0075)	% = 98.10 ⁻⁵ %
9	: P = 11,0 % x (0,0095)	% = 105.10 ⁻⁵ %
10	: P = 9,3 % x ($\frac{3}{4}$.0,0025+0,0095)	% = 106.10 ⁻⁵ %
11	: P = 7,5 % x ($\frac{1}{4}$.0,0037+0,0120)	% = 97.10 ⁻⁵ %
12	: P = 5,7 % x (0,0157)	% = 89.10 ⁻⁵ %
13	: P = 4,0 % x ($\frac{3}{4}$.0,0043+0,0157)	% = 76.10 ⁻⁵ %
14	: P = 2,2 % x ($\frac{1}{4}$.0,0055+0,020)	% = 47.10 ⁻⁵ %
15	: P = 1,1 % x (0,0255)	% = 28.10 ⁻⁵ %
16	: P = ,42 % x ($\frac{3}{4}$.0,0075+0,0255)	% = 13.10 ⁻⁵ %
17	: P = ,20 % x ($\frac{1}{2}$.0,009+0,033)	% = 8.10 ⁻⁵ %

$$P (\text{Peilstijging } 25 \text{ cm.}) = 0,0094 \%$$

We vinden dus voor de kans dat er een peilstijging ≥ 25 cm. op het Zoommeer optreedt, gedurende de eerste decade van een jaar, ca. 0,01 %.

2.5.2 Discussie van de resultaten

Het is hier wel op z'n plaats wat aandacht te besteden aan enkele aannamen, die zijn gedaan bij de voorgaande berekeningen.

Allereerst zijn we uitgegaan van een lozingscapaciteit van de spuisluis waarbij alle zes de kokers geöpend zijn. De kans dat, door wat voor reden dan ook, de lozing door één of meerdere kokers gestremd is, is niet beschouwd. Het tweede deel van dit afstudeerwerk zal daaraan meer aandacht besteden. Teneinde de reële kans op een bepaalde peilstijging te bepalen zouden we de kans dat één, twee enz. koker(s) gestremd zijn, moeten bepalen en dan een gereduceerde lozingscapaciteit ($5/6$, respectievelijk $4/6$ enz. van de maximale capaciteit) moeten combineren met het optredend waterbezwaar op het meer.

Ook hebben we bij de berekening verondersteld dat er geen zoetwaterverliezen bij de schutsluizen optreden. Dit is alleen zo als er bij de schutsluizen volledig wordt teruggewonnen. In de praktijk zal dit zeer weinig voorkomen, omdat de waterkwaliteit van het Zoommeer hierdoor sterk achteruit gaat. Alleen indien het zoutgehalte op het Oosterschelde-bekken te laag dreigt te worden zal zoet water worden teruggewonnen. We hebben bij de berekening dus het ongunstige geval beschouwd, de echte frequentie waarmee een peilstijging optreedt zal nog beduidend lager liggen dan de gevonden waarde.

Het is nog niet mogelijk om, na de berekening van de voorgaande paragraaf, een uitspraak te doen over de totale kans dat er een peilstijging optreedt. We hebben immers slechts de eerste decade van het jaar beschouwd; dezelfde berekening als voor de eerste decade zou voor elke decade van het jaar uitgevoerd moeten worden. Dit vereist een grote hoeveelheid werk, die we hier niet zullen uitvoeren.

We zullen proberen toch een uitspraak te doen over de totale kans op een peilstijging, door de andere decaden te vergelijken met de beschouwde eerste decade. Hiertoe construeren we de Gumbel-overschrijdingsfrequentielijnen voor de waterbezwaren op het meer, voor een aantal andere decaden, en vergelijken deze met de frequentielijn die we voor de eerste decade hebben gevonden. Figuur 2.28 geeft hiervan een beeld, voor de decaden 6, 9, 28, 31 en 34. We zien dat deze overschrijdingsfrequentielijnen nogal van elkaar en van de lijn voor de eerste decade afwijken. Met gróte voorzichtigheid zouden we wel kunnen stellen dat de eerste decade een representatieve overschrijdingsfrequentielijn heeft; in de figuur ligt deze ongeveer in het midden.

De kans op een peilstijging hangt ook af van het laagwater op de Westerschelde, zodat we ook hiervoor overschrijdingsfrequentielijnen zouden moeten construeren, voor andere decaden dan de eerste. Deze waterstanden worden voor een groot deel bepaald door windinvloeden, en uit de registratie van windsnelheden en richtingen gegeven in lit. 15 zien we dat de variatie hierin, vooral gedurende de hier interessante (natte) wintermaanden, niet zo groot is. (zie ook tabel 2.1) We kunnen dus stellen dat de overschrijdingsfrequentielijn van de laagwaterstanden op de Westerschelde van de eerste decade representatief is voor de andere decaden.

Als we zodoende de eerste decade representatief stellen voor alle decades gedurende het winter-halfjaar, (in de zomer zal de kans op een peilstijging verwaarloosbaar klein zijn) kunnen we de totale kans op een peilstijging, gerekend over het hele jaar, berekenen als het aantal decaden in het winter-halfjaar, vermenigvuldigd met de kans die we vonden voor de eerste decade. Zo vinden we voor de kans op een peilstijging: $18 \text{ decaden} \times 0,06 \% = 1,08 \%$. Voor de kans op een peilstijging $\geq 25 \text{ cm.}$ vinden we op dezelfde manier: $0,17 \%$.

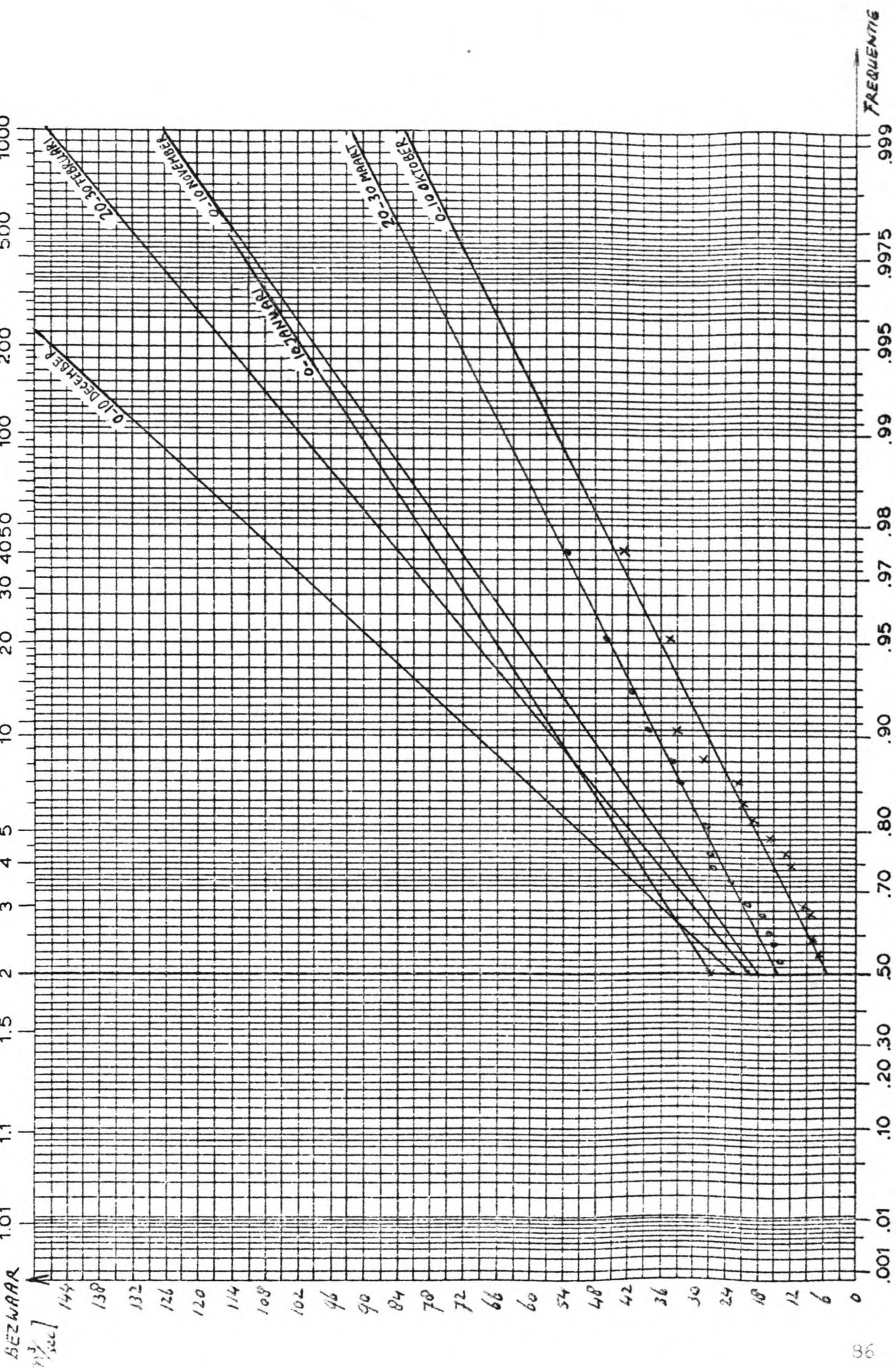


Fig. 2.28, Gumbel-overschrijdingsfrequentielijnen van de waterbezwaren op het Zoommeer, op het Zoommeer, voor de decaden 6. 9. 28. 31 en 34.

Het zij nog eens benadrukt dat bovenstaande methode ter bepaling van de kans op een peilstijging zeer grof is en alleen een indicatie kan geven van de grootteorde van de kans. Zoals reeds betoogd wijken de frequentielijnen voor de verschillende decaden teveel af om aan de gevonden waarden grotere betekenis te hechten.

In de volgende paragrafen zullen we op een andere wijze de kans op peilstijgingen , gerekend over het gehele jaar, bepalen.

2.6 Peilstijgingen gedurende kortere windopzet-periodes

2.6.1 Algemeen

Nadat in de vorige paragrafen periodes van tien dagen zijn beschouwd en de kans is berekend dat gedurende zo'n periode een bepaalde peilstijging optreedt, rijst de vraag of een beschouwing van kortere periodes wellicht een ongunstiger kans op peilstijgingen geeft. Om deze vraag te kunnen beantwoorden zullen we in de volgende paragrafen periodes beschouwen van verschillende duur, waarin een relatief hoge gemiddelde laagwaterstand op de Westerschelde optreedt, en de lozingscapaciteit van de spuisluis dus klein is.

Eerst wordt beschreven hoe de maatgevende waterbezwaren op het Zoommeer, gedurende kortere periodes dan een decade, afgeleid zijn uit de bekende gegevens. Daarna volgt een beschouwing over de windopzetperiodes op de Westerschelde. De duur ervan en de gemiddelde laagwaterstand worden beschreven met behulp van een tweedimensionale kansdichtheidsverdeling. Door combinatie van deze kansverdeling met de gevonden kansverdeling voor het waterbezwaar op het Zoommeer wordt een driedimensionale kansdichtheidsfunctie voor een peilstijging op het Zoommeer gevonden. Dit wordt in paragraaf 2.6.5 verder uitgewerkt, hetgeen uiteindelijk zal resulteren in het bepalen van de kans op een peilstijging groter dan 25 cm. op het Zoommeer.

2.6.2 Maatgevende waterbezwaren over kortere periodes

In het eerste deel van dit hoofdstuk is steeds gebruik gemaakt van de waterbezwaren op het Zoommeer, gemiddeld over een tiendaagse-periode. Het totale waterbezwaar bestaat uit drie componenten, neerslag, polderlozingen en rivierafvoeren, die alle een verschillende 'reactie-snelheid' hebben. De neerslag komt direct tijdens een bui op het meer, polderlozingen en rivierafvoeren zijn langzamer reagerende componenten. Dit is geïllustreerd in figuur 2.29. Figuur 2.30 geeft de sommatie van de componenten als functie van de tijd; we zien dat bijvoorbeeld een vierdaagse periode een groter gemiddeld waterbezwaar geeft dan de tiendaagse periode

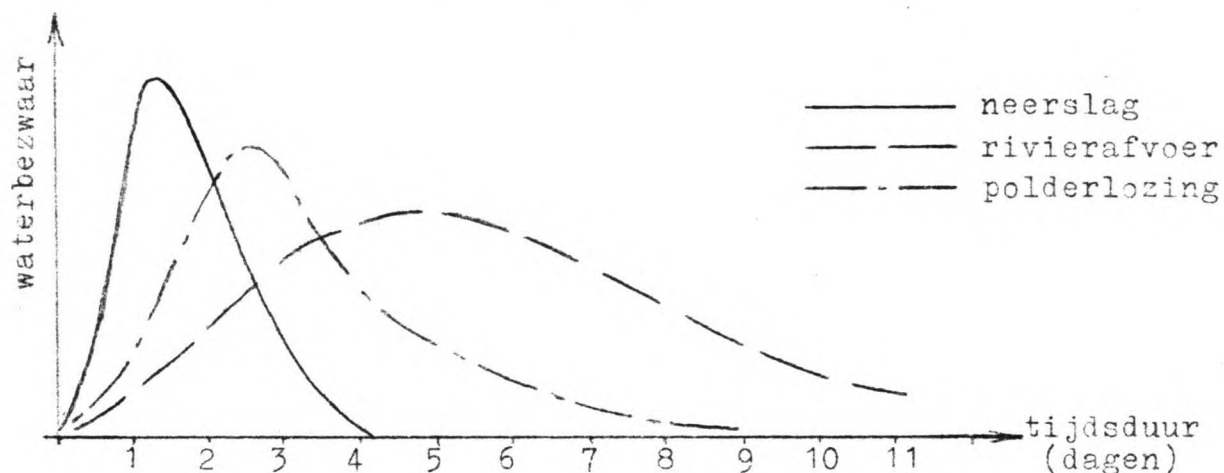


Fig. 2.29, Componenten van het waterbezwaar, als functie van de tijd.

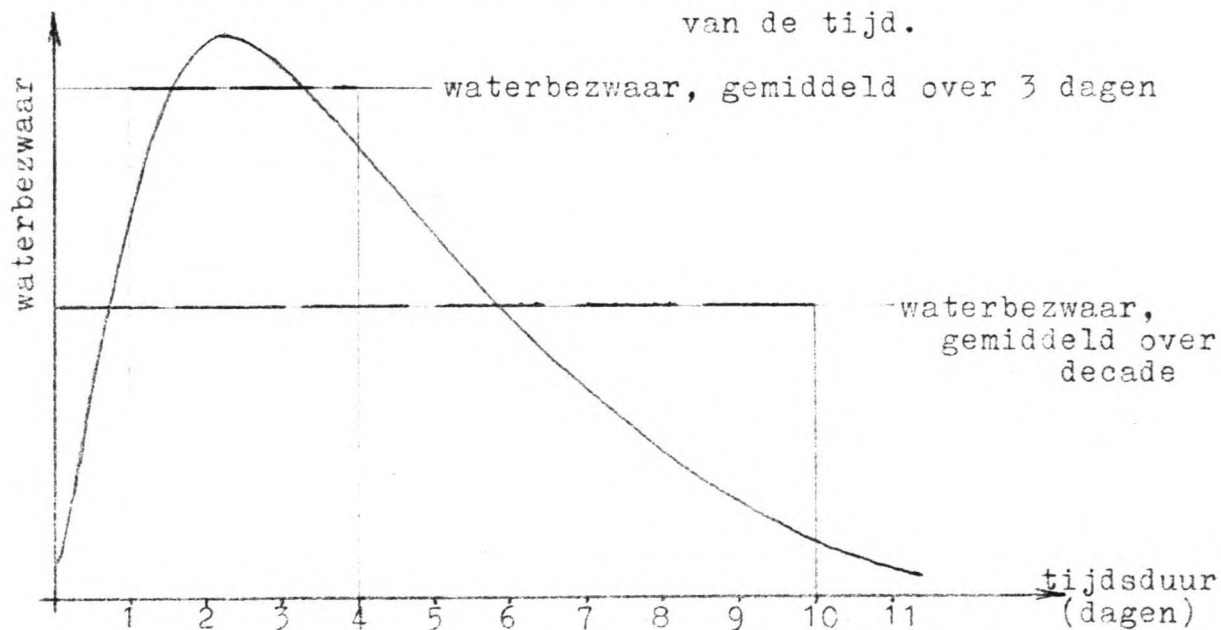


Fig. 2.30, Verloop totaal waterbezwaar over een decade en 3-, 10-daags gemiddelde.

In een rapport van de Commissie Compartimentering Oosterschelde (lit. 18) wordt aangegeven welke waterbezwaren optreden in respectievelijk 1, 3, 5, 7 en 10 dagen, met een kans van 0,1 %. Deze waarden zijn uitgezet in figuur 2.31 en door interpolatie kunnen de waarden voor tussenliggende perioden afgeleid worden.

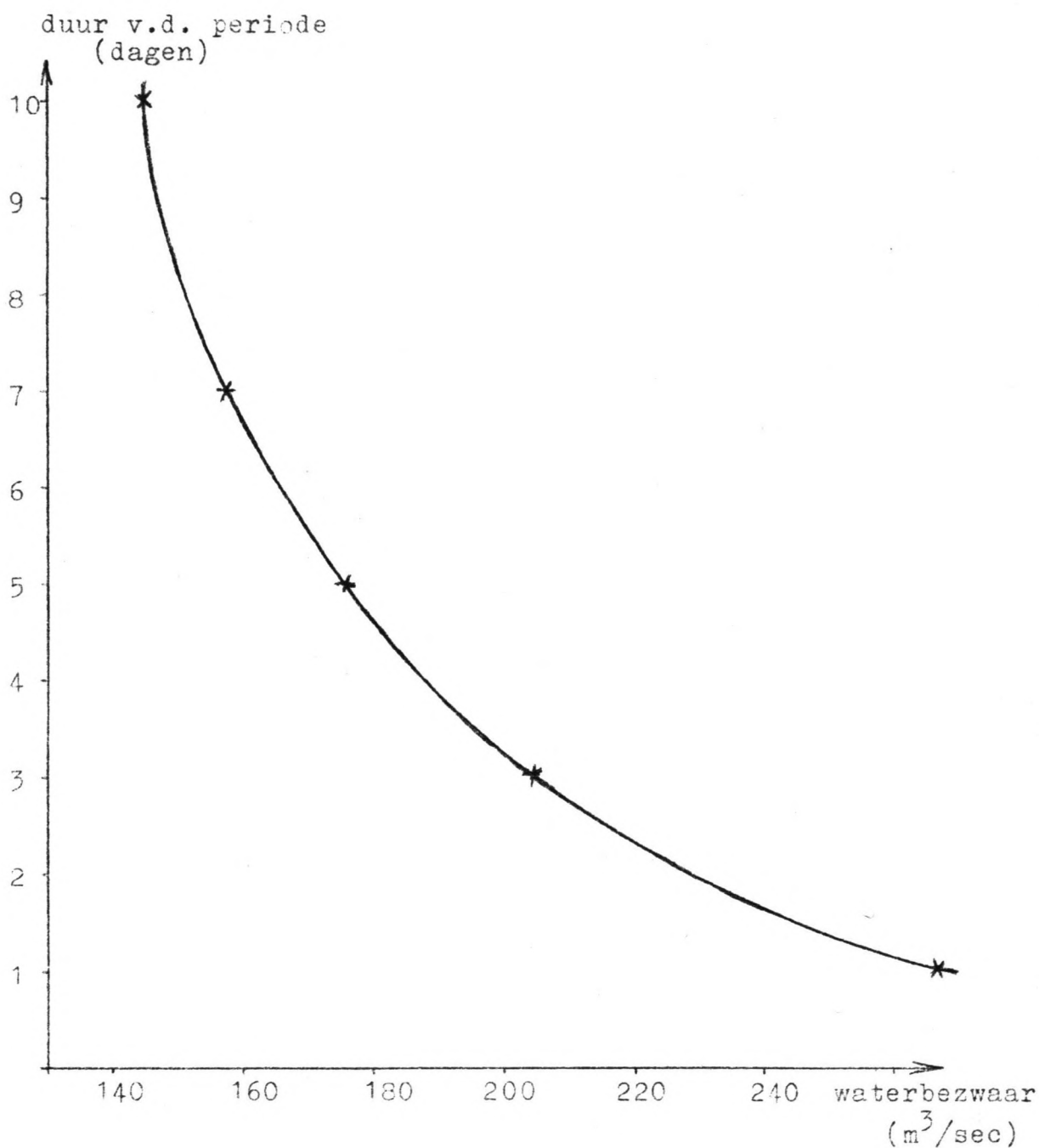


Fig 2.31, Waterbezwaren met een kans van optreden van 0,1 %, voor periodes van 1 tot 10 dagen.

Onderstaande tabel geeft de verhouding van het waterbezwaar, gemiddeld over de periodes korter dan tien dagen, tot het tiendaags-gemiddelde waterbezwaar.

duur v.d. periode (aantal laagw.)	water- bezwaar (m ³ /sec)	verhouding tot decade-gemiddelde waterbezwaar
20	145	1,000
19	146	1,007
18	148	1,021
17	150	1,034
16	153	1,055
15	156	1,076
14	159	1,097
13	162	1,117
12	166	1,145
11	171	1,179
10	176	1,214
9	182	1,255
8	189	1,303
7	197	1,359
6	205	1,414
5	215	1,483
4	227	1,566
3	243	1,676
2	267	1,841
1	315	2,130

Tabel 2. , Verhoudingsgetallen voor de waterbezwaren over kortere periodes dan de decade.

Met behulp van bovenstaande verhoudingsgetallen kunnen we (met de nodige voorzichtigheid) uit de bekende Gumbel-overschrijdingsfrequentieverdeling voor het decade-gemiddelde waterbezwaar op het Zoommeer, de Gumbel-verdeling van het waterbezwaar voor iedere kortere periode afleiden. We maken hierbij een fout; de verhouding is alleen volledig juist bij de kans van 0,1 % en zal bij andere overschrijdingskansen waarschijnlijk afwijken, maar omdat er geen verdere gegevens omtrent de waterbezwaren gedurende korte periodes beschikbaar zijn, zullen we er toch gebruik van maken. Bovendien is het aannemelijk dat voor kléine kansen, zoals we die gebruiken bij de bepaling van de kans op peilstijgingen, de verhoudingen redelijk overeenstemmen met de werkelijkheid.

In paragraaf 2.6.5 zullen we verder gebruik maken van de verhoudingsgetallen uit bovenstaande tabel.

De verhouding is dan het getal waarmee het decade-gemiddelde waterbezwaar vermenigvuldigd moet worden om het k-daagse-gemiddelde waterbezwaar te vinden dat met dezelfde kans optreedt.

('k' is het aantal dagen in de windopzetperiode.)

2.6.3 Het verschil in waterbezwaar en lozingscapaciteit, bij een peilstijging op het Zoommeer, voor korte periodes

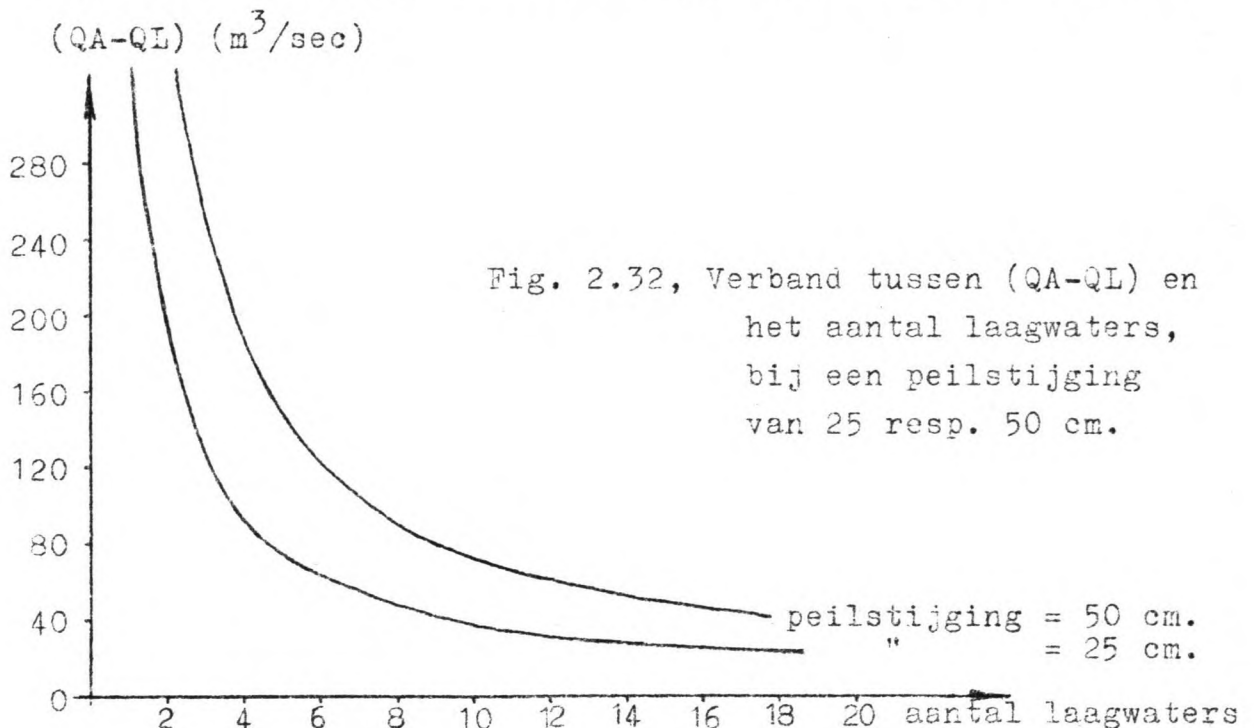
We hebben tot nu toe steeds het waterbezwaar op het Zoommeer en de lozingscapaciteit van de spuisluis uitgedrukt in m^3/sec , gemiddeld over een tiendaagse periode. Een peilstijging van 25 resp. 50 cm. kwam zo overeen met een decade-gemiddeld verschil tussen het waterbezwaar en de lozingscapaciteit, (QA-QL), van 18 resp. 36 m^3/sec . Dit volgde uit:

$$(QA-QL) = \frac{\text{peilstijging} \times \text{oppervlakte Zoommeer}}{\text{aantal sec. in decade}} \quad (m^3/sec.).$$

We zullen nu kortere periodes gaan beschouwen. Als we voor deze k-daagse periodes eveneens de (QA-QL) als k-daags gemiddelde hanteren, zal dit verschil groter moeten zijn voor een bepaalde peilstijging, naarmate de periode korter is. Er geldt nu:

$$(QA-QL) = \frac{\text{peilstijging} \times \text{oppervlakte Zoommeer}}{\text{aantal sec. in k dagen}} \quad (m^3/sec.).$$

In de onderstaande figuur is de relatie weergegeven tussen (QA-QL) en $2k$, het aantal laagwaters in k dagen, voor een peilstijging van 25 resp. 50 cm. op het Zoommeer.



2.6.4 Windopzetperiodes op de Westerschelde

Voor een peilstijging op het Zoommeer moet een periode met groot waterbezwaar op het meer samenvallen met een kleine lozingscapaciteit van de spuisluis. Deze lozingscapaciteit is afhankelijk van het laagwater op de Westerschelde, zodat we nu periodes moeten selecteren met een hoog gemiddeld laagwater op de Westerschelde.

Het eerste probleem dat hierbij optreedt is de keuze van het criterium voor deze periodes. Als we een te streng criterium hanteren zal de lozingscapaciteit van de spuisluis weliswaar klein zijn door het hoge gemiddelde laagwater, maar de duur van de periode zal te kort zijn om een peilstijging te veroorzaken. Wanneer we een te laag criterium gebruiken zullen er veel en lange periodes zijn, maar de lozingscapaciteit zal nog redelijk groot zijn.

We hebben dit probleem opgelost door voor een groot aantal controle-opzetperiodes, geselecteerd met behulp van verschillende criteria, de peilstijgingen op het Zoommeer na te gaan. De hierbij gebruikte criteria variëerden van periodes met laagwaters $> 2,20$ m.-N.A.P. tot periodes met laagwaters $> 1,50$ m.-N.A.P. Het bleek dat het criterium "laagwaters op Westerschelde $> 1,90$ m.-N.A.P." het best voldeed. Bij dit criterium verkregen we opzetperiodes met een combinatie van duur én laagwaterstanden, die de grootste peilstijgingen op het Zoommeer tot gevolg hadden.

Vervolgens is dit criterium gebruikt om uit de geregistreerde waterstandsgegevens van de Westerschelde bij Bath (lit. 12) "windopzetperiodes" te selecteren. Hiertoe zijn de winter-halfjaren van 1965 t/m 1975 beschouwd. Het bleek dat $1/3$ deel van de laagwaters in een dergelijke opzetperiode viel; de kans op een opzetperiode, $P(\text{opzetperiode})$, is dus $1/3$.

De opzetperiodes, -gekaracteriseerd door duur, aangegeven in het aantal laagwaters, en gemiddelde laagwaterstand, - zijn weergegeven in figuur 2.33, waar tevens wordt nagegaan of er correlatie bestaat tussen duur en hoogte van de opzet.

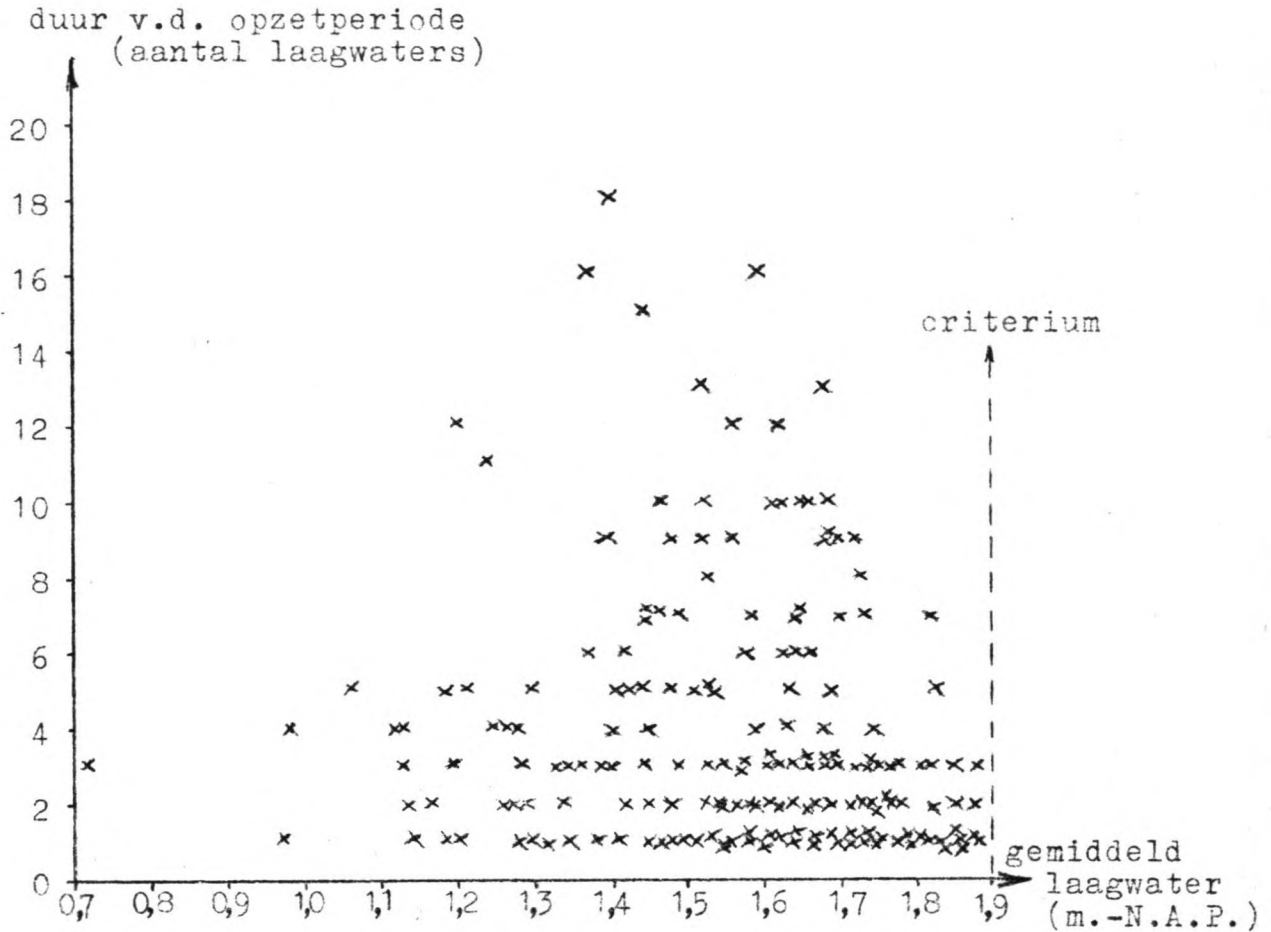


Fig 2.33, Duur en gemiddelde laagwaterstand van de opzetperiodes op de Westerschelde bij Bath.

We mogen uit de figuur concluderen dat er geen correlatie bestaat tussen de twee grootheden. Wel is het zo dat de kansdichtheidsfunctie van de duur grote waarden heeft bij een korte duur; dit kan een wat vertekend beeld geven.

Het feit dat er geen correlatie bestaat tussen duur en hoogte houdt in dat we de tweedimensionale kansdichtheidsfunctie voor de opzetperiode kunnen vinden door 'duur' en 'hoogte' als onafhankelijke variabelen te beschouwen.

We kunnen aparte overschrijdingsfrequentielijnen construeren voor de duur en de hoogte van een opzetperiode. De resultaten hiervan zijn gegeven in de figuren 2.34 en 2.35 op de volgende bladzijden. Het zal opvallen dat in de laatste van deze figuren de schaal, waarop de laagwaterstanden zijn weergegeven, ongebruikelijk is. Deze schaal is zodanig gekozen dat een zo goed mogelijke correlatie met de waarnemingen verkregen is. Aangezien er in de figuur alleen wordt geïnterpoleerd levert dit geen moeilijkheden op bij de interpretatie van de resultaten.

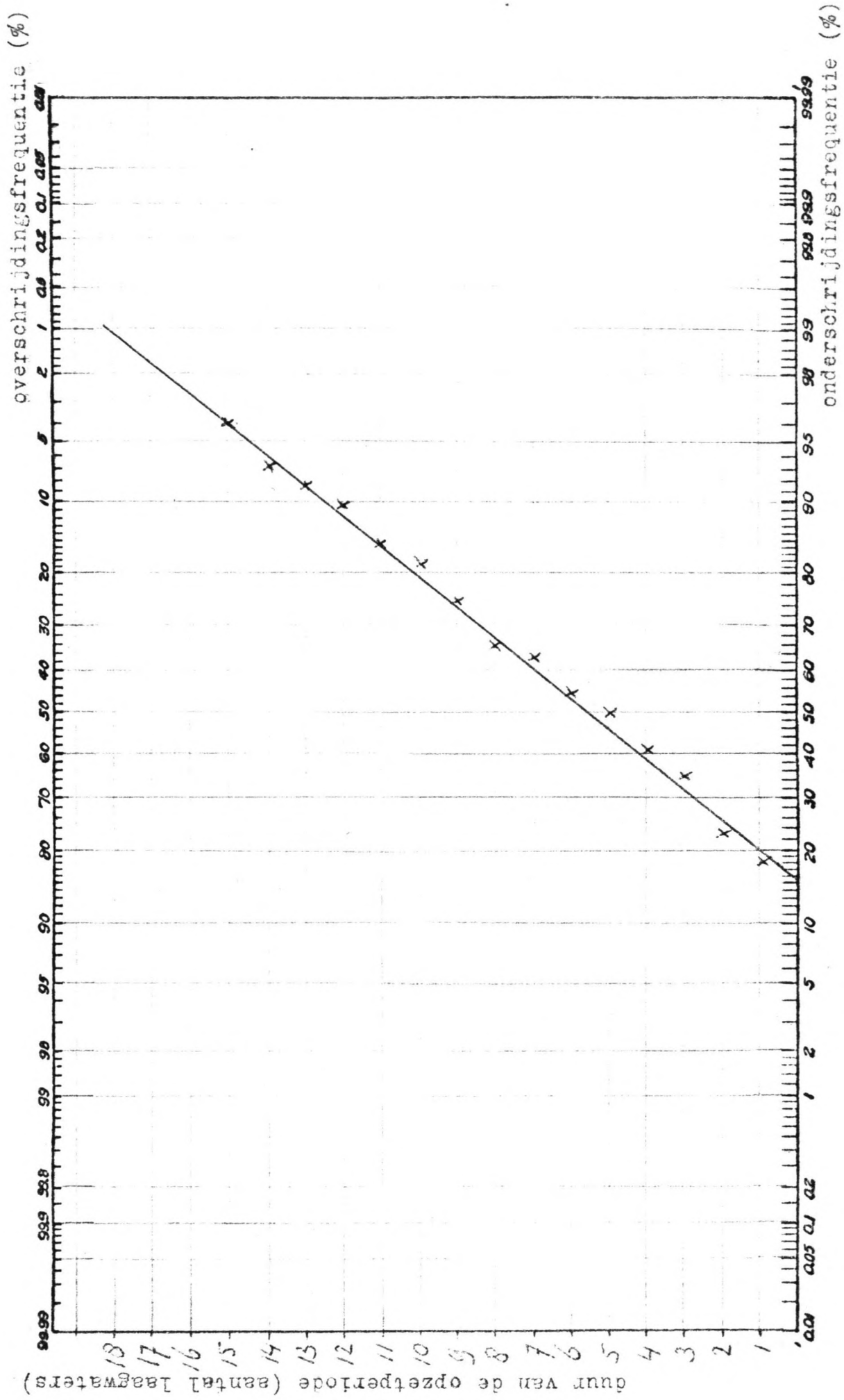


Fig. 2.34 Overschrijdingsfrequentielijn voor de duur van de opzetperiode.

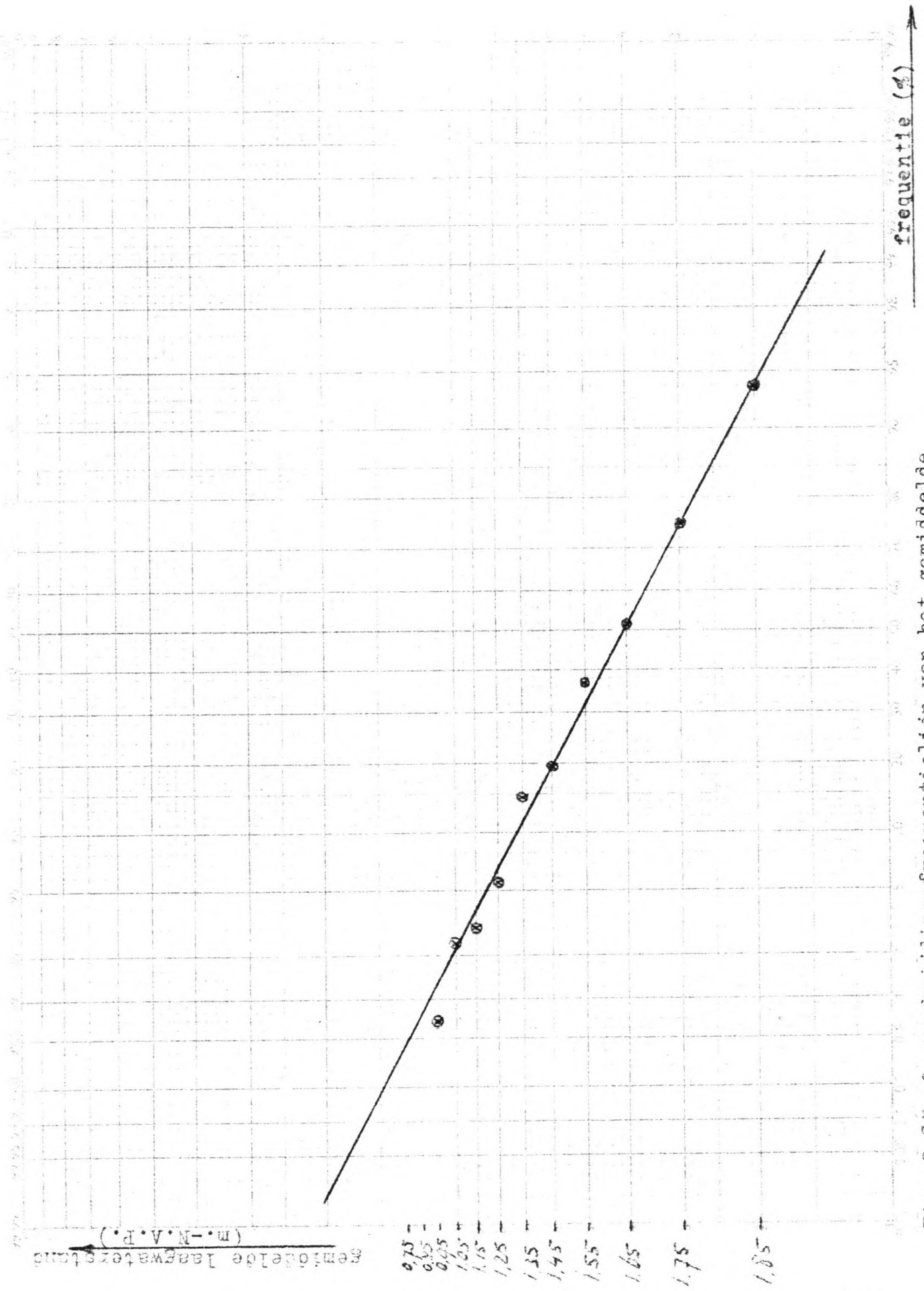
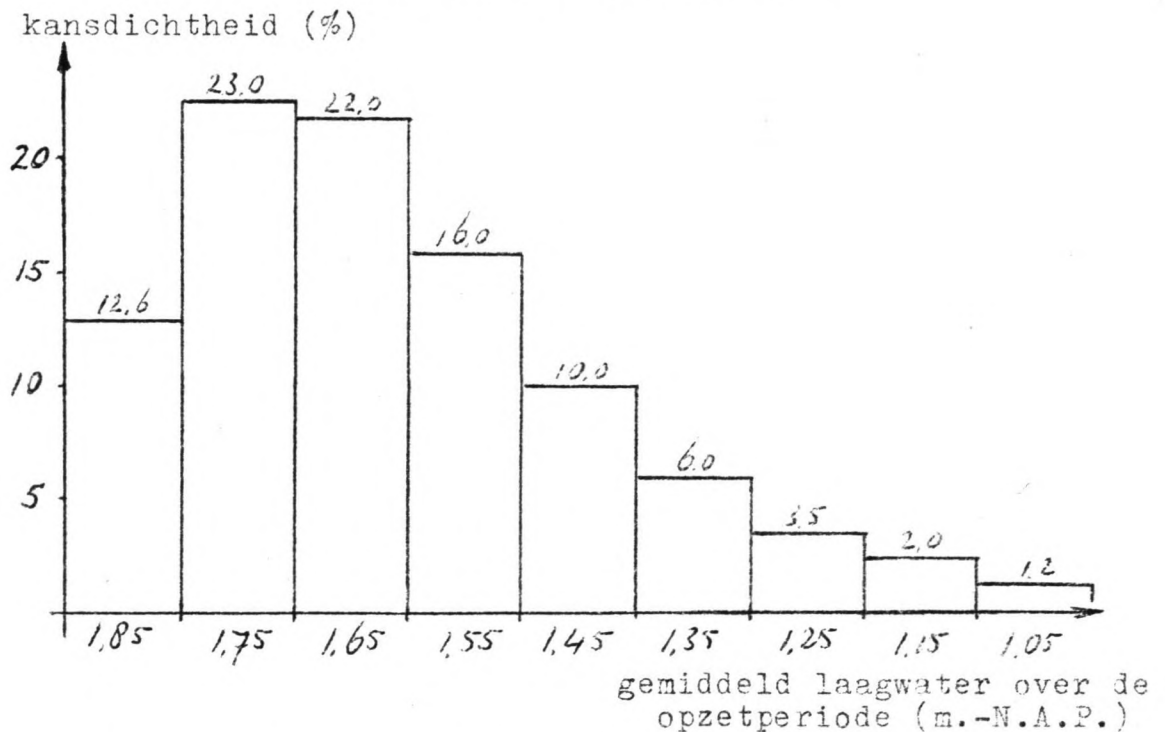
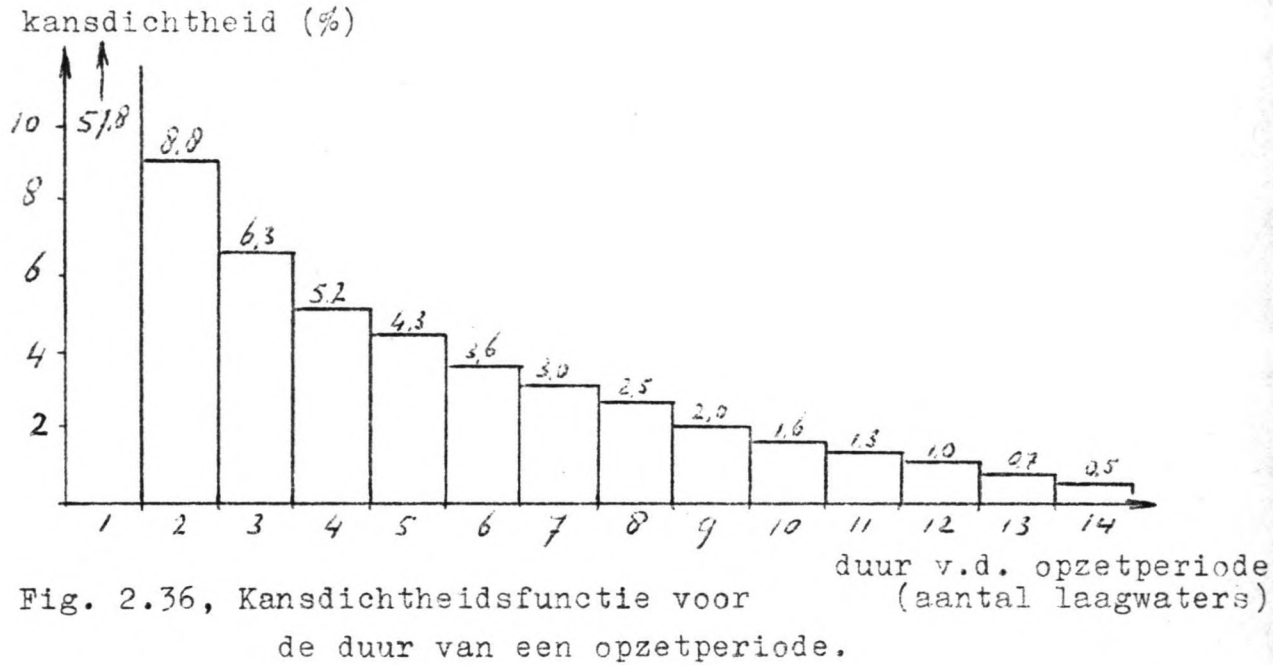


Fig. 2.35, Overschrijdingsfrequentielijn van het gemiddelde laagwater, gedurende een opzetperiode.

2.6.5 Tweedimensionale kansdichtheidsfunctie voor duur en hoogte van de opzetperiode.

Uit de overschrijdingsfrequentielijnen, geconstrueerd in de voorgaande paragraaf, kunnen we de afzonderlijke kansdichtheidsfuncties voor de duur en de hoogte van de opzetperiode afleiden. Deze zijn gegeven in onderstaande figuren.



Zoals reeds betoogd, zijn duur en hoogte van een opzetperiode onafhankelijk, zodat de kans op een opzetperiode met duur = x en hoogte = y, gegeven dat er een opzetperiode optreedt, gelijk is aan de kans op 'duur = x' máál de kans op 'hoogte = y', ofwel:

$$P(\text{opzetperiode met duur} = x \text{ en hoogte} = y \mid \text{opzetperiode-treedt op}) = P(\text{duur} = x) \times P(\text{hoogte} = y).$$

We hebben reeds gevonden dat de kans op het optreden van een opzetperiode gelijk is aan $1/3$, zodat de hierboven gevonden kans nog vermenigvuldigd moet worden met $1/3$, om de uiteindelijke kans op de opzetperiode te vinden.

Voorlopig laten we de kans op het optreden van een opzetperiode even buiten beschouwing en bepalen de tweedimensionale kansdichtheidsfunctie voor een opzetperiode met een bepaalde duur en hoogte, uitgaande van de afzonderlijke kansdichtheidsfuncties van de duur resp. de hoogte.

Figuur 2.38, op de volgende bladzijde, illustreert dit.

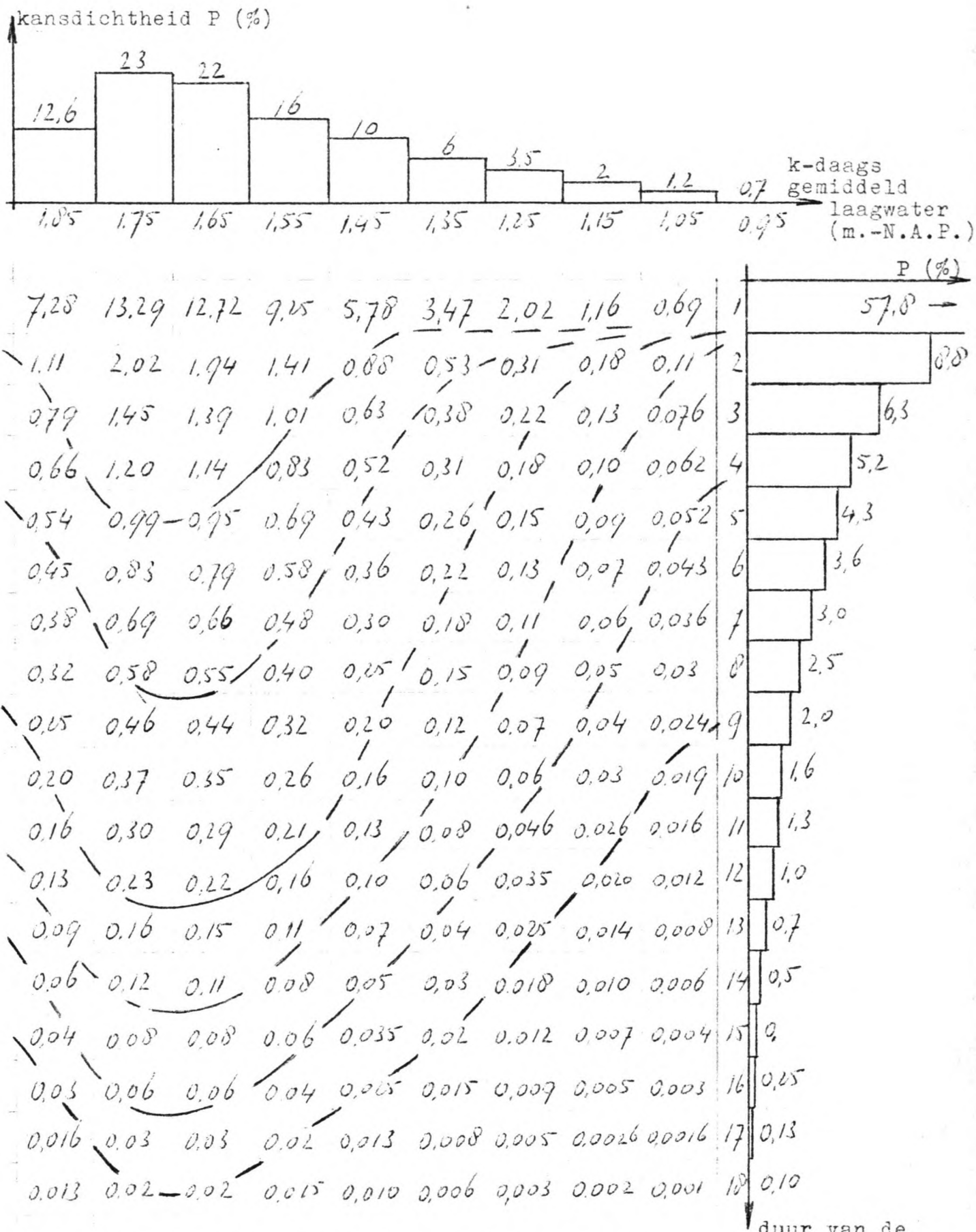


Fig. 2.38, Tweedimensionale kansdichtheidsfunctie van duur en hoogte van de windopzetperiodes op de Westerschelde; tevens zijn enkele lijnen met gelijke kansdichtheid aangegeven.

2.6.6 De driedimensionale kansdichtheidsfunctie voor een peilstijging op het Zoommeer.

Om tot een peilstijging op het Zoommeer te komen moet elke combinatie van duur en hoogte van de opzetperiode nog eens gecombineerd worden met een bepaald waterbezwaar op het meer, en de kans op dat waterbezwaar. We mogen veronderstellen dat de grootte van het waterbezwaar op het meer onafhankelijk is van de opzetperiode (duur en hoogte), zodat we de deelkansen weer mogen vermenigvuldigen om tot de kans van gelijktijdig optreden van de gebeurtenissen te komen. Zodoende ontstaat er een driedimensionale kansdichtheidsfunctie voor een peilstijging op het Zoommeer. In formule uitgedrukt:

$$P(\text{peilstijging} = a \text{ cm.}) = P(\text{duur} = x) \times P(\text{hoogte} = y) \\ \times P(\text{waterbezwaar} = z).$$

De kans dat een bepaalde peilstijging op het Zoommeer optreedt, of wordt overschreden is dan:

$$P(\text{peilst.} \geq a \text{ cm.}) = P(\text{duur}) \times P(\text{hoogte}) \times P(\text{waterbezw.}) \\ d(\text{duur}) \ d(\text{hoogte}) \ d(\text{waterbezw.})$$

Voor de goede orde wordt erop gewezen dat de kansdichtheidsfunctie voor een peilstijging eigenlijk vier-dimensionaal is; de kans dat er een opzetperiode optreedt is hier niet beschouwd. Aangezien dit een ja/nee-gebeurtenis is, met bekende kans, kunnen we later het resultaat van de driedimensionale kansdichtheidsfunctie eenvoudig vermenigvuldigen met $P(\text{opzetperiode treedt op})$, en zo de uiteindelijke kans vinden.

De uitwerking van de kansdichtheidsfunctie is zó uitgevoerd dat voor iedere combinatie van duur en hoogte van de opzetperiode eerst de lozingscapaciteit van de spuisluis is bepaald met behulp van figuur 2.19.

Vervolgens is berekend hoe groot het waterbezwaar, gemiddeld over de duur van de opzetperiode, minstens moet zijn om een peilstijging op het Zoommeer, groter of gelijk aan 25 cm, te bewerkstelligen. Dit waterbezwaar gemiddeld over een k-daagse periode is met behulp van de verhoudingsgetallen uit tabel 2.3 (par.2.3.2) omgerekend tot een decade-gemiddelde waarde. Deze waarde van het waterbezwaar kan worden opgezocht in de Gumbel-overschrijdingsfrequentielijn uit literatuur (2), hier bijgevoegd als figuur 2.39. Hieruit kan de kans op overschrijden van dit waterbezwaar worden afgelezen.

Door vermenigvuldiging van deze kans met de kans op de duur-hoogte combinatie van de opzetperiode vinden we een deelkans van de driedimensionale kansdichtheidsverdeling die we zoeken. Sommatie van al deze deel-kansen geeft het uiteindelijke resultaat, de kans dat een peilstijging ≥ 25 cm. optreedt. De bijlagen (3) t/m (13) geven de uitwerking van bovenomschreven methode. Op iedere bijlage van deze serie is een gemiddelde laagwaterstand over de opzetperiode beschouwd, in combinatie met een duur van de opzetperiode van 1 tot 18 laagwaters. De resultaten zijn in onderstaande tabel weergegeven.

bijlage.	gemiddeld laagwater.	kans peilst. 25 cm.
4	1,85 m.-N.A.P.	$3,18 \cdot 10^{-3} \%$
5	1,75	7,34
6	1,65	9,60
7	1,55	9,53
8	1,45	7,52
9	1,35	6,24
10	1,25	5,69
11	1,15	3,89
12	1,05	3,19
13	0,95 m.-N.A.P.	$2,59 \cdot 10^{-3} \%$

Tabel 2.4, Resultaten van de bepaling van de deelkansen van het optreden van een peilstijging ≥ 25 cm.

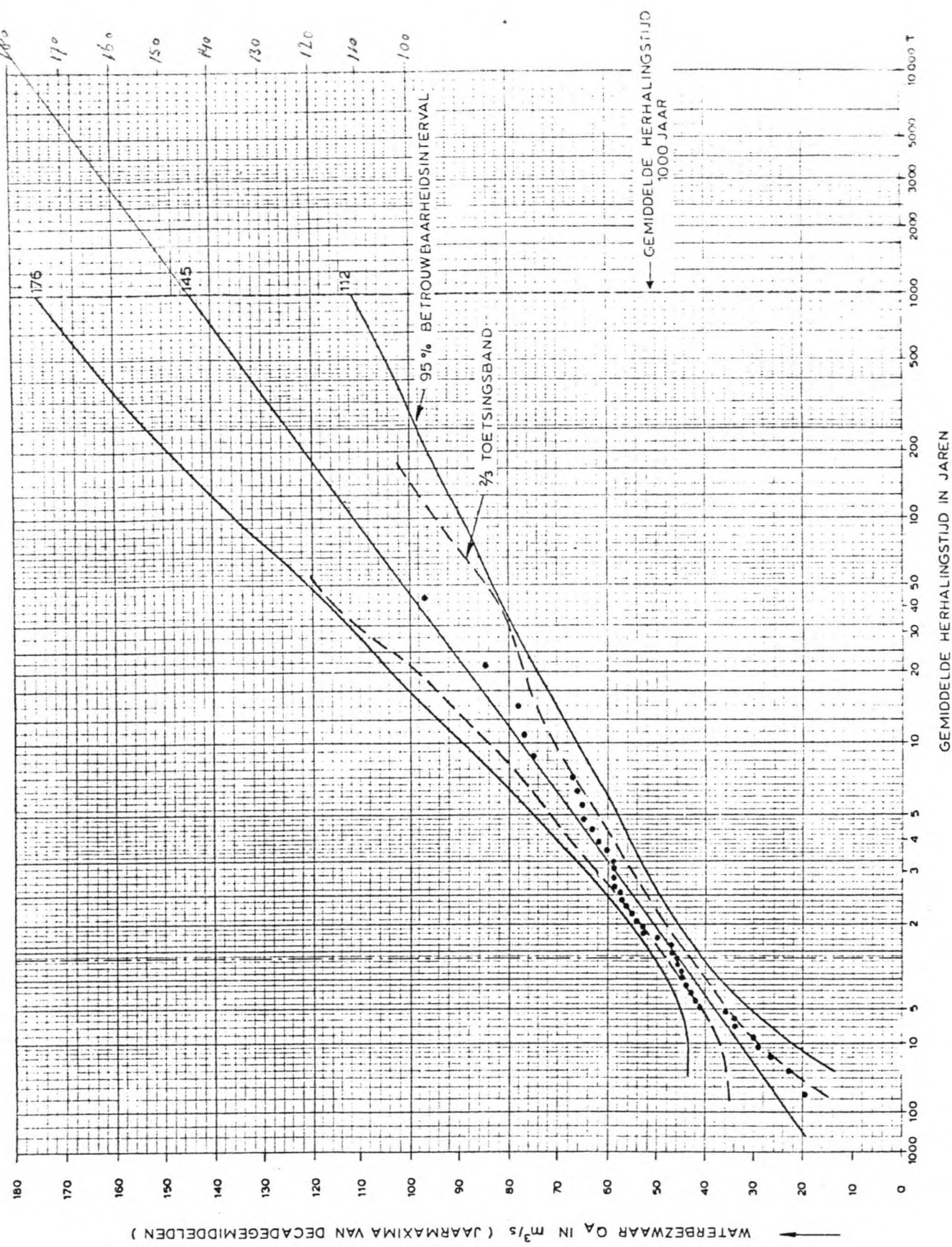


Fig. 2.39, Gumbel-over-schrijdingsfrequentietlijn voor decade-gemiddeld waterbezwaar.

OVERSCHRIJDINGSLIJK VOOR WATERBEZWAAR PER DECADE OP HET ZOOMMEER VOLGENS GUMBEL (MAX. WATERBEZWAAR Q_A PER JAAR)			
rijkswaterstaat	get.	din a 3	nota nr. 24.001.07
directie waterhuishouding en waterbeweging		nr.	biilage nr. 2
district zuidwest			

We zetten de gevonden deelkanssen uit in een grafiek, als functie van het k-daags gemiddeld laagwater; zie onderstaande figuur.

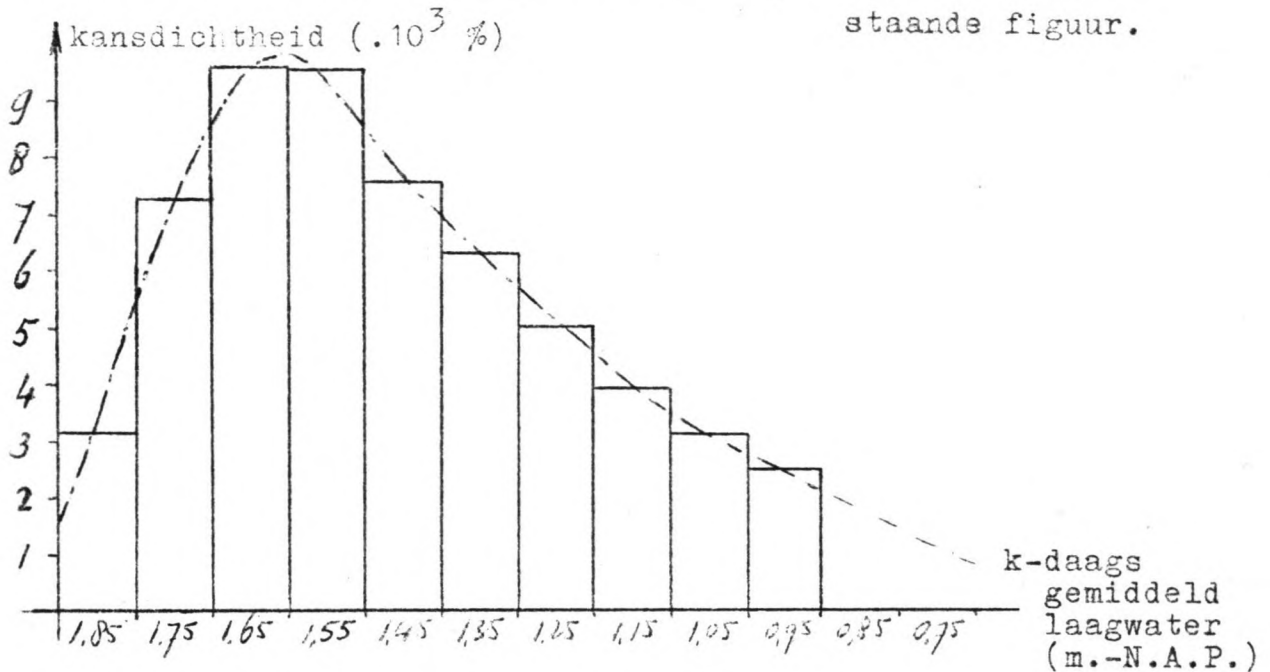


Fig 2.39, Relatie tussen deelkanssen op peilstijging 25 cm. op het Zoommeer en de gemiddelde laagwaterstand over de opzetperiode.

We hebben reeds eerder gevonden dat de kans op het optreden van een opzetperiode gelijk is aan $1/3$. De kans dat er tijdens het optreden van een opzetperiode een peilstijging groter of gelijk 25 cm. optreedt op het Zoommeer is:

$$(3,18 + 7,34 + 9,60 + 9,53 + 7,52 + 6,24 + 4,98 + 3,89 + 3,19 + 2,59 + \frac{1}{3} \cdot 2,59 \cdot 5) \times 10^{-3} = 65 \times 10^{-3} \%$$

De totale kans op het optreden van een peilstijging ≥ 25 cm. op het Zoommeer wordt gevonden door deze waarde te vermenigvuldigen met $1/3$, de kans op een opzetperiode.

Het resultaat is:

$$P(\text{peilstijging} \geq 25 \text{ cm.}) = \underline{22 \times 10^{-3} \%}.$$

2.6.7 Discussie van de resultaten

Als resultaat van de voorgaande berekeningen vinden we dus dat een peilstijging op het Zoommeer, van 25 cm. of meer, met een kans van $22 \cdot 10^{-3} \%$ optreedt. Omgerekend naar een optredensfrequentie is dit gemiddeld éénmaal in de 4546 jaar, hetgeen zeer zeker aanvaardbaar is.

Verder hebben we enkele aanannemen gedaan die een overschatting van de kans op een peilstijging inhielden. Zo is aangenomen dat er bij de schutsluizen volledige terugwinning van zoet water zou zijn. In werkelijkheid zal dit eerder een uitzondering zijn, zodat de lozingscapaciteit dan groter is dan de nu aangenomen waarde. Omdat deze extra lozingscapaciteit moeilijk kwantificeerbaar is (afhankelijk van scheepsaanbod en beheersstrategie), is dit niet in de berekening opgenomen.

Een indicatie van de veiligheid ten aanzien van peilstijgingen wordt verder verkregen uit lit.(8). Hierin wordt aangegeven dat een waterstand van 50 cm. + N.A.P. nog toelaatbaar is, exclusief de windinvloed op de waterstand, die ook nog 50 cm. kan bedragen. Dit betekent een peilstijging van 1 m. in totaal. We zien dat de door ons gevonden waarde, ten opzichte van deze informatie, als zeer veilig aangemerkt kan worden.

Tot slot kan nog opgemerkt worden dat dit resultaat overeenkomt met de beschouwing van Rijkswaterstaat. De lozingscapaciteit van de nu ontworpen sluis is in de eerste plaats afgestemd op de eisen die het kwaliteitsbeheer stelt; voor het peilbeheer zou met een kleinere doorstroomopening volstaan kunnen worden. (Lit. 2 geeft een lozingscapaciteit aan van ca. $80 \text{ m}^3/\text{sec}$, indien alleen gelet wordt op het peilbeheer; Onze berekeningen zijn uitgevoerd met een capaciteit van $139 \text{ m}^3/\text{sec}$.)

Of de capaciteit van het huidige spuisluisontwerp ook voldoet aan de eisen die het kwaliteitsbeheer stelt, wordt in het volgende hoofdstuk gezien.

3 Kwaliteitsbeheer Zoommeer.

3.1 Inleiding

3.1.1 Algemeen

Alhoewel we beseffen dat vele opgeloste en gesuspendeerde stoffen het Zoommeerwater kunnen verontreinigen, zullen we hier de waterkwaliteit direct koppelen aan het chloride-gehalte. We zullen de kwaliteit dus uitdrukken in grammen (of milligrammen) Cl^- -ion per kubieke meter (of liter).

Zoals in het inleidende hoofdstuk reeds werd aangeduid is de kwaliteit van het Zoommeerwater te beheren door middel van doorspoeling van het meer. Hierbij wordt er zoet water ingelaten vanuit het Hollands Diep, en relatief zout water geloosd door de spuisluis bij Bath. Om een doelmatig kwaliteitsbeheer te kunnen verwezenlijken moet de hoeveelheid water die van Noord naar Zuid kan worden doorgespoeld voldoende zijn. Dit resulteert in eisen, te stellen aan de doorlaatopening van de spuisluis, teneinde een voldoende debiet door de sluis te kunnen verwezenlijken. Om een uitspraak te kunnen doen omtrent de reeds ontworpen doorlaatopening, zullen we in dit hoofdstuk het kwaliteitsbeheer van het Zoommeer nader beschouwen.

Het is moeilijk om harde cijfers te geven voor het nog toelaatbare Cl^- -gehalte van het Zoommeerwater. Globaal kunnen we stellen dat een waarde tot $300 \text{ grCl}^-/\text{m}^3$ nog redelijk is; $400 \text{ grCl}^-/\text{m}^3$ is minder wenselijk. Tabel 3.1 geeft normen voor het chloride-gehalte van oppervlaktewater, voor verschillende gebruiksdoeleinden (bron: lit. 18). Hierbij zij nog opgemerkt dat de aan het Cl^- -gehalte te stellen eisen niet kunnen worden uitgedrukt in gemiddelde waarden; Het aquatisch milieu is gevoelig voor snelle fluctuaties en het optreden van piekwaarden.

Indicatief Meerjaren Programma	150 à 200 mgrCl ⁻ /ltr.
drinkwatervoorziening	150 à 200
tuinbouw onder glas	200
akkerbouw en fruitteelt	500 à 600
berekening van gewassen	300
milieu	300

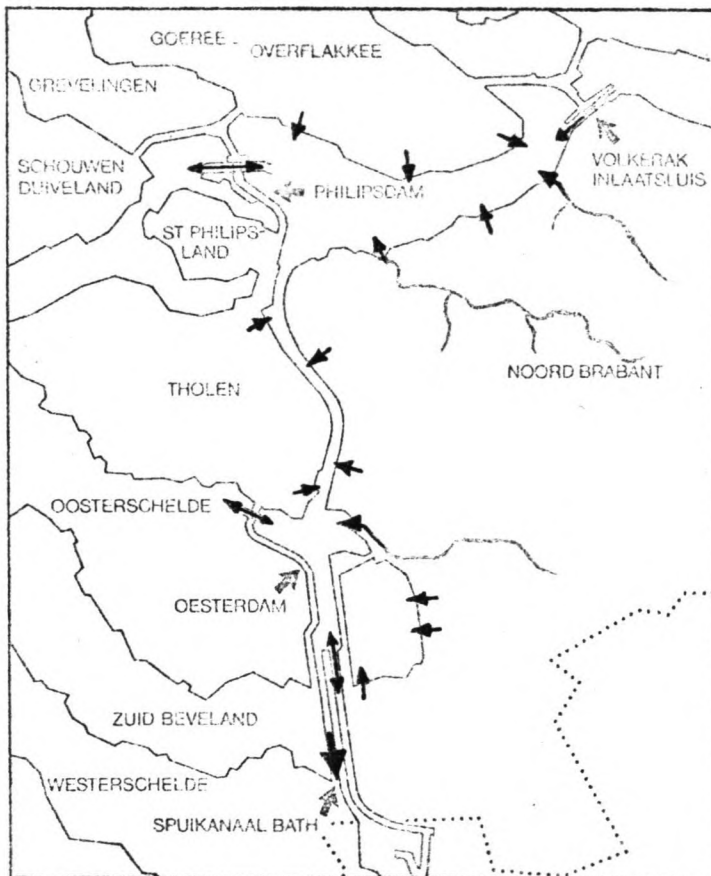
Tabel 3.1, Normen voor het chloridegehalte.

Ook tabel 20 uit literatuur (19) en de tabel op bladzijde 15 van literatuur (20), beide weergegeven op bijlage 14, geven een overzicht van de bruikbaarheid van water met verschillende chloridegehalten. Hierin wordt een gehalte ≤ 300 mgr/ltr aangeduid als geschikt voor alle landbouwdoeleinden en als drinkwater voor de mens. Een gehalte van 300 tot 500 mgrCl⁻/ltr kan oogstvermindering geven bij gebruik als gietwater onder glas.

3.1.2 Beschrijving van het systeem

De zoutlast op het Zoommeer wordt voornamelijk bepaald door de zouttoevoer via de schutsluizen en door het zout, opgelost in de polderlozingen en afvoer van de westbrabantse rivieren. Een verwaarloosbare hoeveelheid chloride wordt nog toegevoerd door kwel door de compartimenteringsdammen en door bodemdifffusie; dit zullen we niet opnemen in onze berekeningen.

Figuur 3.1 geeft een beeld van het Zoommeer-systeem met de water- en chloridebelastingen, zoals het in de toekomst zal functioneren.



Figuur 3.1, Water- en chloridebelastingen op het Zoommeer.

Als het meer doorgespoeld wordt met water vanuit het Hollands Diep, is ook het zoutgehalte hiervan van belang; dit geeft ook een zoutlast op het Zoommeer.

De schematisatie die we in het navolgende zullen hanteren ten behoeve van de berekeningen, is de volgende:

- Het Zoommeer wordt geschematiseerd tot één bekken, zonder vakindeling.
- Directe en volledige menging van alle water- en zoutbelastingen met de inhoud van het meer.
- Figuur 3.2 illustreert de belastingen op het meer, volgens de schematisatie.

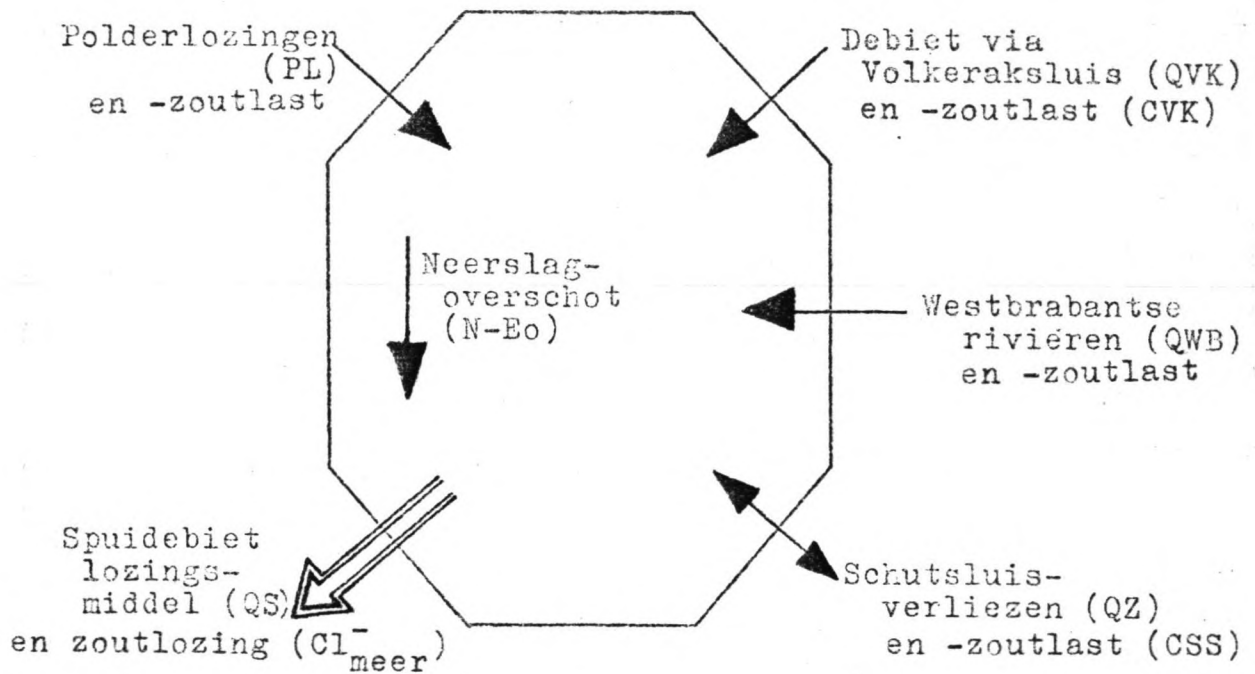


Fig. 3.2, Schematisatie van het Zoommeer-systeem, met water- en zoutbelastingen en -onttrekkingen.

Verder zullen we alleen de toestand beschouwen zoals die na enige tijd in het Zoommeer op zal treden. Na het sluiten van de compartimenteringsdammen zal het meer eerst nog geruime tijd een relatief zoute inhoud hebben, die door extra doorspoeling vervangen moet worden door een zoete. Hier zullen we er echter vanuit gaan dat deze primaire ontzilting van het meer reeds heeft plaatsgevonden en het meer dus zoet is.

Ook veronderstellen we bij de berekeningen dat er voldoende doorspoelwater voorradig is in het Hollands Diep. Gezien de periode die we zullen beschouwen (najaar, zie par. 3.1.4), mogen we aannemen dat er voldoende water door de grote rivieren wordt aangevoerd, zodat deze aanname wel gerechtvaardigd is.

3.1.3 Foutenboom

Door middel van een foutenboom kan worden nagegaan welke oorzaken kunnen leiden tot het optreden van een ongewenste (top-)gebeurtenis, in dit geval een te hoog chloridegehalte op het Zoommeer.

In de volgende figuur is de "foutenboom" voor het optreden van een hoog Cl^- -gehalte gegeven.

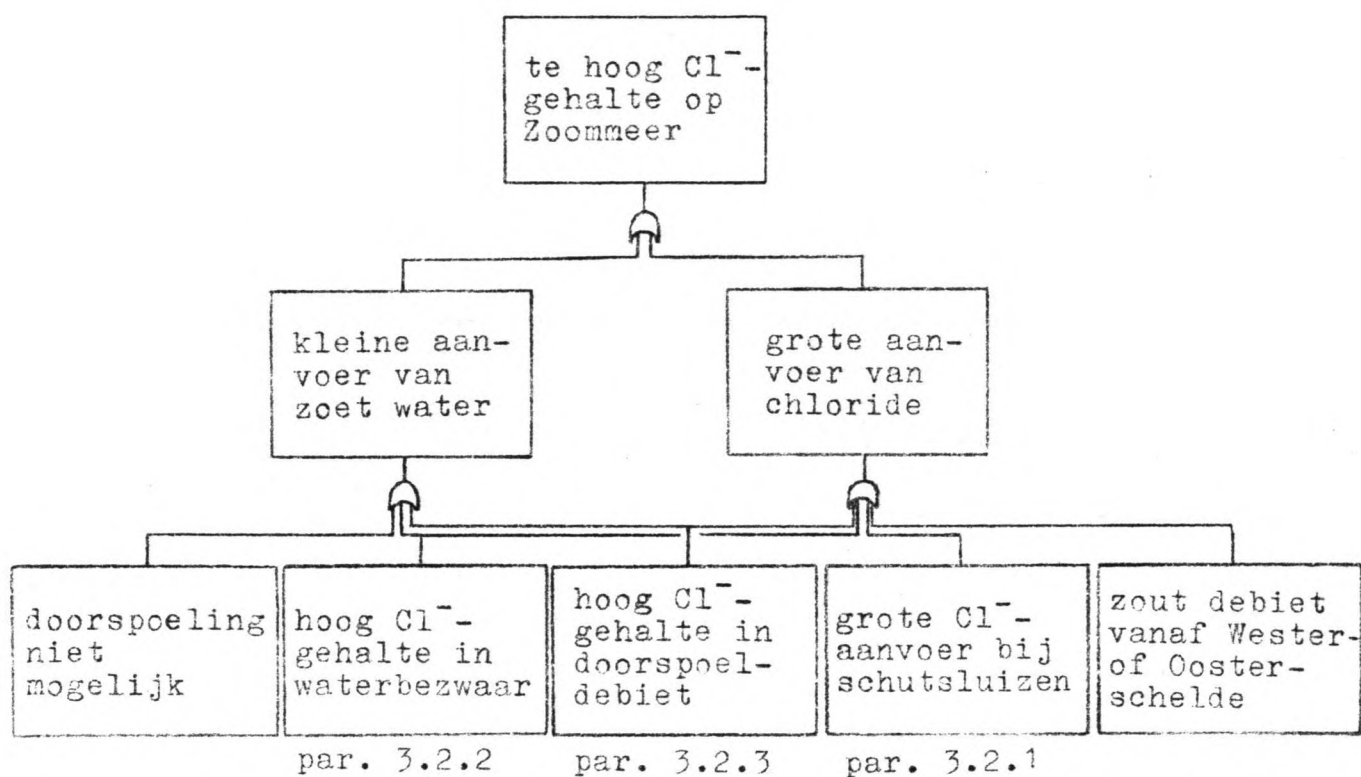


Fig. 3.3, Foutenboom voor kwaliteitsbeheer.

In de volgende paragrafen volgt eerst een beschouwing omtrent de periode waarover gerekend zal worden, daarna een behandeling van de deelgebeurtenissen uit de foutenboom.

Uiteindelijk resulteert dit in het afschatten van de kans dat bepaalde zoutgehalten op het Zoommeer overschreden worden. (paragraaf 3.3)

We behandelen hier, in het kort, de gebeurtenissen die wel kunnen leiden tot de ongewenste topgebeurtenis, maar die niet in de verdere beschouwing zijn meegenomen:

- Geen of weinig doorspoeling mogelijk. We hebben reeds de aanname genoemd die een voldoende voorradigheid van zoet water in het Hollands Diep veronderstelde. Buiten deze oorzaak kan er ook een defect optreden aan de Volkerak-inlaatsluis, of aan de spuisluis, waardoor de doorspoeling gestremd kan zijn. We gaan er bij onze beschouwing vanuit dat deze beide sluizen normaal functioneren. In het tweede deel van dit afstudeerwerk wordt dieper ingegaan op de kans dat de spuisluis niet functioneert, en de kans dat hierdoor een hoog chloridegehalte optreedt.
- Binnendringend zout-water. Door verschillende oorzaken kan er zout water ongewild binnendringen op het Zoommeer. We denken hierbij aan de compartimenteringsdammen die kunnen bezwijken, of een debiet vanaf de Westerschelde door een falende spuisluis. Het bezwijken van de compartimenteringsdammen wordt geheel buiten beschouwing gelaten, het falen van de spuisluis, met als gevolg een zout debiet op het Zoommeer, wordt in deel II van dit afstudeerwerk beschouwd.

3.1.4 Rekenperiode

Zoals al eerder aangegeven zijn, naast het gemiddelde zoutgehalte op het Zoommeer over langere tijd, ook de fluctuaties en het optreden van piekwaarden van belang uit het oogpunt van kwaliteitsbeheer. Vooral het aquatisch milieu is hiervoor gevoelig. Een artikel in het "Driemaandelijks bericht Deltawerken", getiteld "Aquatisch ecologisch onderzoek" geeft hieromtrent meer informatie (lit. (21)).

We zullen allereerst aandacht besteden aan de gemiddelde waarde van het chloridegehalte over een bepaalde periode. Later kunnen we eventueel de korterdurende fluctuaties nog hierop superponeren.

Als we voor de beschouwing van het gemiddelde chloridegehalte een te korte periode nemen (decade of maand) heeft de 'voorgeschiedenis' een te grote invloed op het zoutgehalte om betrouwbare resultaten te verkrijgen. We moeten dus een voldoende lange periode beschouwen om dit probleem te omzeilen. In diverse publicaties (lit. (2) en (22)) wordt aangegeven dat Rijkswaterstaat voor dergelijke berekeningen de periode van een kwartaal heeft gebruikt.

Verder blijkt uit de bijlagen 13 t/m 25 van lit. (5), waarvan er ter illustratie hier een is opgenomen als bijlage 15, dat het chloridegehalte in het voorjaar over het algemeen vrij laag is, en gedurende zomer en najaar toeneemt. Omstreeks november wordt er dan een maximum bereikt, waarna in de natte wintermaanden de zoutconcentratie weer afneemt.

De genoemde overwegingen doen ons besluiten ons te gaan bezighouden met het gemiddeld chloridegehalte over één kwartaal. Daarbij beschouwen we het najaar-kwartaal, omdat in deze periode de hoogste, en dus meest ongunstige, chloridegehalten te verwachten zijn.

3.2 Zoutbelastingen

3.2.1 Zoutbelasting bij de schutsluizen

De grootste zoutbelasting op het Zoommeer wordt veroorzaakt door de schutsluizen, niettegenstaande het feit dat deze zijn uitgerust met een ingenieus zout/zoet-scheidings-systeem. Literatuur (5) geeft hierover uitgebreide informatie, terwijl hierin ook de resultaten van modelproeven, uitgevoerd door het Waterloopkundig Laboratorium, zijn gepresenteerd.

Het blijkt dat een harde uitspraak omtrent de te verwachten zoutbelasting bij de schutsluizen niet mogelijk is. Op bijlage 6 van lit. (5) is voor verschillende situaties een gemiddelde, maximum en minimum voorspelling gedaan voor het optredend zoutbezwaar. Het hier interessante deel van deze gegevens is weergegeven in tabel 3.2.

sluis:	aan- tal	cycli dag	zoetwater verlies	zoutbezwaar		
				gem.	min.	max.
Ph-dam duwv.	3	14	20,5 $\frac{m^3}{s}$	3,5	3,5	7,0 $\frac{kgCl^-}{sec}$
Ph-dam jacht.	1	14	0,4	0,1	0,1	0,1
Oesterd.sl.	1	14	0,9	0,2	0,2	0,3
Kreekraksl.	2	14	17,4	0,4	0,0	1,7
* Situatie zonder terugwinnen van zoet water.						
Ph-dam duwv.	3	13	10,4 $\frac{m^3}{s}$	22,8	16,2	32,5 $\frac{kgCl^-}{sec}$
Ph-dam jacht.	1	14	0,4	0,1	0,1	0,1
Oesterd.sl.	1	14	0,9	0,2	0,2	0,3
Kreekraksl.	2	13	8,1	9,7	3,2	16,2
* Situatie met 50 % zoet water terugwinnen.						

Tabel 3.2, Zoutbelasting en zoetwaterverlies bij de schutsluizen van het Zoommeer.

Verder zij hier nog verwezen naar de beschouwing op de bladzijden 25 en 26 van lit.(5), hier bijgevoegd als bijlage 16, waar de waarden gegeven worden die voor waterhuishoudkundige berekeningen aangehouden kunnen worden.

We kunnen déze waarden, en de waarden uit tabel 3.2, echter niet zonder meer gebruiken in onze berekeningen. Zelfs als we stellen dat de gemiddelde voorspelling van het zoutbezwaar de juiste is, zal het reële zoutbezwaar nog beïnvloed worden door een aantal factoren, zoals:

- aantal schutcycli per dag (afh. v. scheepsaanbod),
- zoutgehalte van het Oosterscheldebekken,
- waterstand op het Oosterscheldebekken,
- zoutgehalte van het Zoommeer.

Om tot een goede schatting te komen van het werkelijke chloridebezwaar via de schutsluizen zou het nodig zijn om van al deze variabelen een kansverdeling te construeren. Door daarna de meer-dimensionale kansdichtheidsfunctie van de combinatie van deze variabelen te bepalen, zou dan een juiste frequentieverdeling van de overschrijding van zoutbezwaren gevonden kunnen worden.

Door de modelresultaten, nu weergegeven door een gemiddelde, een maximum- en een minimum waarde, ook als een kansverdeling op te vatten kunnen we deze op dezelfde wijze als de voorgaande variabelen verwerken. Zo verkrijgen we dan een kansdichtheidsfunctie voor het chloridebezwaar via de schutsluizen, zoals we die nú, voor het functioneren in de toekomst, kunnen voorspellen.

Om de berekening handzaam te houden, zullen we onshier beperken tot twee variabelen, het scheepsaanbod en de modelresultaten, en hiermee de kansdichtheidsfunctie voor het zoutbezwaar bepalen. We gaan er vanuit dat er géén zoet water wordt teruggewonnen bij de schutsluizen; in werkelijkheid zal dit terugwinnen ook een uitzondering zijn.

Ook nemen we aan dat de derde duwvaartsluis in de Philipsdam gerealiseerd is; we beschouwen dus de ongunstige situatie, zoals die zich in de wat verdere toekomst voor kan doen. Tenslotte wordt ook de Oesterdamsluis, die momenteel ter discussie staat, in de beschouwing opgenomen. Volgens tabel 3.2 is de totale chloridebelasting op het Zoommeer dan:

minimum 3,8 kgCl⁻/sec,
gemiddeld 4,2 kgCl⁻/sec,
maximum 9,1 kgCl⁻/sec.

De kansdichtheidsfunctie voor de zoutbelasting op het Zoommeer, zoals we die op grond van de uitspraken t.a.v. de verwachte betrouwbaarheid van het modelonderzoek kunnen schatten, zou er dan als volgt uit kunnen zien.

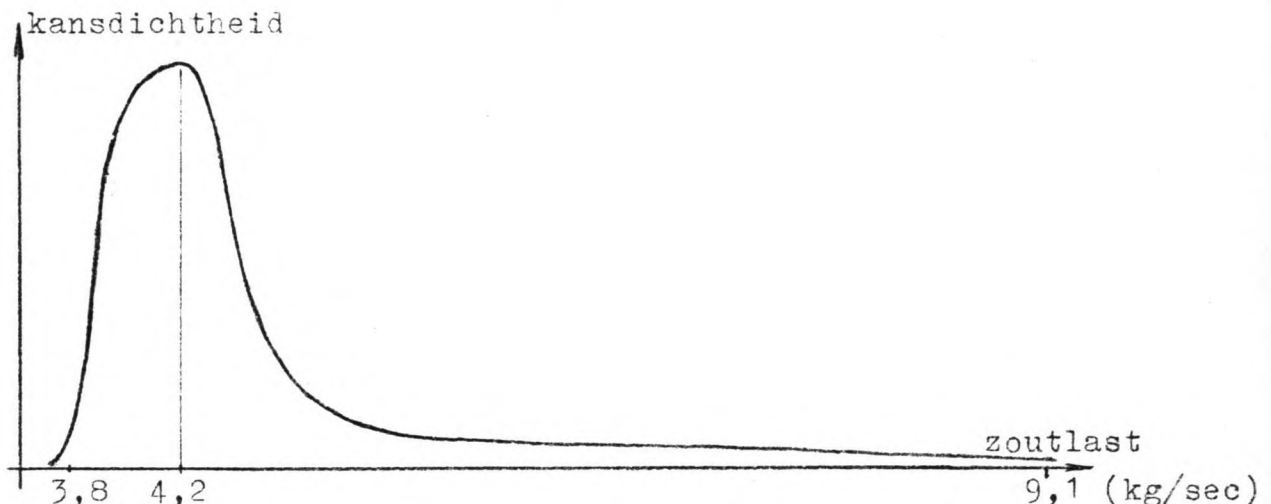


Fig. 3.4, Kansdichtheidsfunctie voor het voorspelde zoutbezwaar op het Zoommeer bij de schutsluizen.

Wat betreft de kansdichtheidsfunctie voor het scheepsaanbod, en dus voor het zoutbezwaar bij de schutsluizen, gelden de volgende overwegingen. Als er een derde duwvaartsluis in de Philipsdam in gebruik is genomen kunnen we stellen dat de capaciteit van 2 sluizen te klein was; $2 \times 14 = 28$ schutcycli was dus te weinig. Het maximaal aantal schutcycli per dag is met de derde sluis op $3 \times 14 = 42$ gebracht. De verwachtingswaarde van de kansdichtheidsfunctie zal ergens tussen deze waarden liggen.

Figuur 3.5 geeft de geschatte kansdichtheidsfunctie voor het aantal schutcycli van de Philipsdamsluizen.

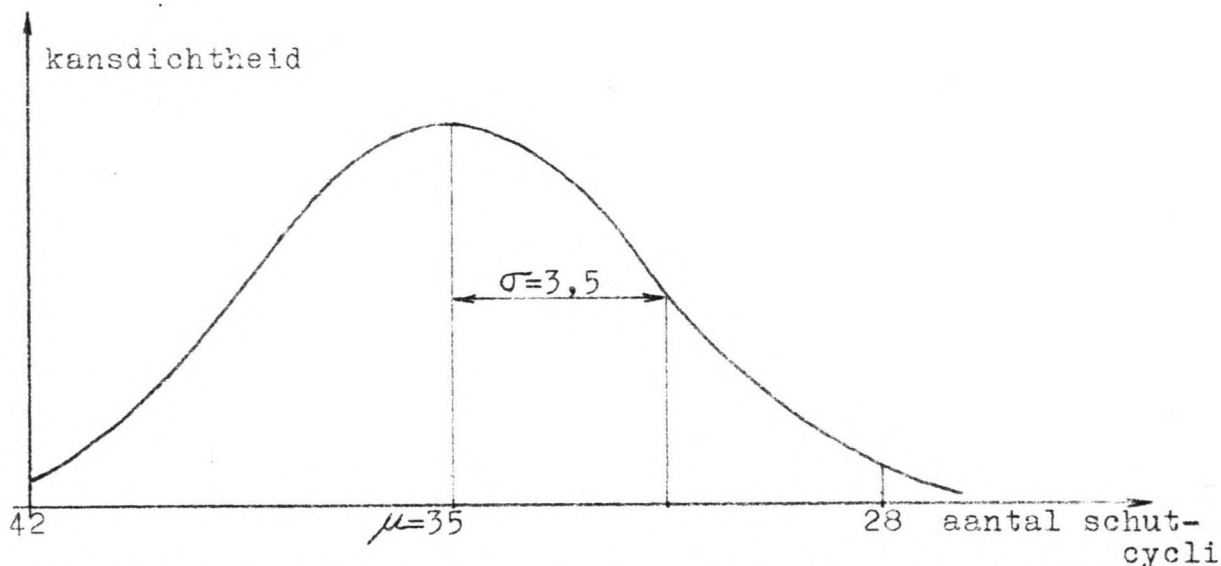


Fig. 3.5, Kansdichtheidsfunctie voor het totaal aantal schutcycli van de duwvaartsluizen in de Philipsdam.

Als we nu veronderstellen dat deze bezettingsgraad van de Philipsdamsluizen ook geldt voor de Kreekrak- en Oesterdamsluizen, kunnen we hieruit de kansdichtheidsfunctie voor het totale schutsluis-zoutbezwaar op het Zoommeer afleiden; immers, de zoutbelasting is evenredig met het aantal schutcycli. Figuur 3.6 geeft een beeld van de bepaling van de tweedimensionale kansdichtheidsfunctie voor de zoutbelasting, door combinatie van de twee voorgaande verdelingen.

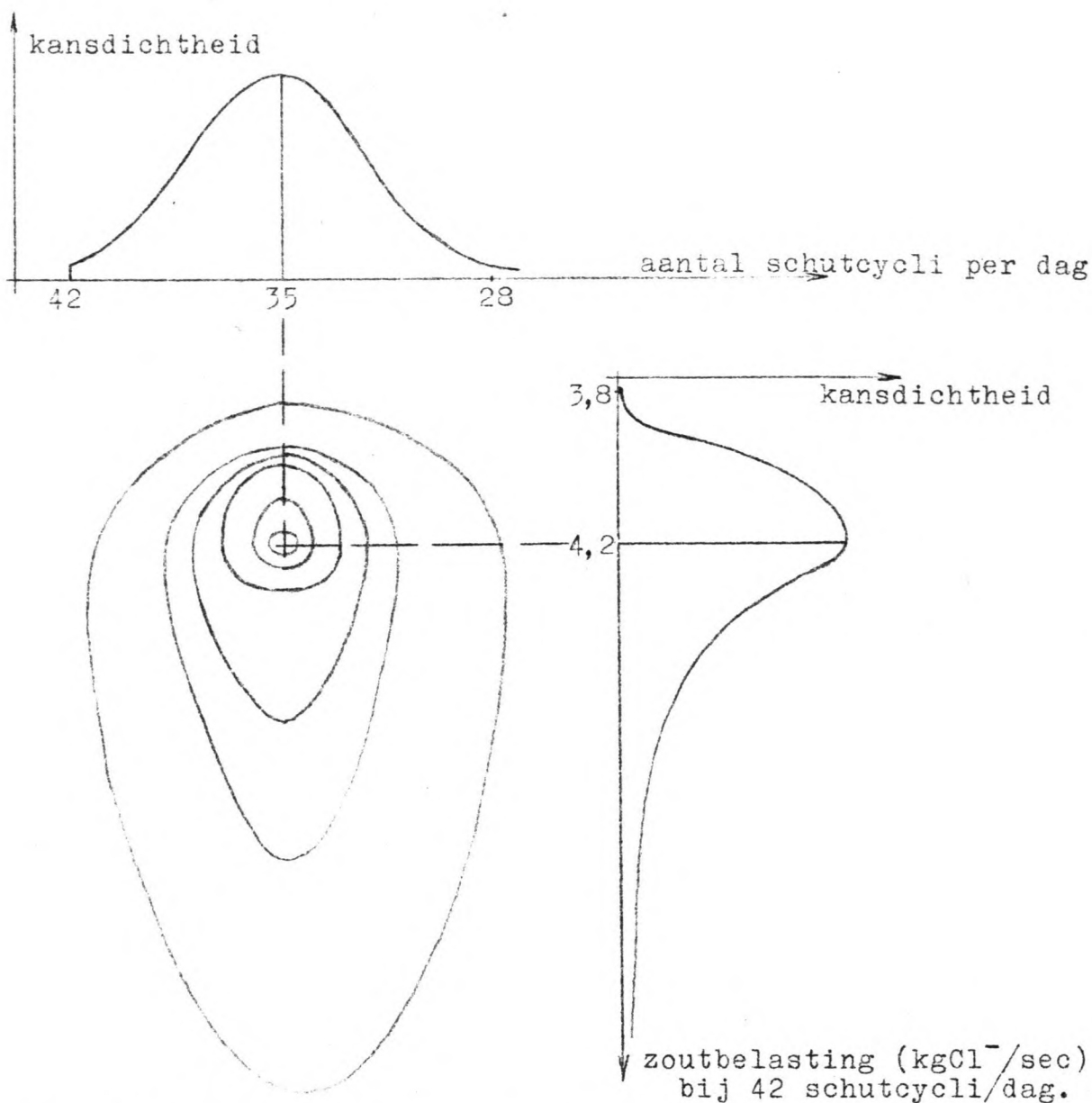


Fig. 3.6, Tweedimensionale kansdichtheidsfunctie voor het verwachte zoutbezwaar via de schutsluizen.

Uit de bovenstaande kansdichtheidsfunctie lezen we af dat de verwachtingswaarde ligt bij de combinatie van 35 schutcycli en 4,2 kgCl⁻/sec. Verder zien we in de figuur dat de kans op een kleinere zoutbelasting zeer snel kleiner wordt, terwijl de kansdichtheidsfunctie naar onder, een grótere zoutbelasting, zeer ver doorloopt, en de kans daarop dus relatief groot is.

De zoutbelasting bij de combinatie met de grootste kansdichtheid is als volgt te berekenen:

$$\frac{35}{42} \times \text{max. cap, met zoutlast } 4,2 = \frac{35}{42} \times 4,2 = 3,5 \text{ kgCl}^{-}/\text{sec.}$$

Het zal duidelijk zijn dat de bovenstaande beschouwing meer een indicatief karakter heeft dan dat er harde cijfers uitkomen. We zullen in het volgende de waarde van $3,5 \text{ kgCl}^-/\text{sec}$ aanhouden als gemiddeld voorspeld zoutbezwaar op het Zoommeer via de schutsluizen. Als pessimistische waarde vinden we, op dezelfde manier als onderaan de vorige bladzij:

$$\frac{35}{42} \times \text{pessimist. voorspelling} = \frac{35}{42} \times 9,1 = 8 \text{ kgCl}^-/\text{sec}.$$

We zullen nu voor de gemiddelde- en voor de pessimistische voorspelling van het zoutbezwaar bij de sluizen een normale verdeling bepalen, die we in de verdere berekeningen hanteren. Uit figuur 3.5 zien we dat de standaard afwijking van het aantal schutcycli per dag ca. 3,5 bedraagt. Omgerekend naar de zoutbelasting betekent dit voor de situatie met zoutbezwaar volgens de gemiddelde voorspelling ($3,5 \text{ kg/sec}$) een standaard afwijking van:

$$\frac{\text{stand. afw. schutcycli}}{\text{gem. aant. schutcycli}} \times \text{zoutlast} = \frac{3,5}{35} \times 3,5 = 0,35 \text{ kg/sec}.$$

Evenzo verkrijgen we voor de situatie met de pessimistische schatting van het zoutbezwaar (8 kg/sec):

$$\text{standaard afwijking zoutlast} = \frac{3,5}{35} \times 8 = 0,8 \text{ kg/sec}.$$

De figuren 3.7 en 3.8 illustreren de kansdichtheidsfuncties van de zoutbelastingen op het Zoommeer via de schutsluizen, zoals we die verder zullen gebruiken; respectievelijk voor de gemiddelde en pessimistische voorspelling van de zoutlast uit de modelproeven.

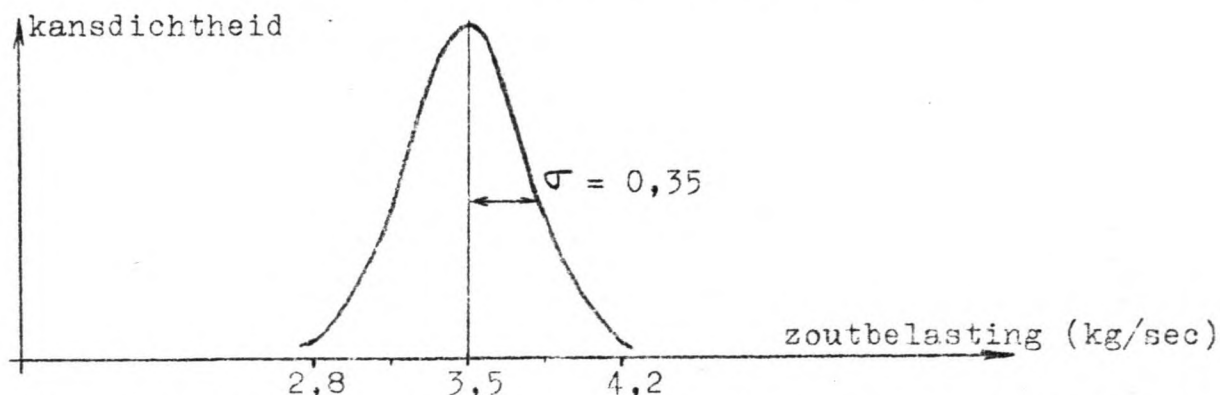


Fig. 3.7, Kansverdeling voor de zoutlast via de schutsluizen, bij gemiddelde voorspelling van de zoutlast.

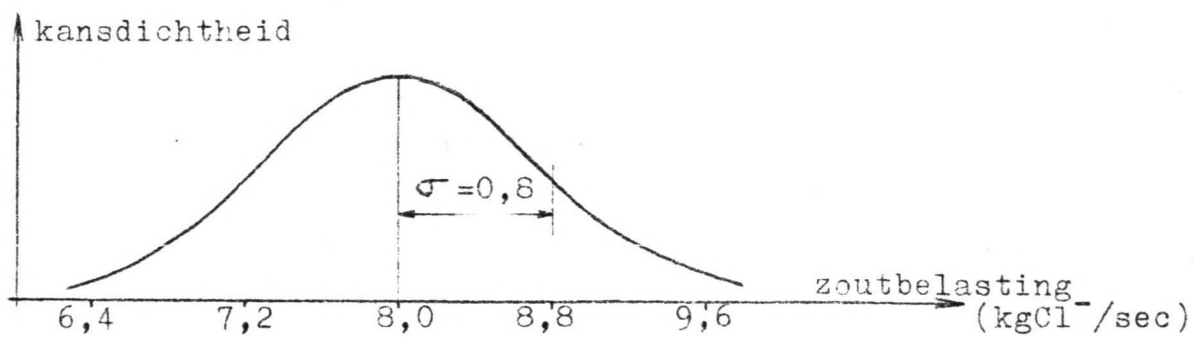


Fig. 3.8, Kansverdeling voor de zoutlast via de schutsluizen op het Zoommeer, bij pessimistische voorspelling van de schutsluis-zoutlast.

3.2.2 Neerslag, polderlozingen, afvoer Westbrabantse rivieren

In hoofdstuk 2 hebben we reeds gezien dat er een grote correlatie bestaat tussen de neerslag, polderlozingen en afvoer van de Westbrabantse rivieren op het Zoommeer. Dit was reden om de genoemde componenten van het waterbezwaar niet afzonderlijk te beschouwen, doch het totale waterbezwaar, QA, in de berekeningen te gebruiken. Om dezelfde reden zullen we dit nu weer doen.

We beschouwen de, over het najaar-kwartaal gemiddelde, waarde van het totale water- en zoutbezwaar op het Zoommeer. (Onder het najaar-kwartaal verstaan we de periode van 21 september - 21 december.) Allereerst gaan we na of er een correlatie bestaat tussen het waterbezwaar en het zoutbezwaar. We doen dit met behulp van figuur 3.9, waarin de waarden van de variabelen over de jaren 1933 - 1974 zijn weergegeven.

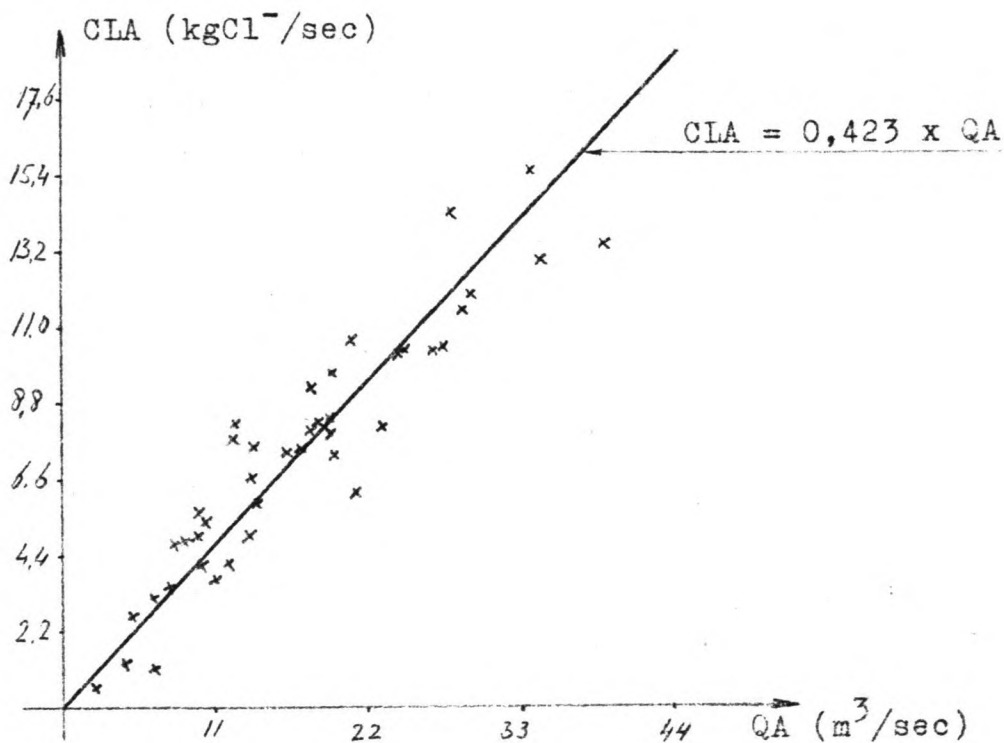


Fig. 3.9, Correlatie tussen najaar-gemiddeld waterbezwaar, QA, en zoutbezwaar, CLA.

Het blijkt dat er een grote correlatie bestaat tussen de beide grootheden. (correlatiecoëfficiënt = 0,95).

We vinden het lineaire verband tussen het zoutbezwaar en het waterbezwaar, gegeven door de vergelijking:

$$CLA = 0,423 \times QA \quad (CLA \text{ in } \text{kgCl}^-/\text{sec}, QA \text{ in } \text{m}^3/\text{sec}).$$

Het gemiddeld chloridegehalte in de totale waterlast op het Zoommeer bedraagt dus $0,423 \text{ kgCl}^-/\text{m}^3$.

In de berekeningen zullen we gebruik maken van de relatie: $CLA = 0,423 \times QA + Y$, waarin de zoutlast dus is gesplitst in een lineair afhankelijk deel en een storingsterm hierop, Y . We kunnen nu, voor de 42 beschouwde jaren, steeds de berekende CLA vergelijken met de bekende CLA, en zo 42 waarden voor Y bepalen. Als we voor Y een normale verdeling aannemen, vinden we voor de standaard afwijking $\sigma(Y) = 1,4 \text{ kgCl}^-/\text{sec}$. (Het gemiddelde $\mu(Y) = 0$; allicht.)

Ter bepaling van de frequentieverdeling van het waterbezwaar zetten we de waarnemingen uit, tegen de bijbehorende overschrijdingsfrequentie, op daarvoor geschikt papier. Uit de dan te trekken overschrijdingsfrequentielijn kunnen we de kansdichtheidsfunctie voor het najaar-gemiddeld waterbezwaar afleiden. Deze is hier gegeven in de volgende figuur.

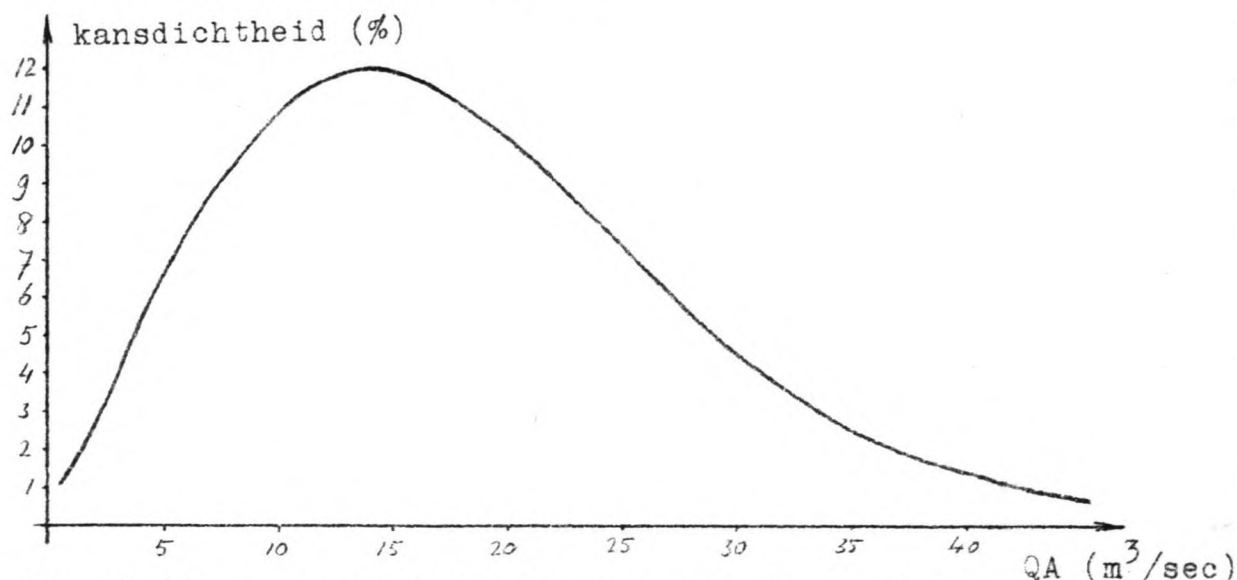


Fig. 3.10, Kansdichtheidsfunctie voor het najaar-gemiddeld waterbezwaar.

We zouden nu de tweedimensionale kansdichtheidsfunctie van de zoutlast, CLA, kunnen afleiden door voor iedere QA, met de bijbehorende kans, de lineair gecorreleerde CLA te berekenen en deze te combineren met een waarde voor de storingsterm, Y, óók met de bijbehorende kans. Het resultaat is dan een waarde van het zoutbezwaar, CLA=cla, die met een kans

$P(\text{CLA}=\text{cla}) = P(\text{QA}=\text{qa}) \times P(\text{Y}=\text{y})$, de kans op die combinatie, optreedt.

We zullen deze kansdichtheidsfunctie hier niet bepalen; het vereenvoudigt de berekeningen aanzienlijk wanneer we de verdeling van het waterbezwaar, QA, benaderen door een normale verdeling. Het resultaat van deze benadering, dat verder gebruikt zal worden, is:

gemiddelde $\mu(\text{QA}) = 18 \text{ m}^3/\text{sec}$,
standaard afwijking $\sigma(\text{QA}) = 10 \text{ m}^3/\text{sec}$.

3.2.3 Zoutgehalte Volkerak-inlaatdebiet

Wanneer het Zoommeer doorgespoeld wordt, teneinde het chloridegehalte te verlagen, zal ook het water waarmee wordt doorgespoeld niet geheel zoet zijn. We dienen in onze beschouwing hiermee rekening te houden.

Er zijn gegevens bekend omtrent het zoutgehalte van het Volkerakwater, waarmee in de toekomst zal worden doorgespoeld. Het is echter voor te stellen dat in een nat najaar, wanneer QA dus groot is, de afvoer van de grote rivieren ook groot zal zijn, hetgeen zal leiden tot een laag chloridegehalte van dit water. Dit zal dus resulteren in een laag chloridegehalte van het Volkerak-inlaatdebiet. Zo is dit chloridegehalte, CVK, dus gecorreleerd aan het waterbezwaar op het meer, QA.

Teneinde deze correlatie te onderzoeken berekenen we het najaar-gemiddelde chloridegehalte van het Volkerak, uit de waarnemingsreeks van 1933 tot 1975. Deze waarden zetten we uit tegen de eerder bepaalde waarde van het waterbezwaar, voor dezelfde periode. Het resultaat hiervan is gegeven in figuur 3.11, op de volgende bladzijde. We zien hieruit dat het verband tussen QA en CVK niet-lineair is en dat de correlatie minder is dan tussen QA en CLA (hetgeen ook wel te verwachten was).

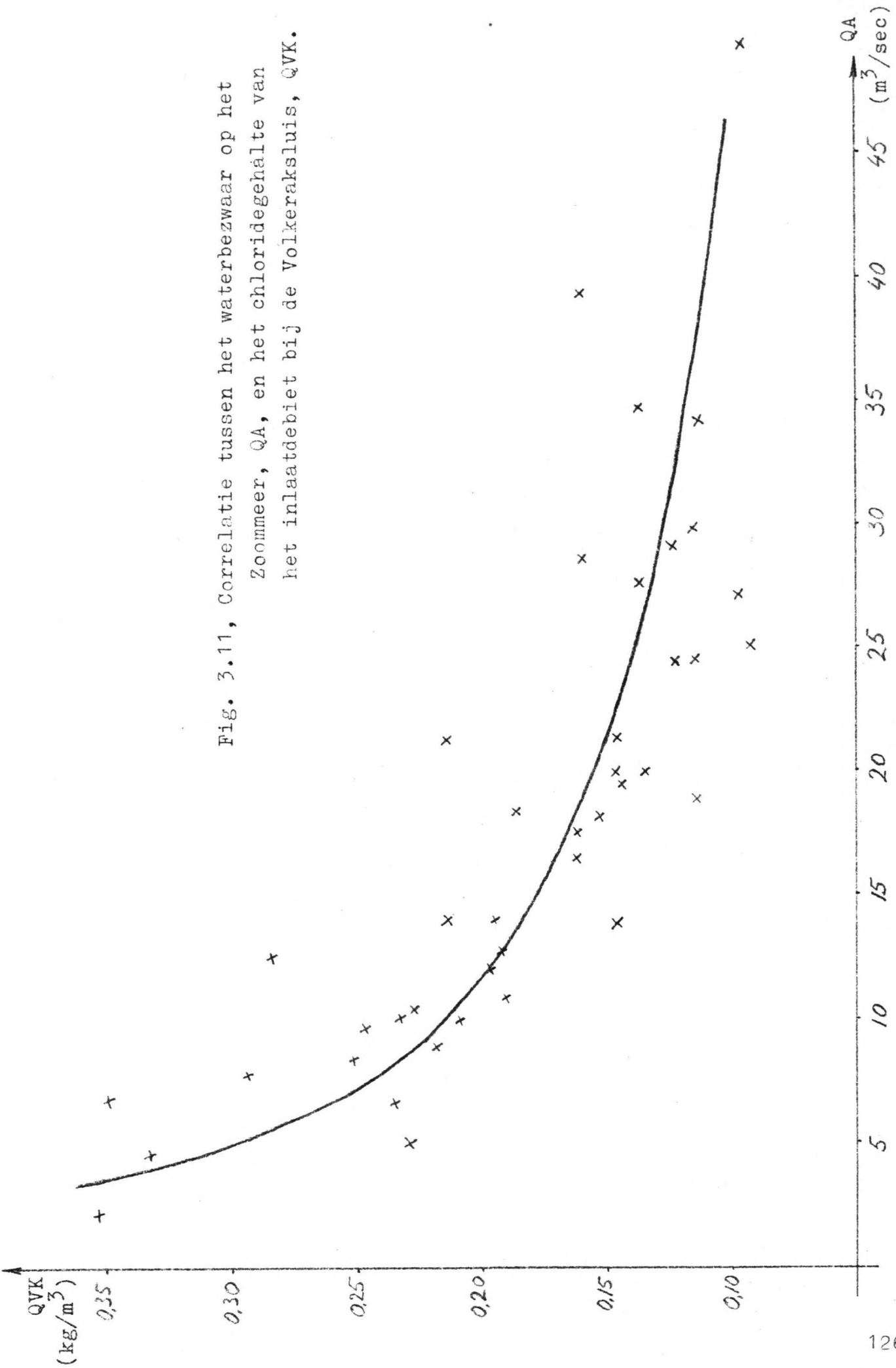
Met behulp van de kleinste-kwadraten methode vinden we het volgende verband tussen het zoutgehalte in het Volkerak en het waterbezwaar:

$$CVK = 0,65 \times (QA)^{-0,475} \quad (CVK \text{ in } \text{kgCl}^-/\text{m}^3, QA \text{ in } \text{m}^3/\text{sec}).$$

De correlatiecoëfficiënt bedraagt hier 0,826.

Parallel aan de vorige paragraaf scheiden we de waargenomen chloridegehalten in een deel dat gegeven wordt door het bovenstaande verband en een storingsterm, Z, hierop. We verkrijgen dus voor het Volkerak-chloridegehalte: $CVK = 0,65 \times (QA)^{-0,475} + Z.$

Fig. 3.11, Correlatie tussen het waterbezwaar op het Zoommeer, QA, en het chloridegehalte van het inlaatdebiet bij de Volkeraksluis, QVK.



Voor Z kunnen we weer de standaard afwijking bepalen, aannemende dat Z normaal verdeeld is. Het resultaat is: standaard afwijking $(Z) = 0,045 \text{ kgCl}^-/\text{m}^3$.

De kansdichtheidsfunctie van Z kan nu weer gevonden worden door combinatie van QA, met de bijbehorende kans, en Z, met de bijbehorende kans.

Door de variabelen CLA en CVK uit te drukken in QA en een storingsterm op het gevonden verband, bereiken we dat we in de verdere berekeningen alleen met onafhankelijke variabelen te doen hebben. Het zal blijken dat dit eenvoudige berekeningsmethoden mogelijk maakt.

3.2.4 Zoetwaterverlies bij de schutsluizen

Voor het opstellen van de water- en zoutbalans is verder nog informatie nodig omtrent het zoetwaterverlies bij de schutsluizen. In een rapport van Rijkswaterstaat, lit.(5), wordt aangegeven dat voor dit zoetwaterverlies de deterministische waarde van $39,2 \text{ m}^3/\text{sec}$ gehanteerd kan worden; zie ook tabel 3.2 uit par. 3.2.1. Deze waarde geldt voor de situatie waarbij géén zoet water wordt teruggewonnen bij de schutsluizen, overeenkomstig onze aanname, en voor de maximale capaciteit van de schutsluizen. (Voor de schutsluizen in de Philipsdam betekent dit dus $3 \times 14 = 42$ schutcycli per dag.)

Om de kansdichtheidsfunctie van het zoetwaterverlies te bepalen gebruiken we weer de kansdichtheidsfunctie voor het aantal schutcycli per dag, zoals we die ook voor het zoutbezwaar via de schutsluizen gehanteerd hebben. Deze werd gegeven in figuur 3.5 van par. 3.2.1. Volgens deze verdeling is het gemiddelde aantal schutcycli per dag 35 en de standaard afwijking 3,5 cycli/dag.

Hieruit kunnen we de normale verdeling voor het zoetwaterverlies afleiden. We vinden een gemiddelde waarde:

$$\frac{\text{gem. aantal cycli}}{\text{max. aantal cycli}} \times \text{zoetwaterverlies bij max. cap.} = \frac{35}{42} \times 39,2 = \underline{33} \text{ m}^3/\text{sec.}$$

Voor de standaard afwijking vinden we:

$$\frac{\text{aantal cycli stand. afw.}}{\text{gem. aantal cycli}} \times \text{gemiddeld zoetwaterverlies} = \frac{3,5}{35} \times 33 = \underline{3,3} \text{ m}^3/\text{sec.}$$

De kansdichtheidsfunctie voor het zoetwaterverlies bij de schutsluizen, zoals we die bij de berekeningen zullen hanteren, is gegeven in figuur 3.12, op de volgende bladzijde.

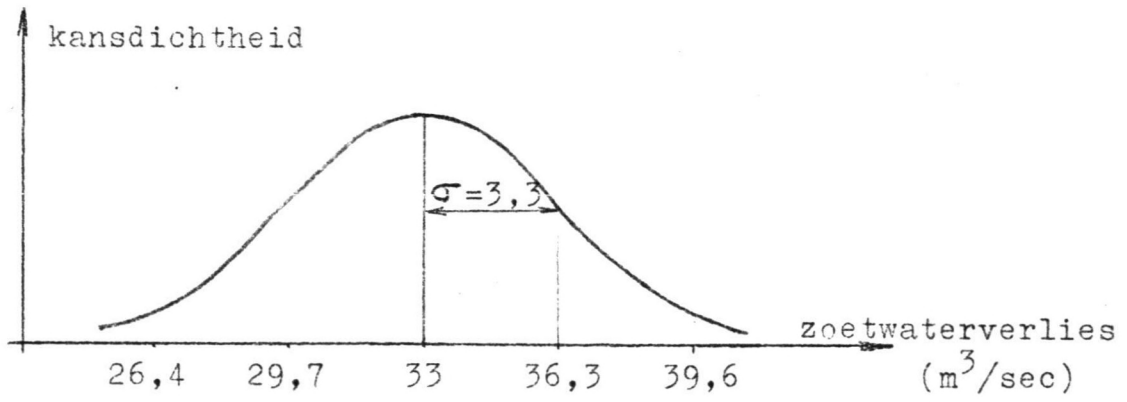


Fig 3.12, Kansdichtheidsfunctie voor het zoetwaterverlies via de schutsluizen.

3.3 Chloridegehalten Zoommeer

3.3.1 Water- en chloridebalans

Om het chloridegehalte van het Zoommeer te kunnen bepalen, dienen we voor zowel het water als het chloride de balansvergelijkingen te beschouwen. In z'n meest algemene vorm luidt de balansvergelijking: "In = Uit + Berging".

We zullen zowel voor het water als voor het chloride de bergingsterm in deze vergelijking verwaarlozen. Voor de balansvergelijking komt dat neer op de aanname dat de waterstand op het Zoommeer, over de beschouwde periode, niet variëert. Aangezien het het streven van de beheerder zal zijn een vast peil te handhaven en we in het vorige hoofdstuk hebben gezien dat de kans op een ongewenste peilstijging klein is, is deze aanname gerechtvaardigd.

Het weglaten van de bergingsterm uit de vergelijking voor de chloridebalans, betekent dat we de "evenwichtssituatie" beschouwen; instelverschijnselen, waarbij het zoutgehalte op het meer zich aanpast aan de randvoorwaarden, worden verwaarloosd. Aangezien we de periode van een kwartaal beschouwen, hetgeen vrij lang is, en het feit dat het Cl^- -gehalte van het meer bij aanvang van de rekenperiode niet erg veel af zal wijken van het "evenwichts-chloridegehalte", is ook de veronderstelling redelijk.

Na deze aannamen is het chloridegehalte van het Zoommeer eenvoudig te berekenen uit de chloridegehalten van de verschillende aangevoerde debieten:

$$\text{Cl}^- \text{-gehalte} = \frac{\text{CVK} \times \text{QVK} + \text{CLA} + \text{CSS}}{\text{QA} + \text{QVK}} \quad (\text{kg/m}^3).$$

Hierin is: CVK = chloridegehalte doorspoeldebiet (kgCl^-/m^3),
QVK = doorspoeldebiet (m^3/sec),
CLA = zoutlast in waterbezwaar (kgCl^-/sec),

$$\begin{aligned} \text{CSS} &= \text{zoutlast schutsluizen (kgCl}^{-}\text{/sec),} \\ \text{QA} &= \text{waterbezwaar (m}^3\text{/sec).} \end{aligned}$$

Bij de situatie zónder extra doorspoeling van het meer zal slechts water bij de Volkerakdam ingelaten worden ter compensatie van verliezen, die optreden bij de schutsluizen en eventueel door verdamping. Het hiervoor benodigde aanvuldebiet duiden we aan met QVKA. Uit de balansvergelijking voor de waterhoeveelheid volgt dan, bij verwaarlozing van de bergingsterm:

$$\text{QSS} = \text{QA} + \text{QVKA, ofwel: } \underline{\text{QVKA} = \text{QSS} - \text{QA.}}$$

Als we nu de situatie mét extra doorspoeling, ter beperking van het chloridegehalte, beschouwen komt er een extra doorspoeldebiet, QVKD, op het Zoommeer.

Het totale debiet dat bij het Volkerak wordt ingelaten bedraagt: QVK-totaal = QVKA + QVKD.

$$\text{Resultierend: } \underline{\text{QVK-totaal} = \text{QSS} - \text{QA} + \text{QVKD.}}$$

Deze resultaten substitueren we in de eerder gevonden uitdrukking voor het chloridegehalte op het Zoommeer. Het resultaat luidt:

$$\text{Cl}^{-}\text{-gehalte} = \frac{\text{CVK} \times (\text{QSS} - \text{QA} + \text{QVKD}) + \text{CLA} + \text{CSS}}{\text{QA} + (\text{QSS} - \text{QA} + \text{QVKD})} \text{ (kg/m}^3\text{)}.$$

Wel is het zo, dat in bovenstaande vergelijking bepaalde variabelen afhankelijk zijn, zoals we gezien hebben in de paragrafen 3.2.2 en 3.2.3. Teneinde een vergelijking te verkrijgen waarin alleen óngecorreleerde variabelen voorkomen, substitueren we de eerder gevonden relaties tussen QA, CLA en CVK en de storingstermen daarop, Y en Z, in de vergelijking voor het chloridegehalte. Het resultaat is:

$$\text{Cl}^{-} = \frac{(0,65 \cdot \text{QA}^{-0,475} + \text{Z}) \cdot (\text{QVKD} + \text{QSS} - \text{QA}) + (0,423 \cdot \text{QA} + \text{Y}) + \text{CSS}}{(\text{QVKD} + \text{QSS})} \text{ (kgCl}^{-}\text{/m}^3\text{)}.$$

In bovenstaande vergelijking zijn QA, CSS, QSS, Y en Z onafhankelijke variabelen, waarvan de kansdichtheidsfuncties, onder restrictie van de vermelde aannamen, bekend zijn. Alleen de variabele QVKD, het extra doorspoeldebiet, is nog niet nader beschouwd. In de volgende paragraaf wordt hierop ingegaan.

3.3.2 Het doorspoeldebiet QVK

De grootte van het doorspoeldebiet, vanuit het Hollands Diep door de Volkerak-inlaatsluis op het Zoommeer, wordt voornamelijk bepaald door de beheerstrategie die toegepast zal worden. Weliswaar is er een maximum doorspoeldebiet, dat wordt opgelegd door natuurrandvoorwaarden en het spuisluisontwerp, maar of het wenselijk is dit volledig te benutten is dubieus. Bij een grote doorspoeling zal namelijk wel het chloridegehalte verlaagd worden, maar de toevoer van andere verontreinigingen neemt toe. We denken hierbij vooral aan zware metalen, die in vrij grote concentraties in het Hollands Diep aanwezig zijn.

Verder is het zo, dat het effect van de doorspoeling vermindert, naarmate het debiet méér toeneemt. (bijlage 17 geeft hiervan een beeld, bron: lit. 5)

Tenslotte is bij een groot doorspoeldebiet ook een grote lozing van zoet Zoommeer-water op de Westerschelde noodzakelijk, hetgeen een nadelige invloed heeft op het milieu van dit bekken.

Wanneer in de toekomst besoten mocht worden wél door te spoelen met het maximum debiet, is de doorstroomopening van het lozingsmiddel bij Bath de beperkende factor. In hoofdstuk 2 hebben we gezien dat de gemiddelde lozingscapaciteit van de spuisluis $139 \text{ m}^3/\text{sec}$ bedraagt. Als we een voldoende lange periode beschouwen, mogen we de windinvloeden op de lozingscapaciteit verwaarlozen. De waterstanden ter weerszijden van de sluis zullen nagenoeg de gemiddelde waarde hebben en dus kunnen we voor de lozingscapaciteit de waarde van $139 \text{ m}^3/\text{sec}$, als kwartaalgemiddelde, aanhouden.

Gemiddeld zal het doorspoeldebiet dus $139 \text{ m}^3/\text{sec}$ kunnen bedragen, als najaar-gemiddelde. Wanneer er een gróter waterbezwaar optreedt dan het gemiddelde, zal het doorspoeldebiet evenveel áf moeten nemen. In ca. 85 % van de gevallen kan een doorspoeldebiet $QVKD = 130 \text{ m}^3/\text{sec}$ verwezenlijkt worden; dit zullen we als maximum aanhouden bij de volgende berekeningen.

3.3.3 Nivo-II berekening chloridegehalten Zoommeer, bij gemiddelde voorspelling van de zoutlast bij de schutsluizen

Analoog aan de bezwijkfunctie voor een constructie, $Z = R - S = \text{sterkte} - \text{belasting}$, zoals aangegeven in lit.(16), kunnen we voor ons probleem een faalfunctie opstellen. In dit geval is dit dan de functie die weergeeft wanneer een bepaald toelaatbaar chloridegehalte op het Zoommeer overschreden wordt. De faalfunctie luidt:
 $F = \text{toelaatbaar Cl}^- \text{-gehalte} - \text{optredend Cl}^- \text{-gehalte.}$

De faalgrens wordt nu gegeven door de voorwaarde $F = 0$; als F kleiner is dan 0, treedt een te hoog chloridegehalte op en faalt het systeem.

Met behulp van de vergelijking uit par. 3.3.1 voor het optredend chloridegehalte, vinden we voor de faalfunctie, uitgedrukt in de onafhankelijke variabelen:

$$F = \text{Cl}^-_{\text{toel.}} - \left\{ \frac{(0,65 \cdot \text{QA}^{-0,475} + Z) \cdot (\text{QVKD} + \text{QSS} - \text{QA})}{(\text{QVKD} + \text{QSS})} + \frac{(0,423 \cdot \text{QA} + \text{Y}) + \text{CSS}}{(\text{QVKD} + \text{QSS})} \right\}$$

Teneinde een eerste-orde benadering van de faalfunctie te kunnen opstellen, door middel van een Taylor-reeks ontwikkeling, bepalen we de partiële afgeleiden van de faalfunctie naar iedere variabele.

$$\frac{\delta F}{\delta \text{QA}} = \frac{(0,65 \cdot \text{QA}^{-0,475} + Z)}{(\text{QVKD} + \text{QSS})} + \frac{(0,65 \cdot 0,475 \cdot \text{QA}^{-1,475}) \cdot (\text{QVKD} + \text{QSS} - \text{QA})}{(\text{QVKD} + \text{QSS})} - \frac{0,423}{(\text{QVKD} + \text{QSS})}$$

$$\frac{\delta F}{\delta \text{QSS}} = - \frac{(0,65 \cdot \text{QA}^{-0,475} + Z)}{(\text{QVKD} + \text{QSS})} + \frac{(\text{QVKD} + \text{QSS} - \text{QA}) \cdot (0,65 \cdot \text{QA}^{-0,475} + Z)}{(\text{QVKD} + \text{QSS})^2} + \frac{(0,423 \cdot \text{QA} + \text{Y})}{(\text{QVKD} + \text{QSS})^2} + \frac{\text{CSS}}{(\text{QVKD} + \text{QSS})^2}$$

$$\frac{\delta F}{\delta \text{CSS}} = \frac{1}{(\text{QVKD} + \text{QSS})}$$

$$\frac{\delta F}{\delta \text{Y}} = \frac{1}{(\text{QVKD} + \text{QSS})}$$

$$\frac{\delta F}{\delta Z} = \frac{(\text{QVKD} + \text{QSS} - \text{QA})}{(\text{QVKD} + \text{QSS})}$$

Voordat we verdergaan met de berekeningen geven we in onderstaande tabel 3.3 nog even de karakteristieke waarden van de normale verdelingsfuncties van de variabelen, waarvan we gebruik zullen maken.

variabele	gemiddelde	stand. afw.	dimensie
X_i	(X_i)	(X_i)	
QA	18	10	m^3/sec
QSS	33	3,3	m^3/sec
CSS	3,5	0,35	$kgCl^-/sec$
Y	0	1,4	$kgCl^-/sec$
Z	0	0,045	$kgCl^-/sec$

Tabel 3.3, De bij de berekening te gebruiken gemiddelde waarden en standaard afwijkingen.

We berekenen nu eerst de gemiddelde waarde van de faalfunctie, door voor iedere variabele het gemiddelde in te vullen in de vergelijking. We voeren de berekening uit de voor doorspoeldebieten van 0, 25, 50, 100 en 130 m^3/sec .

- Voor QVKD = 0 m^3/sec :

$$F = Cl_{toel}^- - \left\{ \frac{(0,65 \cdot 18^{-0,475} + 0) \cdot (0+33-18)}{(0+33)} + \frac{(0,423 \cdot 18+0)}{(0+33)} + \frac{3,5}{(0+33)} \right\}$$

$$F = Cl_{toel}^- - 0,412 \quad (kgCl^-/m^3).$$

- Voor QVKD = 25 m^3/sec : $F = Cl_{toel}^- - 0,305 \quad (kgCl^-/m^3).$

- Voor QVKD = 50 m^3/sec : $F = Cl_{toel}^- - 0,261 \quad (kgCl^-/m^3).$

- Voor QVKD = 100 m^3/sec : $F = Cl_{toel}^- - 0,226 \quad (kgCl^-/m^3).$

- Voor QVKD = 130 m^3/sec : $F = Cl_{toel}^- - 0,215 \quad (kgCl^-/m^3).$

We merken nog op dat de berekende getallen in de bovenstaande vergelijkingen de chloridegehalten zijn die met een kans van 50 % overschreden worden.

We zullen nu, voor verschillende waarden van het doorspoeldebiet, een nivo-II berekening voor de overschrijdingsfrequentie van het chloridegehalte op het Zoommeer uitvoeren. Het resultaat, voor een doorspoeldebiet van $0 \text{ m}^3/\text{sec}$, is gegeven op de volgende bladzijde. Voor de doorspoeldebieten 25, 50, 100 en $130 \text{ m}^3/\text{sec}$ is de berekening gegeven in de bijlagen 19 t/m 22.

Tot slot van de paragraaf presenteren we het verkregen cijfermateriaal in een grafiek, zoals die ook door Rijkswaterstaat hiertoe gehanteerd is (lit.2). Hierbij worden de chloridegehalten met een overschrijdingsfrequentie van 50, 10 en 5 %, uitgezet als functie van het doorspoeldebiet, QVKD. De berekende waarden zijn aangegeven; de grafiek is verkregen door interpolatie. Figuur 3.12 illustreert dit.

Extra doorspoeldebiet = $0 \text{ m}^3/\text{sec.}$

x_i	$\frac{\delta F}{\delta x_i}$	σ_i	$(\frac{\delta F}{\delta x_i} \cdot \sigma_i)^2$
QA	$-5,85 \cdot 10^{-3}$	10	$3,42 \cdot 10^{-3}$
QSS	$7,48 \cdot 10^{-3}$	3,3	$0,61 \cdot 10^{-3}$
Y	0,0303	1,4	$1,80 \cdot 10^{-3}$
Z	0,4545	0,045	$0,42 \cdot 10^{-3}$
CSS	0,0303	0,35	$0,11 \cdot 10^{-3}$

$$\sum_{i=1}^5 (\frac{\delta F}{\delta x_i} \cdot \sigma_i)^2 = 6,36 \cdot 10^{-3}$$

Nu volgt voor de standaard afwijking van de faalfunctie, F:

$$\sigma(F) = \sqrt{\sum_{i=1}^5 (\frac{\delta F}{\delta x_i} \cdot \sigma_i)^2} = \sqrt{6,36 \cdot 10^{-3}} = 0,08 \text{ kgCl}^-/\text{m}^3.$$

Voor het gemiddelde van de faalfunctie hadden we reeds gevonden: $\mu(F) = \text{Cl}^-_{\text{toel.}} - 0,412 \text{ kgCl}^-/\text{m}^3.$

We kunnen nu de kans berekenen dat een bepaald chloridegehalte op het Zoommeer wordt overschreden. Als we dit doen voor een chloridegehalte van $0,5 \text{ kgCl}^-/\text{m}^3$, verkrijgen we: $\mu(F) = 0,5 - 0,412 = 0,088 \text{ kgCl}^-/\text{m}^3;$

en we kunnen nu de betrouwbaarheidscoëfficiënt, β , voor deze situatie bepalen:

$$\beta(F) = \frac{\mu(F)}{\sigma(F)} = \frac{0,088}{0,08} = 1,1.$$

Via de tabel voor de normale verdeling, gegeven in het dictaat van het college probabilistiek (lit. 16), vinden we voor de kans die hierbij hoort: $P_f = 13,5 \%$.

We kunnen, in de andere richting werkend, ook het chloridegehalte bepalen dat met een kans van 5, resp. 10, % overschreden wordt:

- $P_f = 5 \%$; via de tabel volgt: $\beta(F) = 1,645$, en we bepalen het chloridegehalte uit de relatie:

$$\beta(F) = \frac{\mu(F)}{\sigma(F)} \Rightarrow 1,645 = \frac{\text{Cl}^- - 0,412}{0,08} \Rightarrow \underline{\text{Cl}^- = 0,544 \text{ kg/m}^3}.$$

- $P_f = 10 \%$; uit de tabel volgt: $\beta(F) = 1,28$, en we vinden via dezelfde relatie als hierboven: $\underline{\text{Cl}^- = 0,514 \text{ kg/m}^3}.$

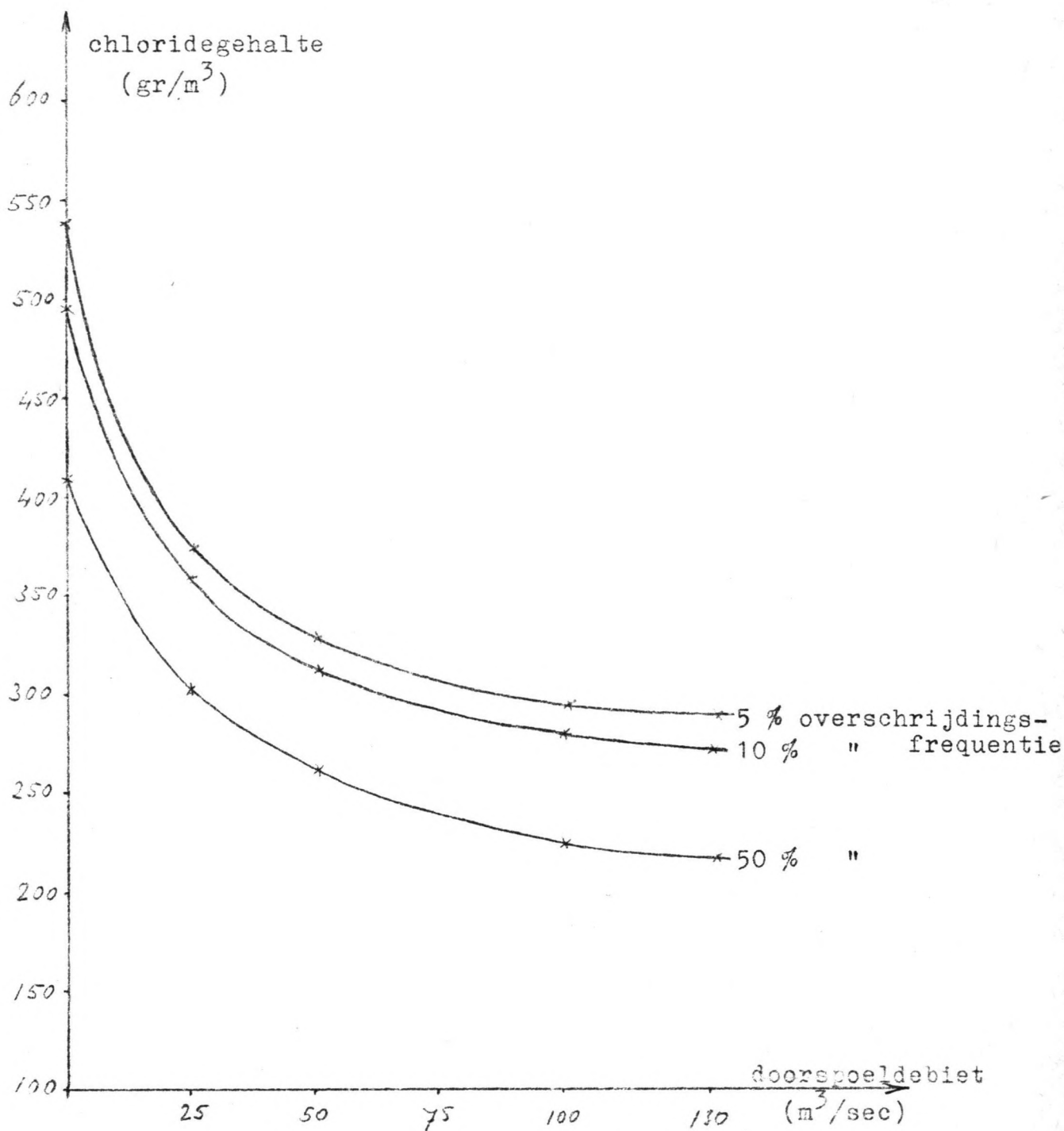


Fig. 3.12, Het Chloridegehalte, gemiddeld over het gehele Zoommeer, als functie van het doorspoeldebiet, voor de gemiddelde prognose van de zoutlast bij de schutsluizen. De grenzen voor de 50, 10 en 5 % overschrijdingsfrequenties zijn aangegeven.

3.3.4 Nivo-II berekening voor chloridegehalten op het Zoommeer, bij pessimistische schatting voor de zoutlast bij de schutsluizen

In de voorgaande paragraaf zijn de overschrijdingsfrequenties voor het chloridegehalte op het Zoommeer berekend, uitgaande van de gemiddelde voorspelling voor de zoutlast bij de schutsluizen. Aangezien de pessimistische voorspelling voor deze zoutlast hiervan veel afwijkt, verdient het aanbeveling ook voor deze situatie de berekeningen uit te voeren.

Ten opzichte van tabel 3.3, waarin de karakteristieke waarden van de normale verdelingen van de variabelen gegeven werden, zijn alleen de waarden voor CSS, de schutsluis-zoutlast, verschillend. Bij de volgende berekeningen houden we voor het gemiddelde van deze zoutlast $8 \text{ kgCl}^-/\text{sec}$ aan, terwijl de standaard afwijking $0,8 \text{ kgCl}^-/\text{sec}$ bedraagt. (Dit zijn dus de waarden voor de pessimistische schatting van de zoutlast.)

De berekening verloopt verder geheel parallel aan die van de vorige paragraaf. We berekenen eerst weer de gemiddelde waarden van de faalfunctie, F , met als resultaat:

- Voor $QVKD = 0 \text{ m}^3/\text{sec}$: $F = Cl_{\text{toel.}}^- - 0,548 \text{ (kgCl}^-/\text{m}^3)$.
- Voor $QVKD = 25 \text{ m}^3/\text{sec}$: $F = Cl_{\text{toel.}}^- - 0,383 \text{ (kgCl}^-/\text{m}^3)$.
- Voor $QVKD = 50 \text{ m}^3/\text{sec}$: $F = Cl_{\text{toel.}}^- - 0,317 \text{ (kgCl}^-/\text{m}^3)$.
- Voor $QVKD = 100 \text{ m}^3/\text{sec}$: $F = Cl_{\text{toel.}}^- - 0,260 \text{ (kgCl}^-/\text{m}^3)$.
- Voor $QVKD = 130 \text{ m}^3/\text{sec}$: $F = Cl_{\text{toel.}}^- - 0,242 \text{ (kgCl}^-/\text{m}^3)$.

De nivo-II berekeningen, voor de verschillende doorspoeldebieten, zijn weergegeven op de bijlagen 23 t/m 27. De grafiek, die de gevonden waarden illustreert, is gegeven in figuur 3.13, op de volgende bladzijde.

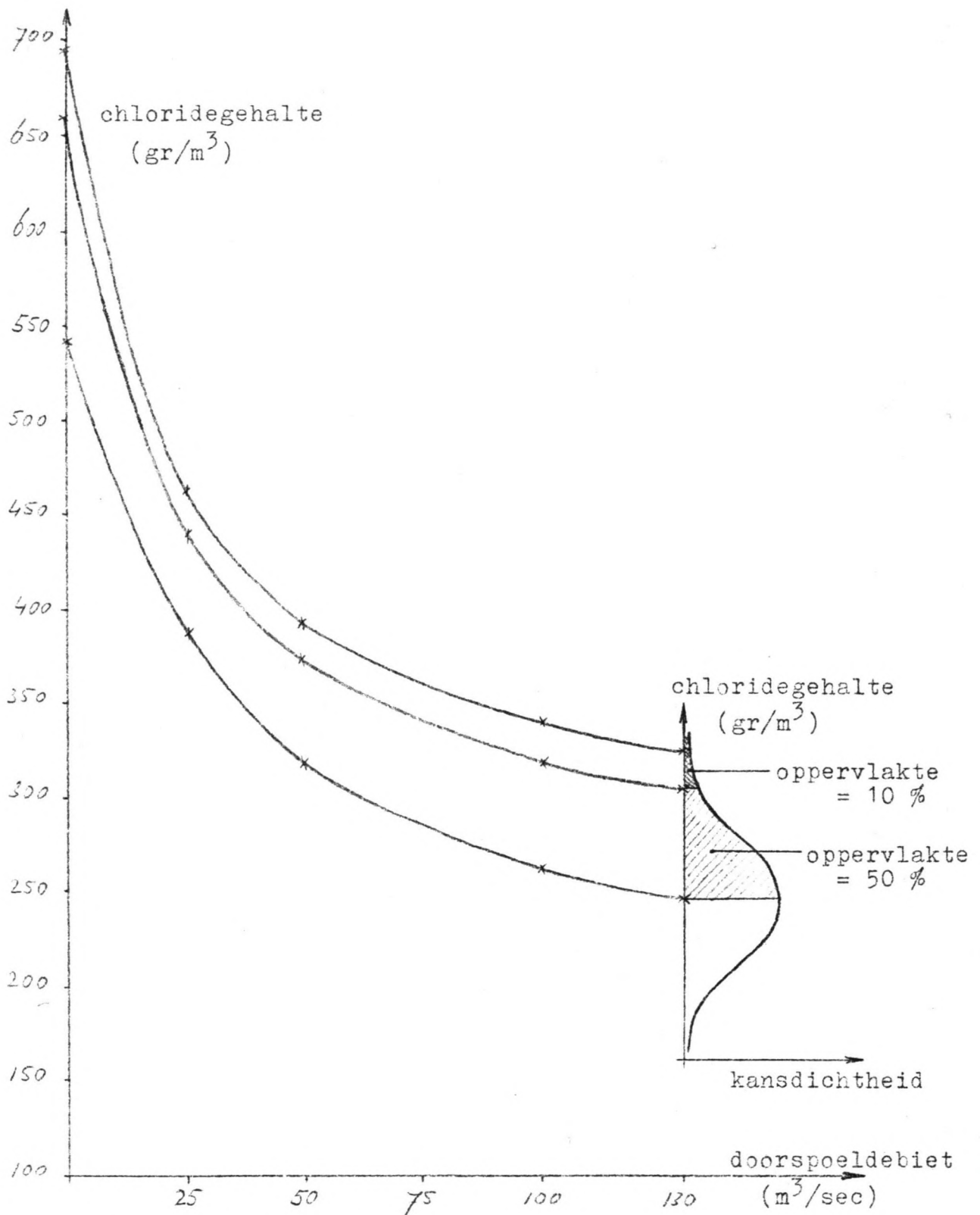


Fig. 3.13, Chloridegehalte op het Zoommeer, als functie van het doorspoeldebiet vanaf het Hollands Diep, bij de pessimistische prognose van de zoutlast bij de schutsluizen. De 50, 10 en 5 % overschrijdingsfrequenties zijn gegeven.

Om een indruk te krijgen van de invloed van de schutsluiszoutlast op het chloridegehalte van het Zoommeer, zetten we de resultaten van de berekeningen nog eens uit, in dezelfde figuur.

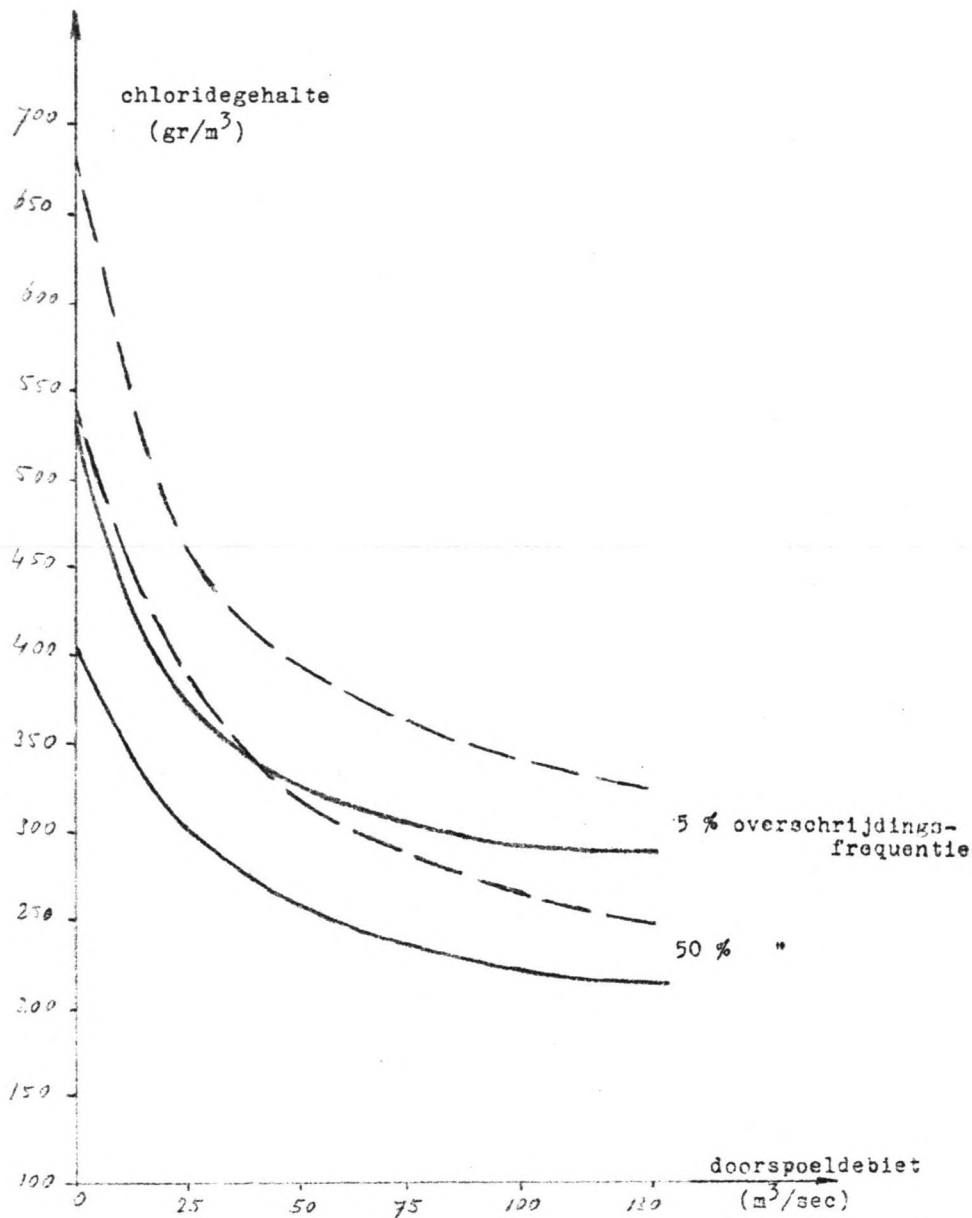


Fig. 3.13^a, Het chloridegehalte op het Zoommeer, als functie van het doorspoeldebiet, voor de gemiddelde-(—) en de pessimistische-(— —) schatting van de zoutlast bij de schutsluizen. De lijnen voor de 5- en 50% overschrijdingsfrequentie zijn gegeven.

3.4 Chloridegehalten op de vakken I, II en III

3.4.1 Berekening van het chloridegehalte per vak

Bij de berekening van de chloridegehalten in de vorige paragraaf is volledige menging over het gehele Zoommeer verondersteld. We hebben dus geen informatie verkregen over de chloridegehalten op een bepaalde plaats op het Zoommeer. Tevens is een vergelijking met de resultaten die door Rijkswaterstaat zijn verkregen, lastig.

Om aan deze bezwaren tegemoet te komen, bewerken we de verkregen resultaten nog verder. In lit. (2), bijlage 1, zien we dat door Rijkswaterstaat een vakindeling van het Zoommeer is gemaakt. Voor de drie aparte vakken, zoals deze aangegeven zijn in figuur 3.14, zijn de chloridegehalten berekend.

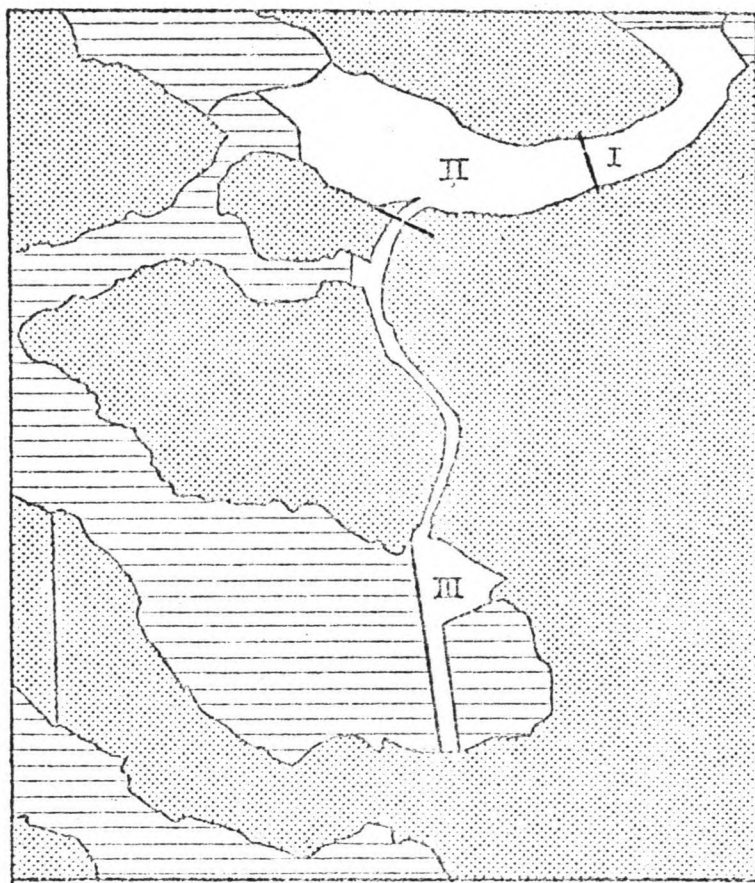


Fig. 3.14, Vakindeling Zoommeer.

De aannamen die zijn gedaan bij deze berekeningen van Rijkswaterstaat, zijn gegeven op bladzijde 14 e.v. van lit. (1). Deze aannamen komen grotendeels overeen met de in dit hoofdstuk gedane aannamen. Buitendien is er in het Zoommeer een resulterende stroming van Noord naar Zuid verondersteld, waarbij dus ook debieten tussen de vakken optreden. Verder is er een volledige menging per vak aangenomen.

Onder dezelfde restricties is het gerechtvaardigd de in dit hoofdstuk gevonden resultaten te bewerken tot de gemiddelde chloridegehalten per vak, door gebruik te maken van de door Rijkswaterstaat verkregen resultaten.

Om één en ander uit te kunnen werken, is in tabel 3.4 de inhoud van elk vak van het Zoommeer gegeven, bij een waterstand van N.A.P. (bron: bijlage 2, lit.1).

	Inhoud	Oppervlak
vak I	$96 \cdot 10^6 \text{ m}^3$	1775 ha
vak II	$113 \cdot 10^6 \text{ m}^3$	3080 ha
vak III	$22 \cdot 10^6 \text{ m}^3$	1583 ha

Tabel 3.4, Inhoud en oppervlakte van de vakken I, II en III.

Verder zien we uit tabel 2 van lit.(5), hier weergegeven op bijlage 28, dat de randvoorwaarden van de "serie 2"-berekeningen uit dat rapport, goed overeenstemmen met die van de berekeningen met de gemiddelde schatting voor de zoutlast bij de schutsluizen. De voorwaarden van de "serie 1"-berekeningen stemmen redelijk overeen met die van de berekeningen met de pessimistische voorspelling voor de zoutlast. We zullen de resultaten van deze beide series berekeningen van Rijkswaterstaat gebruiken om onze resultaten uit te splitsen naar chloridegehalte per vak.

We bepalen daartoe de verhouding van de chloridegehalten van de vakken I, II en III, bij een bepaald doorspoeldebiet. We zullen dit hier uitwerken voor een

doorspoeldebiet, QVKD = 0; in de bijlagen 29 t/m 31 zijn de resultaten voor QVKD = 25, 50, 100 en 130 m³/sec gegeven.

Op bijlage 9 van lit.(5), hier bijgevoegd als bijlage 32, zijn de resultaten van de serie 2-berekeningen van Rijkswaterstaat gepresenteerd. Hieruit lezen we voor QVKD = 0 de volgende chloridegehalten af:

$$\text{vak I: } \text{Cl}^- = 0,205 \text{ kg/m}^3,$$

$$\text{vak II: } \text{Cl}^- = 0,300 \text{ " ,}$$

$$\text{vak III: } \text{Cl}^- = 0,495 \text{ " .}$$

De verhouding van deze gehalten is:

$$\text{Cl}_{\text{I}}^- : \text{Cl}_{\text{II}}^- : \text{Cl}_{\text{III}}^- = 21 : 30 : 49.$$

In de berekeningen van par. 3.3.3 hebben we, gemiddeld over het gehele Zoommeer, een chloridegehalte van 0,412 kg/m³ gevonden, als 50 % overschrijdingswaarde. Om hieruit het chloridegehalte per vak af te leiden, voeren we de volgende berekening uit:

$$\text{Cl}_{\text{meer}}^- = \frac{(\text{Inh.I}) \cdot \text{Cl}_{\text{I}}^- + (\text{Inh.II}) \cdot \text{Cl}_{\text{II}}^- + (\text{Inh.III}) \cdot \text{Cl}_{\text{III}}^-}{(\text{Inh.I} + \text{Inh.II} + \text{Inh.III})}$$

Substitutie van de inhoud van elk vak, en van de volgende relaties voor de chloridegehalten: $\text{Cl}_{\text{II}}^- = \frac{30}{21} \cdot \text{Cl}_{\text{I}}^-$,

$$\text{Cl}_{\text{III}}^- = \frac{49}{21} \cdot \text{Cl}_{\text{I}}^-$$

geeft:

$$0,412 = \frac{96 \cdot \text{Cl}_{\text{I}}^- + 133 \cdot \frac{30}{21} \cdot \text{Cl}_{\text{I}}^- + 22 \cdot \frac{49}{21} \cdot \text{Cl}_{\text{I}}^-}{(96 + 133 + 22)} .$$

Hieruit is eerst het chloridegehalte op vak I, Cl_{I}^- , af te leiden, en vervolgens Cl_{II}^- en Cl_{III}^- :

$$\text{Het resultaat is: } \text{Cl}_{\text{I}}^- = 0,307 \text{ kg/m}^3,$$

$$\text{Cl}_{\text{II}}^- = 0,438 \text{ kg/m}^3,$$

$$\text{Cl}_{\text{III}}^- = 0,715 \text{ kg/m}^3.$$

De resultaten zijn weergegeven in figuur 3.15 voor de situatie met de gemiddelde schatting voor de zoutlast bij de schutsluizen, en in figuur 3.16, voor de situatie met de pessimistische voorspelling.

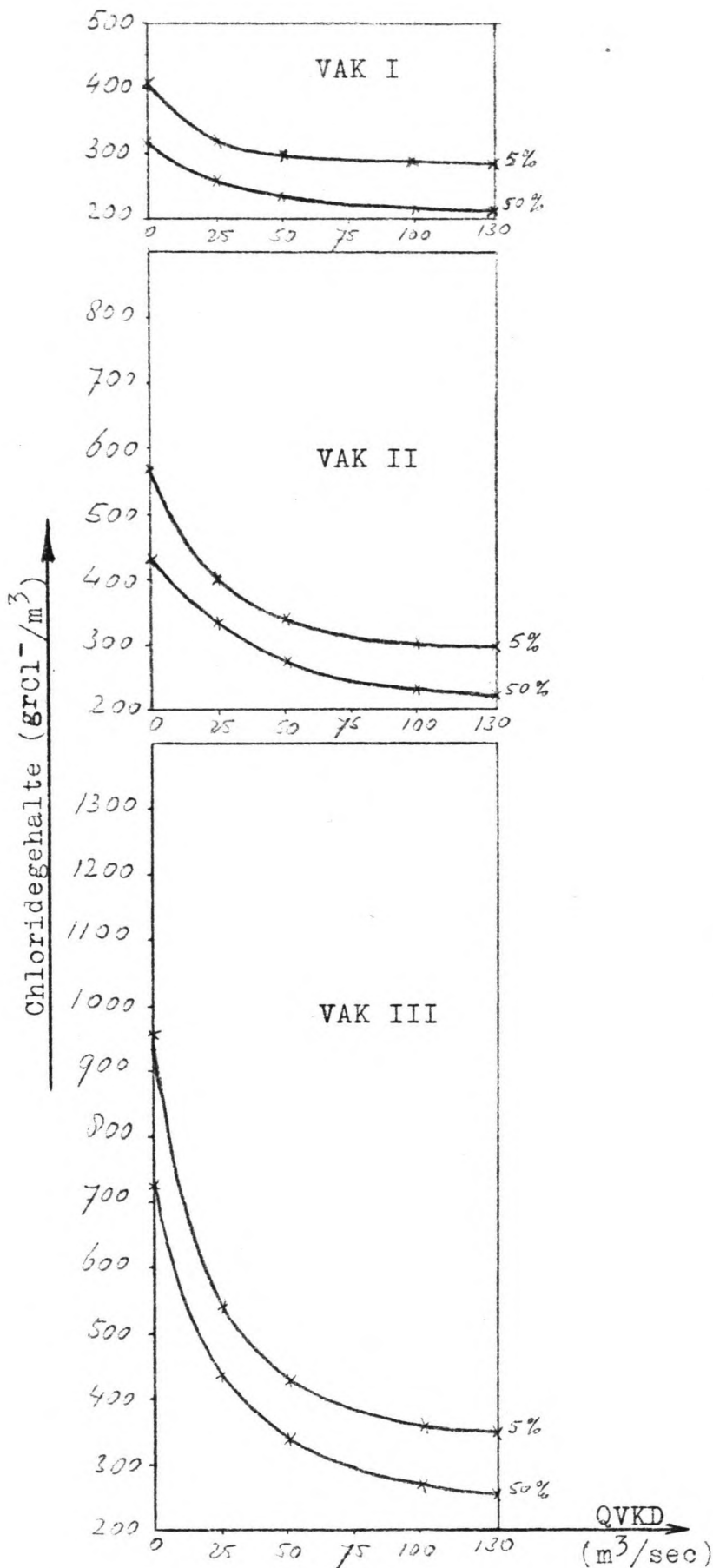


Fig. 3.15, Chloridegehalte op de vakken I, II en III van het Zoommeer, als functie van het doorspoeldebiet, bij gemiddelde schatting van de schutsluiszoutlast.

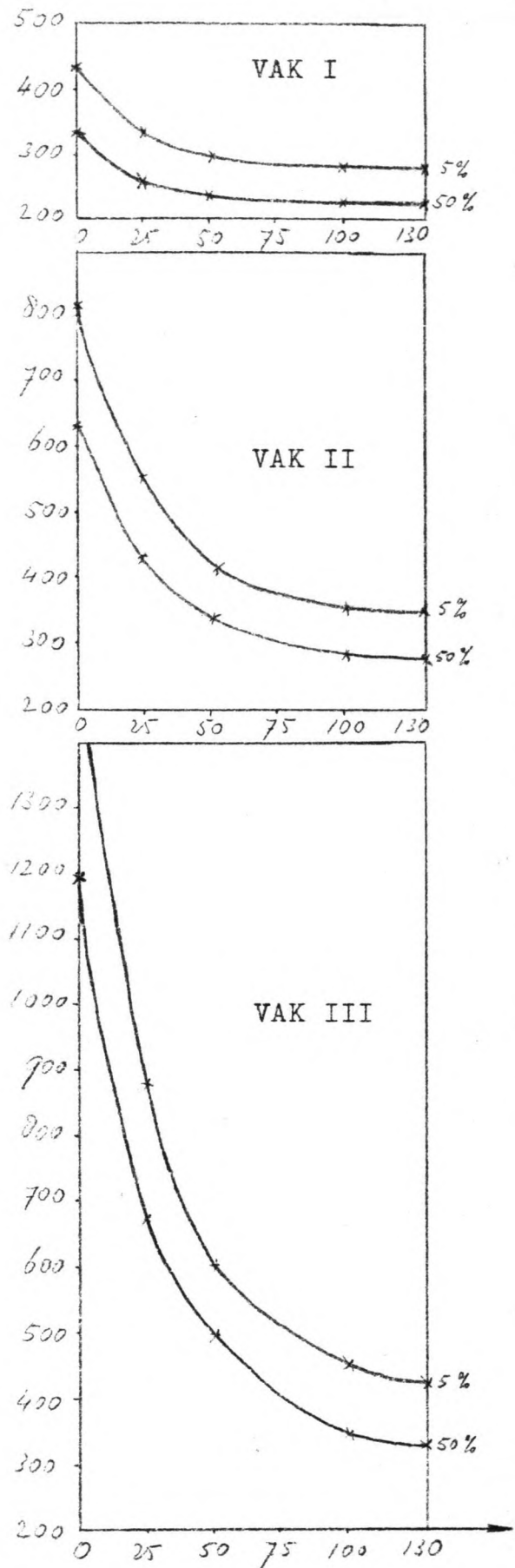


Fig 3.16, Chloridegehalte op de vakken, als functie van het doorspoeldebiet, QVKD, bij pessimistische schatting v.d. schutsluiszoutlast.

3.4.2 Vergelijking van de resultaten, met de door Rijkswaterstaat gevonden waarden

De resultaten, zoals die in de vorige paragraaf gepresenteerd zijn, kunnen nu eenvoudig vergeleken worden met de Rijkswaterstaat-resultaten.

De drie grafieken uit figuur 3.15 kunnen we vergelijken met de rechter-figuren op bijlage 32, waarin de waarden van het chloridegehalte, gerekend over het najaar, zoals die door Rijkswaterstaat zijn bepaald, zijn weergegeven. De bij deze berekeningen gehanteerde uitgangspunten stemden vrijwel overeen, zodat een vergelijking van de resultaten gerechtvaardigd is. We kunnen concluderen dat de resultaten goed overeenstemmen bij grotere doorspoeldebieten, terwijl voor kleine doorspoeldebieten de in dit hoofdstuk berekende waarden hoger uitvallen.

Met wat meer voorzichtigheid -de overeenkomst tussen de hier gebruikte uitgangspunten en die van Rijkswaterstaat is wat minder goed- kunnen we de resultaten van figuur 3.16 vergelijken met de waarden uit de najaar-figuren van bijlage 33. Hier doet zich hetzelfde voor: voor kleine doorspoeldebieten zijn de door ons gevonden chloridegehalten te hoog, bij grotere doorspoeling komen de resultaten goed overeen.

Er zijn een aantal verklaringen te geven voor de discrepantie tussen de resultaten bij kleinere doorspoeldebieten. In de eerste plaats hebben we bij de schematisatie van de kansdichtheidsfunctie voor het waterbezwaar tot een normale verdeling, een gemiddelde van $18 \text{ m}^3/\text{sec}$ gevonden, terwijl de verwachtingswaarde $14 \text{ m}^3/\text{sec}$ bedroeg (zie fig 3.10 uit par. 3.2.2). Het zoutgehalte in het inlaatdebiet en de zoutlast in het waterbezwaar zijn direct hieraan gekoppeld; bij narekenen blijkt dat dit inderdaad te hoge chloridegehalten geeft.

Een tweede verklaring kan gevonden worden in het feit dat we bij onze berekeningen de "insteltijd" van het systeem verwaarloosd hebben; we hebben aangenomen dat het chloridegehalte in het meer zich direct aanpast aan de water- en chloridebezwaren en -onttrekkingen. Bij een klein doorspoeldebiet is deze aanname niet geheel gerechtvaardigd; de inhoud van het meer vormt dan een te grote buffer ten opzichte van de inkomende debieten en zoutlasten. Om dit effect te vermijden hadden we dus een langere rekenperiode (b.v. een jaar) moeten beschouwen, of de bergingsterm uit de balansvergelijkingen niet moeten verwaarlozen. Het laatste zou de verschillende berekeningen veel ingewikkelder hebben doen zijn. In dit kader volstaan we met de verkregen resultaten.

3.5 Conclusies

Uit de figuren 3.15 en 3.16 kunnen verschillende conclusies getrokken worden aangaande het chloridegehalte op het Zoommeer en de benodigde capaciteit voor het lozingsmiddel bij Bath.

Voor het ontwerp van het lozingsmiddel is het van belang in te zien dat voor zowel de gemiddelde als de pessimistische schatting van de schutsluiszoutlast, en voor alle vakken van het Zoommeer, het chloridegehalte minder daalt naarmate het doorspoeldebiet verder toeneemt. Zo is in alle gevallen de verlaging van het chloridegehalte, wanneer met $130 \text{ m}^3/\text{sec}$ wordt doorgespoeld in plaats van met $100 \text{ m}^3/\text{sec}$, kleiner dan $25 \text{ gr}/\text{m}^3$. Dit wijst erop dat de doorstroomopening van het lozingsmiddel, zoals die nu is ontworpen, voldoende is. Aangezien bij de berekening de situatie is beschouwd zoals die pas na vele jaren op zal treden -3 duwvaartsluizen in de Philipsdam- en er voor deze situatie een voldoende lozingscapaciteit bestaat, is het de vraag of een uitbreiding van het lozingsmiddel van 6 tot 9 kokers ooit nodig zal zijn. Zoals in hoofdstuk 1 beschreven waren er plannen om het betonwerk voor deze uitbreiding vast uit te voeren bij de bouw van de spuisluis. Recentelijk, mede onder invloed van de benodigde bezuinigingen, is besloten van deze uitbreidingsmogelijkheid af te zien.

Voor wat betreft het chloridegehalte op het Zoommeer, zien we dat voor vak I en vak II een gehalte van $300 \text{ à } 400 \text{ grCl}^-/\text{m}^3$ wel haalbaar is, met een niet te grote doorspoeling vanuit het Hollands Diep. Dit geldt ook voor het geval dat de zoutlast bij de schutsluizen gelijk is aan de pessimistische voorspelling.

Het chloridegehalte op vak III van het meer zal aanzienlijk hoger zijn. Bij een schutsluiszoutlast volgens de gemiddelde prognose is het gehalte meestentijds nog wel onder de $400 \text{ grCl}^-/\text{m}^3$ te houden.

Bij een schutsluis-zoutlast volgens de pessimistische schatting moet er met een debiet van minstens $75 \text{ m}^3/\text{sec}$ doorgespoeld worden om hetzelfde te bereiken. Het is de vraag of dit wenselijk is, gezien de verontreiniging met zware metalen van het doorspoelwater en de grote zoétwaterlozing op de Westerschelde.

Tot slot van dit hoofdstuk geven we in tabel 3.5 aan, welk doorspoeldebiet benodigd is, om met een kans van 50 of 95 %, een zougehalte van $300 \text{ gr}/\text{m}^3$, respectievelijk $400 \text{ gr}/\text{m}^3$, te handhaven op vak I, II en III van het Zoommeer.

$300 \text{ gr}/\text{m}^3$	50 %	95 %
VAK I	0 m^3/sec	30 m^3/sec
VAK II	35 "	100 "
VAK III	68 "	140 "
$400 \text{ gr}/\text{m}^3$	50 %	95 %
VAK I	0 m^3/sec	2 m^3/sec
VAK II	25 "	25 "
VAK III	32 "	62 "

Tabel 3.5 Doorspoeldebieten ter handhaving van een chloridegehalte van 300 resp. $400 \text{ gr}/\text{m}^3$, met een kans van 50 resp. 95 %.

Literatuur Hoofdstuk 1

Door het algemene karakter van hoofdstuk 1, en van de gebruikte literatuur, is ervan afgezien literatuurverwijzingen in de tekst op te nemen. Onderstaand volgt een lijst van de geraadpleegde literatuur.

- OTAR, Technisch orgaan Vereniging van Waterstaatkundige ambtenaren van de Rijkswaterstaat.

Tracévaststelling Philipsdam als onderdeel van de compartimenteringswerken.

Ir.T.G. van der Meer,

Otar 1978, nr. 5.

De stormvloedkering in de Oosterschelde.

Ing. H. Verheij,

Otar 1980, nr. 9.

De compartimentering van de Oosterschelde.

Ir.H.P. de Bokx,

Otar 1981, nr. 3.

Spuikanaal Bath en bijbehorende kunstwerken.

Ir.H.G.H.ten Hoopen,

Otar 1981, nr. 4.

Oosterschelde en milieuzorg.

Otar 1981, nr. 5.

- Driemaandelijks Bericht Deltawerken.

Het rapport van de C.C.O.

1975, nr. 73.

Open, dicht of open/dicht.

1976, nr. 78.

De waterhuishouding van het Zoommeer.

1977, nr. 80.

Het waterpeil op het Zoommeer.

1979, nr. 87.

De capaciteit van het lozingsmiddel Zoommeer.
1979, nr. 89.

Aquatisch ecologisch onderzoek.
1981, nr. 95.

Dimensionering van het spuikanaal Bath en de
Bathse spuisluis.
1981, nr. 96.

Verbetering van het kanaal door Zuid-Beveland.
1981, nr. 97.

- De betekenis van het Delta-plan voor de bescherming
van de Nederlandse kust.

Ir.H.P. de Bokx,
Rijkswaterstaat, Hoofdafdeling Waterbouwkundige
Werken,
Bergen op Zoom, z.j.

- Situering lozingsmiddel Zoommeer.

Commissie Compartimentering Oosterschelde,
Bergen op Zoom, 1977.

- Afsluiting van de Oosterschelde, een open vraag?
Verslag 82^e diës-symposium Practische Studie,
Delft, 1976.

- Ontwerp van het lozingsmiddel van Zoommeer naar de
Westerschelde.

Waterbouwkundige Werken Oost van de Deltadienst,
Rijkswaterstaat,
Bergen op Zoom, 1979.

Literatuur bij de hoofdstukken 2 en 3

- 1 Directie Waterhuishouding en Waterbeweging,
District Zuidwest, Rijkswaterstaat, nota 24.001.01
Voorstudie water- en zoutbalans Oostmeer.
1975
- 2 Directie Waterhuishouding en Waterbeweging,
District Zuidwest, Rijkswaterstaat, nota 24.001.07
Peil- en chloridegehalteberekeningen voor het Zoommeer
in verband met de bepaling van de lozingscapaciteit.
1978
- 3 Directie Waterhuishouding en Waterbeweging,
District Zuidwest, Rijkswaterstaat, nota 24.001.14
Windinvloeden op het Oostmeer.
1976
- 4 Deltadienst, Rijkswaterstaat,
Driemaandelijks bericht Deltawerken, nr. 96, blz. 232,
Dimensionering van het spuikanaal Bath en de Bathse
spuisluis.
1981, 's-Gravenhage
- 5 Directie Waterhuishouding en Waterbeweging,
District Zuidwest, Rijkswaterstaat, nota 24.001.16
De chloridebelasting en het zoetwaterverlies via de
schutsluizen van het toekomstig Zoommeer. (herz. versie)
1978
- 6 SEYHAN, Ersin,
Application of statistical methods to hydrology.
Institute of Earth-sciences, Free University,
1980, Amsterdam

- 7 VRIES, prof.dr.ir.M.de,
Inleiding vloeistofmechanica.
Technische Hogeschool Delft, afd. Civiele Techniek,
1977, Delft
- 8 Werkgroep Spuisluis en Sifon,
Rijkswaterstaat, notitie DDWT-80.416 (herz. versie)
Hydraulische randvoorwaarden Spuisluis en Sifon.
1981
- 9 Waterloopkundig Laboratorium,
Lozingsmiddel Zoommeer, verifikatie en aanpassing
ontwerp, bepaling afvoercharacteristieken, rekenmodel
spuisluis met vrije waterspiegel.
Verslag modelonderzoek/onderzoek, M1711/R1372,
1982
- 10 KALKWIJK, J.P.Th.,
De analyse van getijden.
College dictaat b-75,
1975, Delft
- 11 Directie Waterhuishouding en Waterbeweging,
Rijkswaterstaat,
Getijtafels voor Nederland.
Den Haag
- 12 Directie Waterhuishouding en Waterbeweging,
Rijkswaterstaat,
Jaarboek der waterhoogten, afvoeren, watertemperaturen,
en windgegevens.
Den Haag
- 13 -
KNMI
Synoptic and upper air observations in the Netherlands.
1957-, De Bilt

- 14 WEENINK, M.P.H.,
A theory and method of calculation of wind-effects
on sea-levels in a partly enclosed sea, with special
application to the southern coast of the North Sea.
KNMI, Med. en Verh. nr 73,
1958
- 15 DORRESTEIN,
Wind and wave data of Netherlands lightvessels
since 1949.
KNMI
1967, Den Haag
- 16 VRIJLING, Ir.J.K., en VROUWENVELDER, Ir.A.C.W.M.,
Probabilistisch ontwerpen.
College dictaat b-3, Technische Hogeschool Delft,
afd. Civiele Techniek,
1982, Delft
- 17 STUIP, Ir.J.,
Methodische aanpak voor waterbouwkundige constructies
aan zee.
Technische Hogeschool Delft, afd. Civiele Techniek,
1980, Delft
- 18 Commissie Compartimentering Oosterschelde,
Interim-nota, Het peil, de chloridegehalten en de
lozingscapaciteit van het Zoommeer.
1977
- 19 SEGEREN, Prof.Ir.W.A., en KLEIJ, Ir.J van der,
Polders en waterkeringen. (gedeelte polders),
Collegedictaat f-3, Technische Hogeschool Delft,
afd. Civiele Techniek,
1978, Delft

- 20 Commissie Compartimentering Oosterschelde,
Nota capaciteit lozingsmiddel Zoommeer.
1978, Bergen op Zoom
- 21 Deltadienst, Rijkswaterstaat,
Driemaandelijks bericht Deltawerken, nr. 95, blz. 254,
Aquatisch ecologisch onderzoek.
1981, 's-Gravenhage
- 22 Deltadienst, Rijkswaterstaat,
Driemaandelijks bericht Deltawerken, nr. 89, blz. 461,
De capaciteit van het lozingsmiddel Zoommeer.
1979, 's-Gravenhage

I SITUATIE ZONDER TERUGWINNEN VAN ZOETWATER (PEIL ZOOMMEER = NAP)

sluis	aan-tal a	uitwisselings- volume per sluis V (m³)	Δρ (kg/m³)	schutcycli per dag n	zoetwater- verlies x (% van V)	zoutbezwaar		zoetwater- verlies Q _s (m³/s)	zoutbezwaar		
						y (% van V)			K (kgCl⁻/s)		
						gem.	max.		gem.	max.	
Philipsdamsluis	3	48.000	20	14	88	1	1	20,5	1,5	3,5	7,0
Jachtensluis Philipsdam	1	2.500	20	14	88	1	1	0,4	0,1	0,1	0,1
Oosterdamsluis	1	6.000	20	14	88	1	1	0,9	0,2	0,2	0,2
Kreekraksluis	2	59.700	3	14	90	1	0	17,4	0,0	0	1,7

II SITUATIE MET CIRCA 50% TERUGWINNEN VAN ZOETWATER (PEIL ZOOMMEER = NAP)

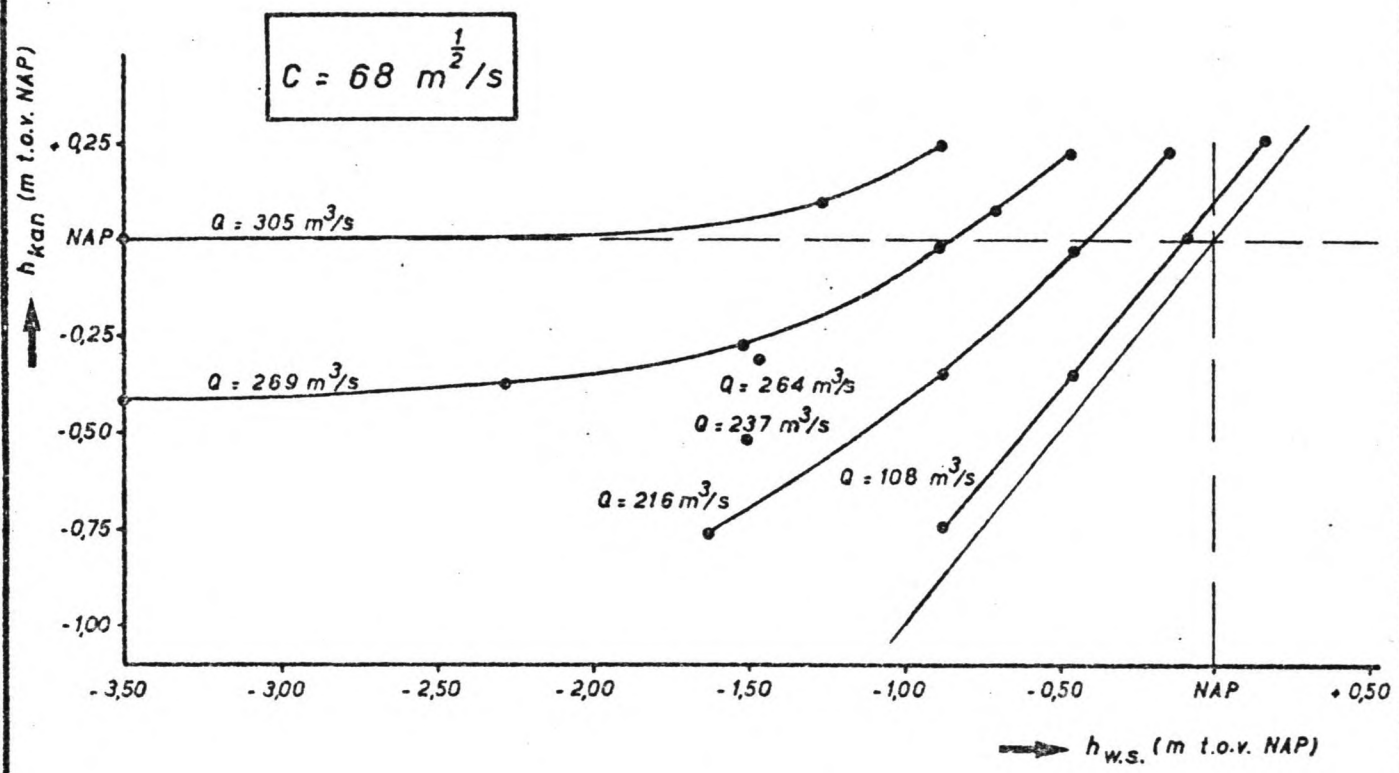
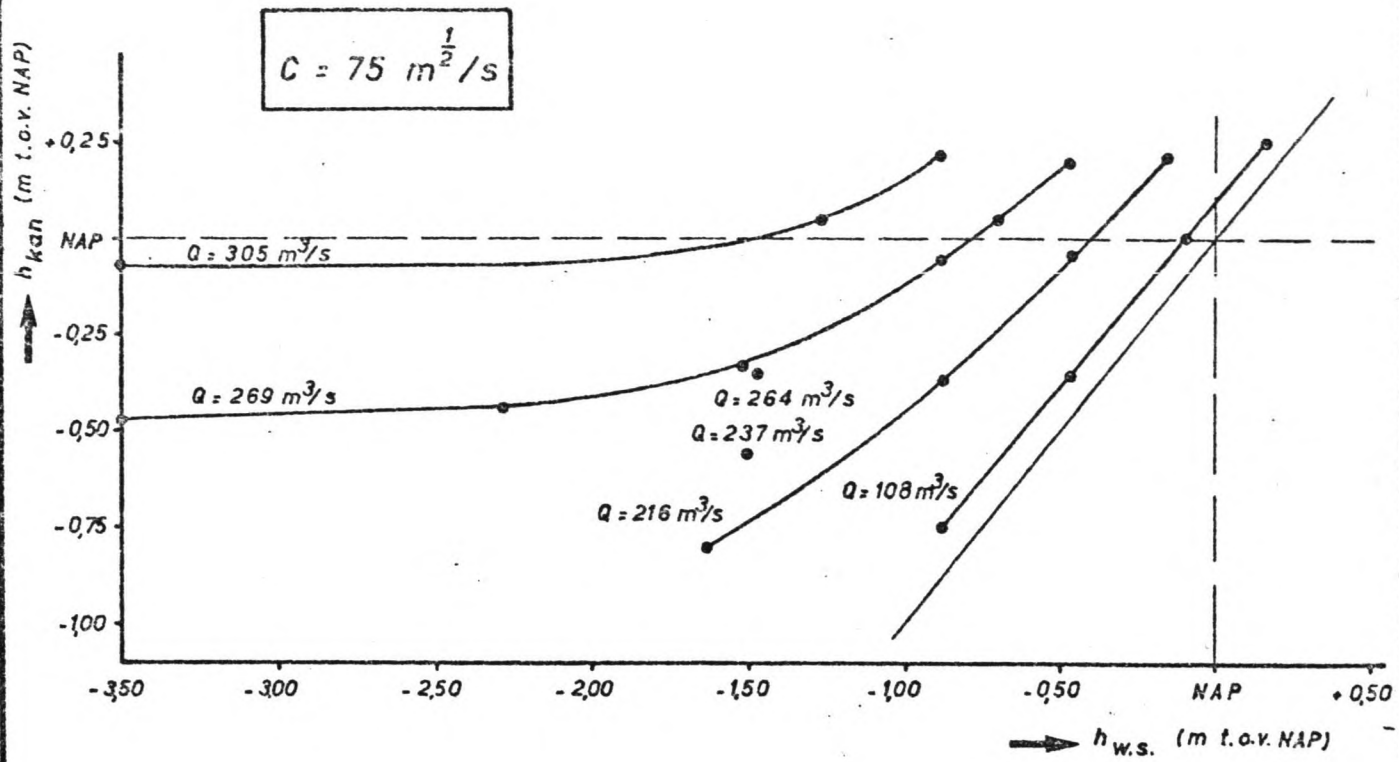
sluis	aan-tal a	uitwisselings- volume per sluis V (m³)	Δρ (kg/m³)	schutcycli per dag n	zoetwater- verlies x (% van V)	zoutbezwaar		zoetwater- verlies Q _s (m³/s)	zoutbezwaar		
						y (% van V)			K (kgCl⁻/s)		
						gem.	max.		gem.	max.	
Philipsdamsluis	3	48.000	20	13	48	7	5	10,4	22,8	16,2	32,5
Jachtensluis Philipsdam	1	2.500	20	14	88	1	1	0,4	0,1	0,1	0,1
Oosterdamsluis	1	6.000	20	14	88	1	1	0,9	0,2	0,2	0,3
Kreekraksluis	2	59.700	8 ^{*)}	13	45	9	3	8,1	0,0	3,2	15,2

Zoetwaterverlies $Q_s = a \times \frac{x}{100} \times V \times n : 86.400 \text{ (m}^3/\text{s)}$

Chloridebezwaar $K = a \times \frac{V}{100} \times V \times 0,75\Delta\rho \times n : 86.400 \text{ (kgCl}^-\text{/s)}$

*) Percentage zoutbezwaar y bij Kreekraksluizen met Δρ = 8 bepaald door interpolatie uit de gegevens van bijlage 5

PROGNOSE ZOUTBEZWAAR/ZOETWATERVERLIES ZOOMMEER VIA SLUIZEN IN DE COMPARTIMENTERINGS DAMMEN, OP GROND VAN RESULTATEN MODELONDERZOEK.



$M=6$	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K
	x	x	x				x	x	x	

schaal: vertikaal 1: 20
 horizontaal 1: 25

zie tevens par. 4.4. conclusies

AFVOERKARAKTERISTIEK VOOR 6 GEOPENDE KOKERS

$C = 75 \text{ m}^{\frac{1}{2}}/\text{s}$ RESP. $C = 68 \text{ m}^{\frac{1}{2}}/\text{s}$

proeven zie tabel 1

aanpassing 14 A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1711 - 1020

FIG. 18

Toelichting op de hierna volgende bijlagen met de berekeningen van de kans op een peilstijging ≥ 25 cm. in een periode waarin het gemiddelde laagwater in een bepaalde klasse valt. De klassebreedte is hierbij 10 cm. en de berekeningen zijn uitgevoerd voor perioden met een duur van 1 tot 18 laagwaters en voor gemiddelde laagwaters van 1,90 m.- N.A.P. tot 0,90 m.- N.A.P.

Boven elke tabel is de lozingscapaciteit van de spuisluis, QL, aangegeven bij die bepaalde laagwaterstand op de Westerschelde. Deze lozingscapaciteit moet nog vermeerderd worden om het effect van de peilstijging te verdisconteren. Zo geeft de QL_{25} de lozingscapaciteit bij een peilstijging van 25 cm.

Kolom 1, duur; het aantal laagwaters van de opzetperiode.

Kolom 2, kans I; de kans op de combinatie van dat gemiddelde laagwater en die duur van de opzetperiode.

Kolom 3, periode QA \gg ; het waterbezwaar minus de lozingscapaciteit moet deze waarde overschrijden voordat er een peilstijging 25 cm. optreedt. Deze waarde is gerelateerd aan de duur van de opzetperiode.

Kolom 4, decade QA \gg ; de waarde uit de vorige kolom omgerekend naar een decade-waarde.

Kolom 5, kans II; de kans van optreden van het decade-waterbezwaar uit de vorige kolom.

Kolom 6, subtotaal kans I + II; de kans op de combinatie van die opzetperiode en dat waterbezwaar. Hier moest nog eens vermenigvuldigt worden met 36,5 (het aantal decades in een jaar) omdat de kans uit de vorige kolom betrokken was op een decade en we nu geïnteresseerd zijn in de kans per jaar.

Windopzetperioden met gemiddeld laagwater = 1,85 m.- N.A.P.

$$QL = 131 \frac{m^3}{sec}; \quad \Delta QL = 11 \frac{m^3}{sec}; \quad QL_{25} = 142 \frac{m^3}{sec}.$$

duur	kans I	periode QA \geq	decade QA \geq	Gumbel kans II	subtotaal kans I + II
1 LW.	7,28 %	506 $\frac{m^3}{sec}$	232 $\frac{m^3}{sec}$	0,01x10 ⁻³ %	36,5x00,33x10 ⁻⁶ %
2	1,11	324	176	0,29	03,22
3	0,79	264	158	1,05	08,30
4	0,66	233	149	1,71	11,29
5	0,54	215	145	2,49	13,45
6	0,45	203	144	2,74	12,33
7	0,38	194	143	2,90	11,02
8	0,32	188	144	2,74	8,77
9	0,25	183	146	2,28	5,70
10	0,20	178	147	2,16	4,32
11	0,16	175	148	1,96	2,74
12	0,13	172	150	1,61	2,09
13	0,09	170	152	1,47	1,32
14	0,06	168	153	1,42	0,85
15	0,04	166	154	1,37	0,55
16	0,03	164	155	1,28	0,38
17	0,016	163	156	1,19	36,5x0,19x10 ⁻⁶

$$p \text{ (peilstijging } \geq 25 \text{ cm. | LW. = 1,85 m.-)} = \underline{3,18 \times 10^{-3} \%}$$

Windopzetperioden met gemiddeld laagwater = 1,75 m.- N.A.P.

$$QL = 126 \frac{m^3}{sec}; \quad \Delta QL = 11 \frac{m^3}{sec}; \quad QL_{25} = 137 \frac{m^3}{sec}.$$

duur	kans l	periode QA \geq	decade QA \geq	Gumbel kans ll	subtotaal kans l + ll
1 LW.	13,29 %	501 $\frac{m^3}{sec}$.	230 $\frac{m^3}{sec}$.	$5,50 \times 10^{-6} \%$	$36,5 \times 0,70 \times 10^{-6} \%$
2	2,02	319	173	$0,32 \times 10^{-3}$	$36,5 \times 0,46 \times 10^{-6}$
3	1,45	259	155	1,28	18,56
4	1,20	228	146	2,28	27,36
5	0,99	210	142	3,05	30,20
6	0,83	198	140	3,35	27,81
7	0,69	189	139	3,50	24,15
8	0,58	1,83	140	3,35	19,43
9	0,46	178	142	3,05	14,03
10	0,37	173	143	2,90	10,73
11	0,30	170	144	2,74	8,22
12	0,23	167	146	2,28	5,24
13	0,16	165	148	1,96	3,14
14	0,12	163	149	1,71	2,05
15	0,08	161	150	1,61	1,29
16	0,06	159	151	1,52	0,91
17	0,03	158	153	1,42	0,43
18	0,02	157	154	1,37	$36,5 \times 0,27 \times 10^{-6}$

$$P (\text{peilstijging} \geq 25 \text{ cm.} \mid \text{LW.} = 1,75 \text{ m.-}) = \underline{7,34 \times 10^{-3} \%}$$

Windopzetperioden met gemiddeld laagwater = 1,65 m.- N.A.P.

$$QL = 120 \frac{m^3}{sec}; \quad \Delta QL = 11 \frac{m^3}{sec}; \quad QL_{25} = 131 \frac{m^3}{sec}.$$

duur	kans l	periode QA \geq	decade QA \geq	Gumbel kans l1	subtotaal kans l + l1
1 LW.	12,72 %	495 $\frac{m^3}{sec}$.	227 $\frac{m^3}{sec}$.	$6,50 \times 10^{-6} \%$	$36,5 \times 00,83 \times 10^{-6} \%$
2	1,94	313	170	$0,39 \times 10^{-3}$	$36,5 \times 07,57 \times 10^{-6}$
3	1,39	253	151	1,52	21,13
4	1,14	222	142	3,04	34,65
5	0,95	204	138	3,81	36,20
6	0,79	192	136	4,85	38,32
7	0,66	183	135	5,48	36,17
8	0,55	177	136	4,85	26,68
9	0,44	172	137	4,25	18,70
10	0,35	167	138	3,65	12,78
11	0,29	164	139	3,50	10,15
12	0,22	161	141	3,20	7,04
13	0,15	159	142	3,00	4,56
14	0,11	157	143	2,90	3,19
15	0,08	155	144	2,73	2,19
16	0,06	153	145	2,49	1,49
17	0,03	152	147	2,16	0,65
18	0,02	151	148	1,96	<u>$36,5 \times 0,39 \times 10^{-6}$</u>

$$P (\text{peilstijging} \geq 25 \text{ cm.} \mid \text{LW.} = 1,65 \text{ m.-}) = \underline{9,60 \times 10^{-3} \%}$$

Windopzetperioden met gemiddeld laagwater = 1,55 m.- N.A.P.

$$QL = 114 \frac{m^3}{sec};$$

$$\Delta QL = 11 \frac{m^3}{sec};$$

$$QL_{25} = 125 \frac{m^3}{sec}.$$

duur	kans I	periode QA \geq	decade QA \geq	Gumbel kans II	subtotaal kans I + II
1 LW.	9,25 %	489 $\frac{m^3}{sec}$.	224 $\frac{m^3}{sec}$.	$9,80 \times 10^{-6} \%$	$36,5 \times 0,91 \times 10^{-6} \%$
2	1,41	307	167	$0,55 \times 10^{-3}$	07,76
3	1,01	247	147	2,16	21,82
4	0,83	216	138	3,81	31,62
5	0,69	198	134	5,68	39,19
6	0,58	186	132	6,09	35,32
7	0,48	177	130	6,45	30,96
8	0,40	171	131	6,27	25,08
9	0,32	166	132	6,09	19,49
10	0,26	161	133	5,88	15,29
11	0,21	158	134	5,68	11,93
12	0,16	155	135	5,48	8,77
13	0,11	153	137	4,25	4,68
14	0,08	151	138	3,81	3,05
15	0,06	149	138	3,81	2,29
16	0,04	147	139	3,60	1,44
17	0,02	146	141	3,25	0,65
18	0,015	145	142	3,04	0,46

$$P \text{ (peilstijging } \geq 25 \text{ cm. | LW. = 1,55 m.-)} = \underline{9,53 \times 10^{-3} \%$$

Windopzetperioden met gemiddeld laagwater = 1,45 m.- N.A.P.

$$QL = 108 \frac{m^3}{sec}; \quad \Delta QL = 11 \frac{m^3}{sec}; \quad QL_{25} = 119 \frac{m^3}{sec}.$$

duur	kans I	periode QA \geq	decade QA \geq	Gumbel kans II	subtotaal kans I + II
1 LW.	5,78 %	483 $\frac{m^3}{sec}$.	222 $\frac{m^3}{sec}$.	0,01x10 ⁻³ %	36,5x00,60x10 ⁻⁶ %
2	0,88	301	163	0,78	06,89
3	0,63	241	144	2,74	17,26
4	0,52	210	134	5,68	29,54
5	0,43	192	129	6,85	29,46
6	0,36	180	127	7,38	26,57
7	0,30	171	126	7,96	23,88
8	0,25	165	127	7,38	18,45
9	0,20	160	127	7,38	14,76
10	0,16	155	128	6,80	10,88
11	0,13	152	129	6,63	8,62
12	0,10	149	130	6,45	6,45
13	0,07	147	131	6,27	4,39
14	0,05	145	132	6,09	3,05
15	0,035	143	133	5,88	2,06
16	0,025	141	134	5,68	1,42
17	0,013	140	135	5,48	0,71
18	0,01	139	136	4,85	0,49

$$P (\text{peilstijging} \geq 25 \text{ cm.} \mid \text{LW.} = 1,45 \text{ m.-}) = \underline{7,52 \times 10^{-3}\%}$$

Windopzetperioden met gemiddeld laagwater = 1,35 m.- N.A.P.

$$Q_1 = 102 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}};$$

$$Q_{L_{25}} = 113 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}.$$

duur	kans I	periode QA >	decade QA >	Gumbel kans II	subtotaal kans I + II
1 LW.	3,47 %	477 $\frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$.	219 $\frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$.	0,01x10 ⁻³ %	36,5x00,48x10 ⁻⁶ %
2	0,53	295	160	0,96	05,09
3	0,38	235	140	3,40	12,92
4	0,31	204	130	6,55	20,31
5	0,26	186	125	8,55	22,23
6	0,22	174	123	10,45	23,19
7	0,18	165	121	13,70	24,66
8	0,15	159	122	12,17	18,26
9	0,12	154	123	10,54	11,95
10	0,10	149	123	10,54	9,96
11	0,08	146	124	9,13	7,30
12	0,06	143	125	8,55	5,13
13	0,04	141	126	7,96	3,18
14	0,03	139	127	7,38	2,21
15	0,02	137	128	6,80	1,36
16	0,015	135	129	6,70	1,01
17	0,008	134	130	6,55	0,52
18	0,006	133	130	6,55	0,39

$$P (\text{peilstijging} \geq 25 \text{ cm.} \mid \text{LW.} = 1,35 \text{ m.-}) = \underline{6,24 \times 10^{-3}\%}$$

Windopzetperioden met gemiddeld laagwater = 1,25 m.- N.A.P.

$$QL = 96 \frac{m^3}{sec}; \quad QL_{25} = 107 \frac{m^3}{sec}.$$

duur	kans I	periode QA \geq	decade QA \geq	Gumbel kans II	subtotaal kans I + II
1 LW.	2,02 %	471 $\frac{m^3}{sec}$	216 $\frac{m^3}{sec}$	$0,02 \times 10^{-3} \%$	$36,5 \times 0,34 \times 10^{-6} \%$
2	0,31	289	157	1,10	3,41
3	0,22	229	137	4,25	9,35
4	0,18	198	126	7,96	14,33
5	0,15	180	121	13,70	20,55
6	0,13	168	119	14,70	19,11
7	0,11	159	117	16,17	17,79
8	0,09	153	117	16,17	14,55
9	0,07	148	118	15,22	10,65
10	0,06	143	118	15,22	9,13
11	0,046	140	119	14,70	6,76
12	0,035	137	120	14,20	4,97
13	0,025	135	121	13,70	3,43
14	0,018	133	121	13,70	2,47
15	0,012	131	122	12,17	1,46
16	0,009	129	122	12,17	1,10
17	0,005	128	123	10,54	0,52
18	0,003	127	124	9,13	0,27

$$P (\text{peilstijging} \geq 25 \text{ cm.} \mid \text{LW.} = 1,25 \text{ m.-}) = \underline{4,98 \times 10^{-3} \%}$$

Windopzetperioden met gemiddeld laagwater = 1,15 m.- N.A.P.

$$QL = 90 \frac{m^3}{sec}; \quad QL_{25} = 90 + 11 = 101 \frac{m^3}{sec}.$$

duur	kans I	periode QA \geq	decade QA \geq	Gumbel kans II	subtotaal kans I + II
1 LW.	1,16 %	465	213	0,00002 %	36,5x0,27x10 ⁻⁶ %
2	0,18	283	154	0,0014	2,52
3	0,13	223	133	0,0059	7,67
4	0,10	192	123	0,011	11,01
5	0,09	174	117	0,016	14,41
6	0,07	162	115	0,019	13,70
7	0,06	153	113	0,023	13,42
8	0,05	147	113	0,023	11,51
9	0,04	142	113	0,023	9,21
10	0,03	137	113	0,023	6,90
11	0,026	134	114	0,020	5,21
12	0,02	131	114	0,020	4,00
13	0,014	129	115	0,018	2,52
14	0,01	127	116	0,017	1,70
15	0,007	125	116	0,017	1,18
16	0,005	123	117	0,016	0,79
17	0,0026	122	118	0,015	0,38
18	0,002	121	119	0,014	0,27

$$P (\text{peilstijging} \geq 25 \text{ cm.} \mid \text{LW.} = 1,15 \text{ m.-}) = \underline{3,89 \times 10^{-3}\%}$$

Windopzetperioden met gemiddeld laagwater = 1,05 m.- N.A.P.

$$QL = 84 \frac{m^3}{sec};$$

$$QL_{25} = 95 \frac{m^3}{sec}.$$

duur	kans I	periode QA \geq	decade QA \geq	Gumbel kans II	subtotaal kans I + II
1 LW.	0,69 %	459 $\frac{m^3}{sec}$	211 $\frac{m^3}{sec}$	0,00002 %	36,5x0,16x10 ⁻⁶ %
2	0,11	277	150	0,0016	1,80
3	0,076	217	129	0,0067	5,10
4	0,062	186	119	0,015	9,30
5	0,052	168	113	0,023	12,0
6	0,043	156	110	0,028	12,0
7	0,036	147	108	0,03	10,8
8	0,03	141	108	0,03	9,0
9	0,024	136	108	0,03	7,2
10	0,019	131	108	0,03	5,7
11	0,016	128	109	0,029	4,64
12	0,012	125	109	0,029	3,48
13	0,008	123	110	0,028	2,24
14	0,006	121	110	0,028	1,68
15	0,004	119	111	0,027	1,08
16	0,003	117	111	0,027	0,81
17	0,0016	116	112	0,025	0,40
18	0,0010	115	113	0,023	0,23

$$P (\text{peilstijging} \geq 25 \text{ cm.} \mid \text{LW.} = 1,05 \text{ m.-}) = \underline{3,19 \times 10^{-3} \%}$$

Windopzetperioden met laagwater gemiddeld = 0,95 m.- N.A.P.

$$QL = 77 \frac{m^3}{sec};$$

$$QL_{25} = 88 \frac{m^3}{sec}.$$

duur	kans I	periode QA \geq	decade QA \geq	Gumbel kans II	subtotaal kans I + II
1 LW.	0,40 %	452 $\frac{m^3}{sec}$	207 $\frac{m^3}{sec}$	0,00003 %	36,5x0,12x10 ⁻⁶ %
2	0,062	270	147	0,0022	1,36
3	0,044	210	125	0,0086	3,78
4	0,036	179	114	0,020	7,2
5	0,030	161	109	0,029	8,7
6	0,025	149	105	0,036	9,0
7	0,021	140	103	0,044	9,2
8	0,018	134	103	0,044	7,9
9	0,014	129	103	0,044	6,2
10	0,011	124	103	0,044	4,8
11	0,009	121	103	0,044	3,96
12	0,007	118	103	0,044	3,1
13	0,005	116	104	0,039	2,0
14	0,0035	114	104	0,039	1,4
15	0,0025	112	104	0,039	0,98
16	0,0018	110	104	0,039	0,70
17	0,0009	109	105	0,036	0,32
18	0,0007	108	106	0,034	0,24

$$P (\text{peilstijging} \geq 25 \text{ cm.} \mid \text{LW.} = 0,95 \text{ m.-}) = \underline{2,59 \times 10^{-3}\%}$$

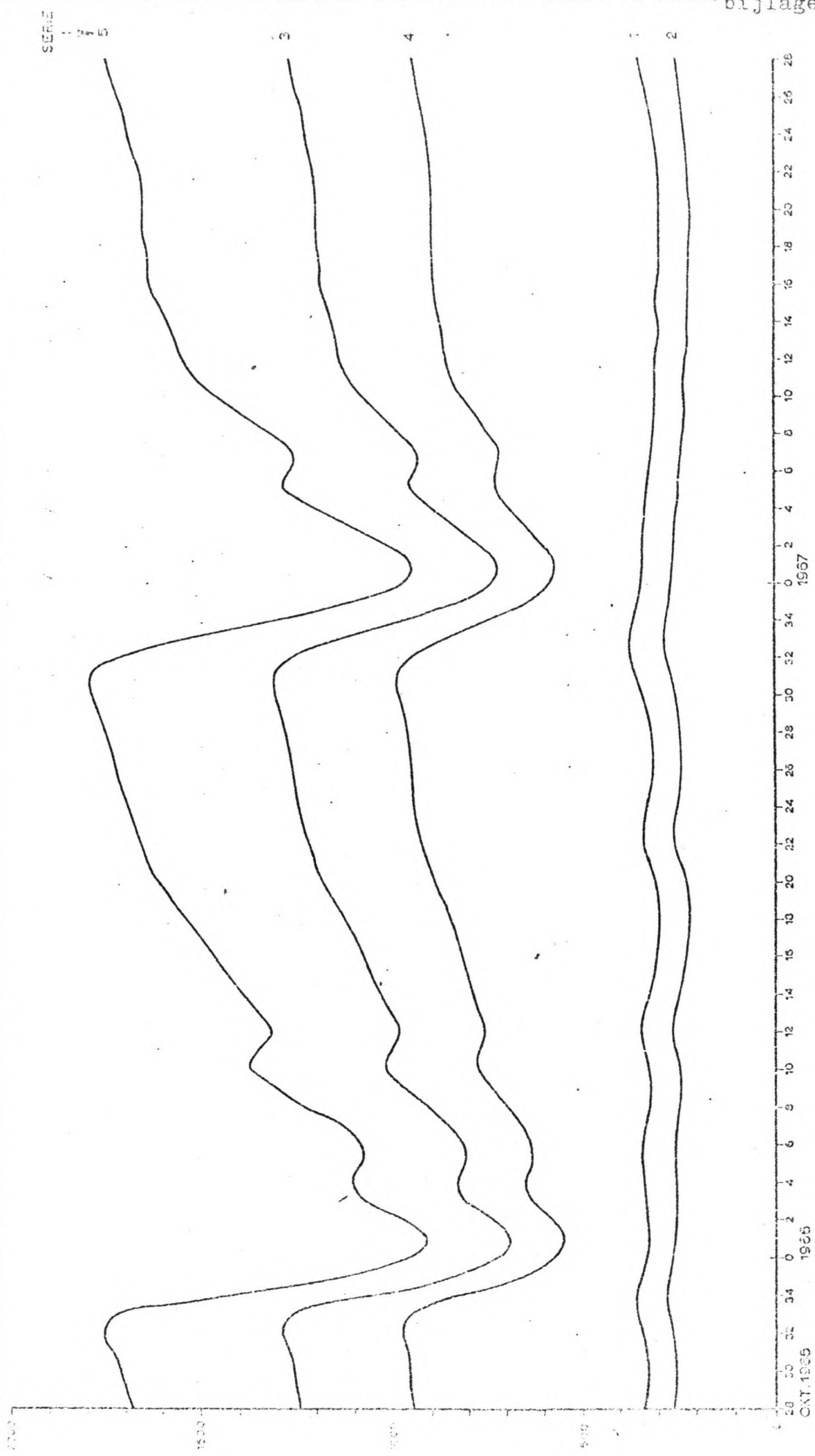
Tabel 20 geeft een overzicht van de bruikbaarheid van water met verschillende chloorgehalten.

chloorgehalte in mg/l	bruikbaarheid
< 300	- geschikt voor alle landbouwdoeleinden en als drinkwater voor de mens
300-500	- kan oogstvermindering geven bij gebruik als gietwater onder glas
500-1000	- in vele gevallen onbruikbaar als gietwater voor groentegewassen en twijfelachtig als spuitwater bij ziektebestrijding bij de fruitteelt
1000-2000	- begint gevaarlijk te worden als infiltratie- en beregeningswater voor de landbouw. Bij ziektebestrijding in de landbouw vermoedelijk nog geen grote moeilijkheden, evenals bij gebruik als drinkwater voor het vee
2000-5000	- grenstraject als drinkwater voor het vee. Helder is het nog wel bruikbaar; bij rottende stoffen door afgestorven plantengroei ongunstige verschijnselen bij het vee
> 5000	- voor land- en tuinbouw in alle gevallen onbruikbaar.

Tabel 20. De bruikbaarheid van water met verschillende chloorgehalten.

Tabel. Normen chloridegehalte in mg Cl⁻/l.

Indikatief Meerjaren Programma (lit. 7)	150 à 200
Milieu (lit. 6)	300
Tuinbouw onder glas (lit. 8)	200
Vollegrondstuinbouw (lit. 8)	400
Aardappelteelt (lit. 8)	1000

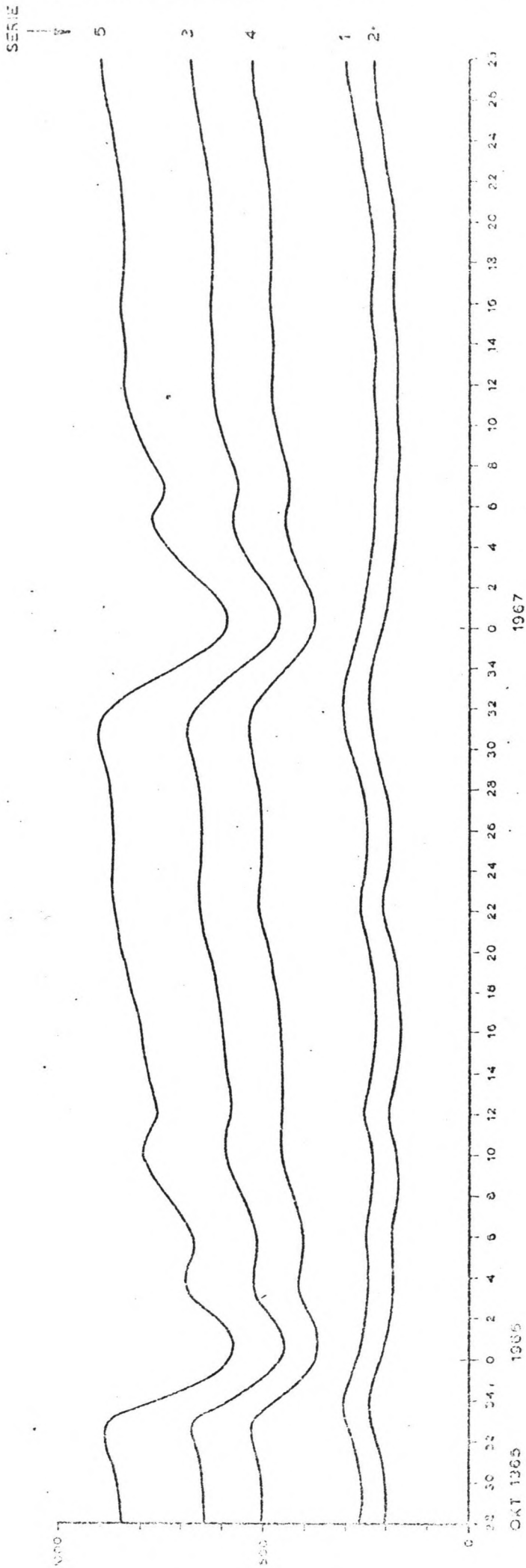


SERIE
1 2 3 4

DECADENUMMER

VERLOOP VAN HET CHLORIDEGEHALTE IN HET ZONNEMEER (VAK II)
IN OKT. 1965 t/m SEPT. 1967 VOLGENS BEREKENING SERIE 1 t/m 4
MET CONTINU EXTRA DOORSPOELDEBIET C 033/5

rijkswaterstraat	set	din 3 3	notis nr	24 001.16
directe waterhuishouding en waterbeweging			nr	bijlage nr 23
district zuidwest				



DECADENUMMER

VERLOOP VAN HET CHLORIDEGEHALTE IN HET ZOOMMEER (VAK II)
 IN OKT. 1965 t/m SEPT. 1967 VOLGENS BEREKENING SERIE 1 t/m 5
 MET CONTINU EXTRA DOORSPOELGESET 25 m²/s

rijkswaterstaat
 directie waterhuishouding en waterbeweging
 district zuidwest

Set. din a 3 nois nr. 24.001.16
 nr. bijlage nr. 24

Voor waterhuishoudkundige berekeningen zou nu, op grond van de gepresenteerde resultaten en achtergronden de volgende beschouwing kunnen worden opgezet:

a. Zoet/zoutbezwaar volgens bijlage 4 en 5 in % van het uitwisselingsvolume; zoutbezwaar volgens de prognose "gemiddeld", "max" en "min".

b. Dichtheidsverschil Philipsdam- en Oesterdamsluis $\Delta\rho = 20$; Kreekraksluizen $\Delta\rho = 3$ zonder terugwinnen en $\Delta\rho = 8$ met 50% terugwinnen (zie appendix 1).

Het zoutbezwaar bij $\Delta\rho = 8$ in % van het uitwisselingsvolume wordt bepaald door interpolatie van de prognoses op bijlage 5 voor $\Delta\rho = 3$ en $\Delta\rho = 12$.

c. Aantal schutcycli per dag is 14 zonder terugwinnen en 13 met terugwinnen (appendix 3).

d. Scheepsbezetting: volle kolken.

Indien geen volledig scheepsaanbod aanwezig is wordt aangenomen dat het zoetwaterverlies per sluiscomplex niet meer dan circa $1 \text{ m}^3/\text{s}$ zal toenemen (par. 2.2.1 f). Deze toename wordt dan verwaarloosd ten opzichte van het totale zoetwaterverlies van het sluiscomplex.

e. Water met dichtheid $1.000 + \Delta\rho \text{ kg/m}^3$ bevat $0,75 \cdot \Delta\rho \text{ kg/m}^3$ chloorion.

Op grond van deze beschouwing kan dan een schatting gemaakt worden van het zoutbezwaar en zoetwaterverlies via de sluizen in de compartimenteringsdammen van het Zoommeer zonder additionele voorzieningen, voor de situatie zonder terugwinnen van zoetwater en met terugwinnen van zoetwater (bijlage 6). Daarbij is ook de geschatte spreiding op grond van de resultaten van modelonderzoek aangegeven. Wanneer uit nader onderzoek zou blijken dat door additionele voorzieningen het zoetwaterverlies/zoutbezwaar per sluis met p% respectievelijk q% zal afnemen, kan deze vermindering in procenten onverkort worden toegepast op het zoetwaterverlies in m^3/s en zoutbezwaar kgCl^-/s zoals gepresenteerd op bijlage 6.

fase	zoetwater- verplaatsing 1)	zoutbezwaar 2)			grensvlak- hoogte (m t.o.v. NAP)
		gem.	spreiding		
			min.	max.	
neergaand	88	1	1	2	- 7,4
opwaarts	27	4			- 3,9
totaal	61	5,			- 3,9
neergaand	88	1	1	2	- 7,4
opwaarts	40	6	4	8	- 3,1
totaal	48	7	5	10	- 3,1
neergaand	88	1	1	2	- 7,4
opwaarts	53	9			- 2,2
totaal	35	10			- 2,2

1) Percentage van het uitwisselingsvolume

2) In volume onverdund zout water als percentage van het uitwisselingsvolume

- Uitwisselingsvolume Philipsdamsluizen = 48.000 m³ per sluis

- Dichtheidsverschil $\Delta\rho = 20 \text{ kg/m}^3$

- Peil Zoommeer = NAP

- Situatie met schepen

PROGNOSE VOOR ZOUTBEZWAAR EN ZOETWATERVERLIES VAN
DE PHILIPSDAMSLUIZEN VOLGENS CONCEPT-NOTA R1210 (WL).

rijkswaterstaat

NO. 0111. 24.001.16

Directie waterhuishouding en waterbeweging

Dichtheidsverschil $\Delta\rho = 3$

fase	zoetwater- verplaatsing 1)	zoutbezwaar 2)			grensvlak- hoogte (m t.o.v. NAP)
		gem.	spreiding		
			min.	max.	
neergaand	90	1	0	4	- 7,5
opwaarts	45	9	3	13	- 4,4
totaal	45	10	3	17	- 4,4

Dichtheidsverschil $\Delta\rho = 12$

fase	zoetwater- verplaatsing 1)	zoutbezwaar 2)			grensvlak- hoogte (m t.o.v. NAP)
		gem.	spreiding		
			min.	max.	
neergaand	90	1	0	3	- 7,5
opwaarts	45	6	2	9	- 4,4
totaal	45	7	2	12	- 4,4

1) Percentage van het uitwisselingsvolume

2) In volume onverdund zout water als percentage van het uitwisselingsvolume

- Uitwisselingsvolume Kreekraksluizen = 59.700 m³
per sluis

- Peil Zoommeer = NAP

- Situatie met schepen

- Prognose geldend voor situatie met geleidevloer en kleine hefsnelheden

PROGNOSE VOOR ZOUTBEZWAAR EN ZOETWATERVERLIES VAN
DE KREEKRAKSLUIZEN VOLGENS CONCEPT-NOTA R1210 (WL).

rijkswaterstaat		nota nr. 24.001.16
directie waterhuishouding en waterbeweging district zuidwest	ov.	bijlage nr. 5

I SITUATIE ZONDER TERUGWINNEN VAN ZOETWATER (PEIL ZOOMMEER = NAP)

sluis	aan- tal a	uitwisselings- volume per sluis V (m³)	Δρ (kg/m³)	schutcycli per dag n	zoetwater- verlies x (% van V)	zoutbezwaar		zoetwater- verlies Q _s (m³/s)	zoutbezwaar		
						y (% van V)			K (kgCl ⁻ /s)		
						gen.	max.		gen.	max.	
Philipsdamsluis	3	48.000	20	14	88	1	1	20,5	3,5	3,5	7,0
Jachtensluis Philipsdam	1	2.500	20	14	88	1	1	0,4	0,1	0,1	0,2
Cesterdamsluis	1	6.000	20	14	88	1	1	0,9	0,2	0,2	0,3
Kreekraksluis	2	59.700	3	14	90	1	0	17,4	0,4	0	1,7

II SITUATIE MET CIRCA 50% TERUGWINNEN VAN ZOETWATER (PEIL ZOOMMEER = NAP)

sluis	aan- tal a	uitwisselings- volume per sluis V (m³)	Δρ (kg/m³)	schutcycli per dag n	zoetwater- verlies x (% van V)	zoutbezwaar		zoetwater- verlies Q _s (m³/s)	zoutbezwaar		
						y (% van V)			K (kgCl ⁻ /s)		
						gen.	max.		gen.	max.	
Philipsdamsluis	3	48.000	20	13	48	7	5	10,4	22,2	16,2	32,5
Jachtensluis Philipsdam	1	2.500	20	14	88	1	1	0,4	0,1	0,1	0,1
Cesterdamsluis	1	6.000	20	14	88	1	1	0,9	0,2	0,2	0,3
Kreekraksluis	2	59.700	8 ^{*)}	13	45	9	3	8,1	9,7	3,2	16,2

Zoetwaterverlies $Q_s = a \times \frac{x}{100} \times V \times n : 86.400 \text{ (m}^3/\text{s)}$

Chloridebezwaar $K = a \times \frac{y}{100} \times V \times 0,75\Delta\rho \times n : 86.400 \text{ (kgCl}^-/\text{s)}$

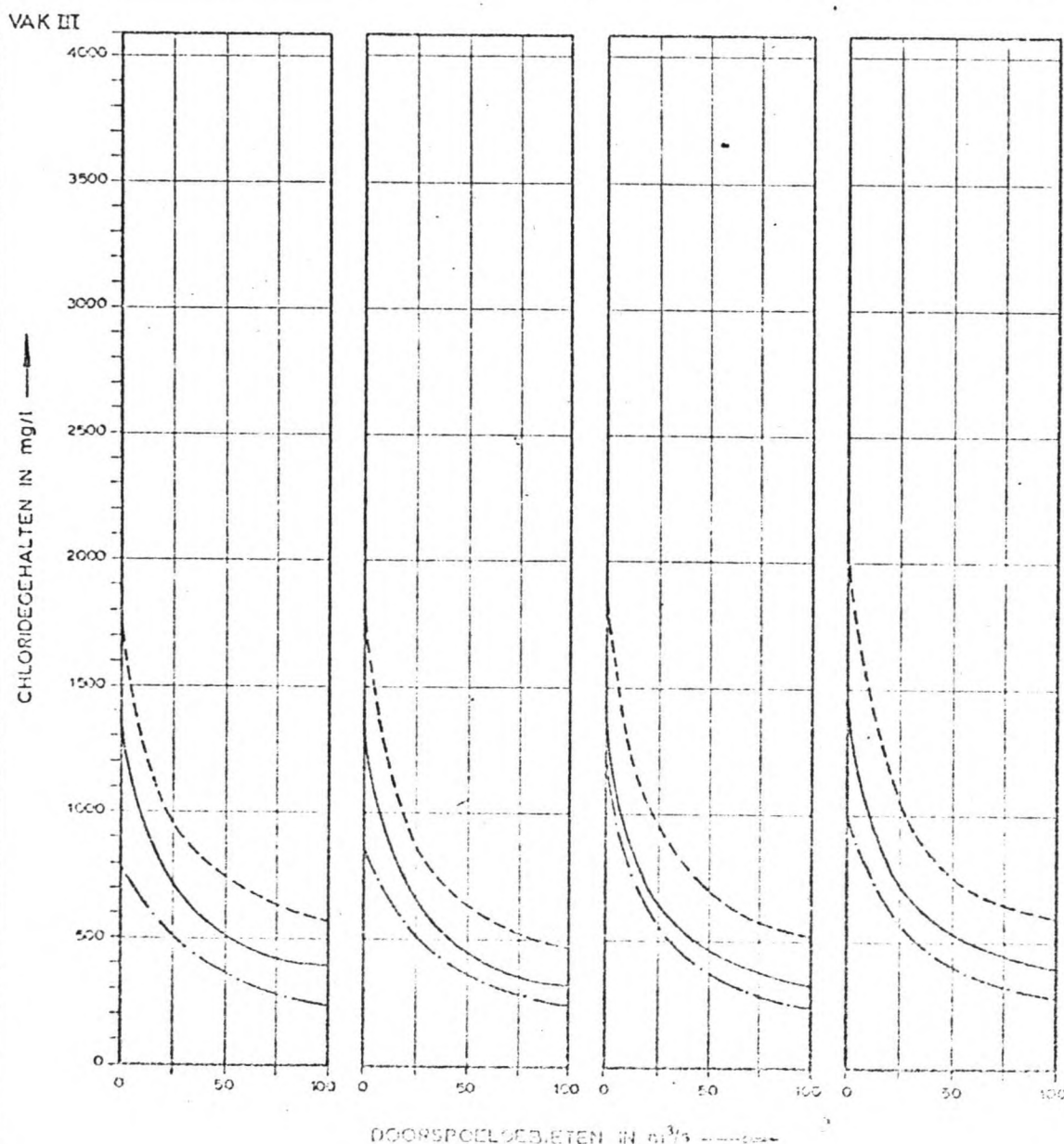
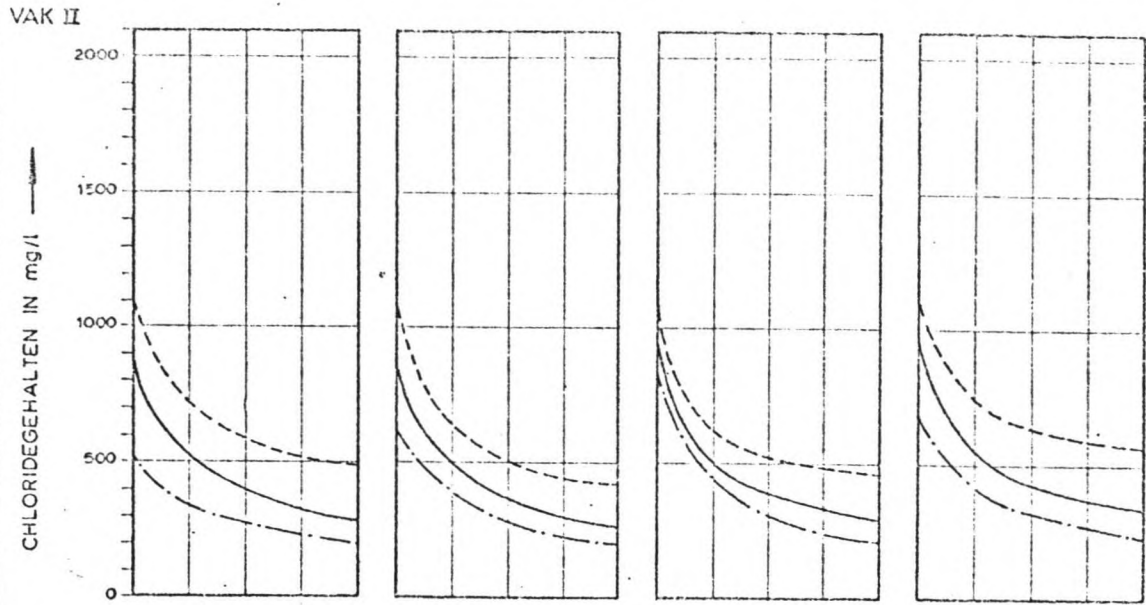
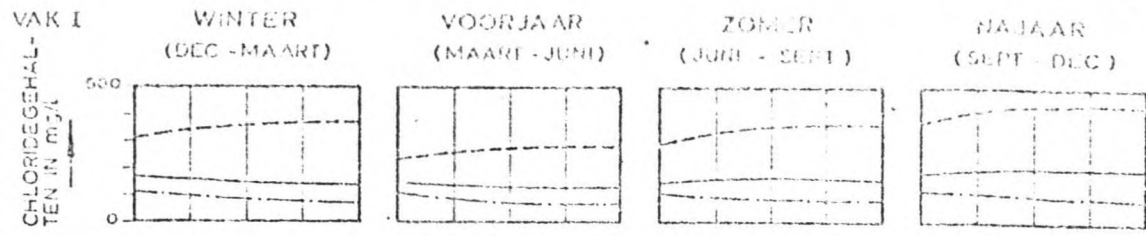
*) Percentage zoutbezwaar y bij Kreekraksluizen met Δρ = 8 bepaald door interpolatie uit de gegevens van bijlage 5

PROGNOSE ZOUTBEZWAAR/ZOETWATERVERLIES ZOOMMEER VIA SLUIZEN IN DE COMPARTIMENTERINGS DAMMEN, OP GROND VAN RESULTATEN MODELONDERZOEK.

rijke waterstaat

directe waterhuishouding en waterbeweging

Bois 97. 24.001.16



BEREKENING SERIE 4

MAXIMUM, GEMIDDELTE EN MINIMUM CHLORIDEGEHALTEN
(DECADEGEMIDDELDEN PER VAK) OVER DE PERIODE 1930-1974
ALS FUNCTIE VAN HET CONTINU EXTRA DOORSPOLDEBET

LEGENDA:
 - - - - - MAXIMUM
 ——— GEMIDDELD
 - · - · - MINIMUM

directe waterhuishouding en waterbeweging
 district zuidwest

Rijkswaterstaat

set. din 23 nota nr. 24.001.10

nr. bijlage nr. 11

Extra doorspoeldebiet = 0 m³/sec.

x_i	$\frac{\delta F}{\delta x_i}$	σ_i	$(\frac{\delta F}{\delta x_i} \cdot \sigma_i)^2$
QA	$-5,85 \cdot 10^{-3}$	10	$3,42 \cdot 10^{-3}$
QSS	$7,48 \cdot 10^{-3}$	3,3	$0,61 \cdot 10^{-3}$
Y	0,0303	1,4	$1,80 \cdot 10^{-3}$
Z	0,4545	0,045	$0,42 \cdot 10^{-3}$
CSS	0,0303	0,35	$0,11 \cdot 10^{-3}$

$$\sum_{i=1}^5 (\frac{\delta F}{\delta x_i} \cdot \sigma_i)^2 = 6,36 \cdot 10^{-3}$$

Nu volgt voor de standaard afwijking van de faalfunctie, F:

$$\sigma(F) = \sqrt{\sum_{i=1}^5 (\frac{\delta F}{\delta x_i} \cdot \sigma_i)^2} = \sqrt{6,36 \cdot 10^{-3}} = 0,08 \text{ kgCl}^-/\text{m}^3.$$

Voor het gemiddelde van de faalfunctie hadden we reeds gevonden: $\mu(F) = \text{Cl}^-_{\text{toel.}} - 0,412 \text{ kgCl}^-/\text{m}^3.$

We kunnen nu de kans berekenen dat een bepaald chloridegehalte op het Zoommeer wordt overschreden. Als we dit doen voor een chloridegehalte van $0,5 \text{ kgCl}^-/\text{m}^3$, verkrijgen we: $\mu(F) = 0,5 - 0,412 = 0,088 \text{ kgCl}^-/\text{m}^3;$

en we kunnen nu de betrouwbaarheidscoëfficiënt, β , voor deze situatie bepalen:

$$\beta(F) = \frac{\mu(F)}{\sigma(F)} = \frac{0,088}{0,08} = 1,1.$$

Via de tabel voor de normale verdeling, gegeven in het dictaat van het college probabilistiek (lit. 16), vinden we voor de kans die hierbij hoort: $P_f = 13,5 \%$.

We kunnen, in de andere richting werkend, ook het chloridegehalte bepalen dat met een kans van 5, resp. 10, % overschreden wordt:

- $P_f = 5 \%$; via de tabel volgt: $\beta(F) = 1,645$, en we bepalen het chloridegehalte uit de relatie:

$$\beta(F) = \frac{\mu(F)}{\sigma(F)} \Rightarrow 1,645 = \frac{\text{Cl}^- - 0,412}{0,08} \Rightarrow \underline{\text{Cl}^- = 0,544 \text{ kg/m}^3}.$$

- $P_f = 10 \%$; uit de tabel volgt: $\beta(F) = 1,28$, en we vinden via dezelfde relatie als hierboven: $\underline{\text{Cl}^- = 0,514 \text{ kg/m}^3}.$

Extra doorspoeldebiet, QVKD = 25 m³/sec.

X_i	$\frac{\delta F}{\delta X_i}$	σ_i	$(\frac{\delta F}{\delta X_i} \cdot \sigma_i)^2$
QA	$-1,46 \cdot 10^{-3}$	10	$0,21 \cdot 10^{-3}$
QSS	$2,42 \cdot 10^{-3}$	3,3	$0,06 \cdot 10^{-3}$
Y	0,0172	1,4	$0,58 \cdot 10^{-3}$
Z	0,6897	0,045	$0,96 \cdot 10^{-3}$
CSS	0,0172	0,35	$0,04 \cdot 10^{-3}$

$$\sum_{i=1}^5 (\frac{\delta F}{\delta X_i} \cdot \sigma_i)^2 = 1,85 \cdot 10^{-3}$$

Er volgt voor de standaard afwijking van F:

$$\sigma(F) = \sqrt{\sum_{i=1}^5 (\frac{\delta F}{\delta X_i} \cdot \sigma_i)^2} = \sqrt{1,85 \cdot 10^{-3}} = 0,043 \text{ kgCl}^-/\text{m}^3.$$

Voor het gemiddelde van F hadden we reeds gevonden:

$$\mu(F) = \text{Cl}^-_{\text{toel.}} - 0,305 \text{ kgCl}^-/\text{m}^3.$$

Voor het chloridegehalte dat met een kans van 5 % overschreden wordt vinden we:

$$\beta(F) = 1,645,$$

$$\text{via de relatie } \beta(F) = \frac{\mu(F)}{\sigma(F)}, \text{ volgt } 1,645 = \frac{\text{Cl}^- - 0,305}{0,043}.$$

Uitwerking hiervan levert het chloridegehalte:

$$\text{Cl}^- = \underline{0,376} \text{ kg/m}^3.$$

Voor het chloridegehalte dat met een kans van 10 % overschreden wordt vinden we:

$$\beta(F) = 1,28,$$

$$\text{via de relatie } \beta(F) = \frac{\mu(F)}{\sigma(F)}, \text{ volgt } 1,28 = \frac{\text{Cl}^- - 0,305}{0,043}.$$

Uitwerking hiervan levert het chloridegehalte:

$$\text{Cl}^- = \underline{0,360} \text{ kg/m}^3.$$

Extra doorspoeldebiet, QVKD = 50 m³/sec.

X_i	$\frac{\delta F}{\delta X_i}$	σ_i	$(\frac{\delta F}{\delta X_i} \cdot \sigma_i)^2$
QA	$2,91 \cdot 10^{-4}$	10	$8,5 \cdot 10^{-6}$
QSS	$1,18 \cdot 10^{-3}$	3,3	$15,2 \cdot 10^{-6}$
Y	0,0121	1,4	$287,0 \cdot 10^{-6}$
Z	0,7831	0,045	$1241,8 \cdot 10^{-6}$
CSS	0,0121	0,35	$17,9 \cdot 10^{-6}$
			$\sum_{i=1}^5 (\frac{\delta F}{\delta X_i} \cdot \sigma_i)^2 = 157 \cdot 10^{-3}$

Er volgt voor de standaard afwijking van F:

$$\sigma(F) = \sqrt{\sum_{i=1}^5 (\frac{\delta F}{\delta X_i} \cdot \sigma_i)^2} = \sqrt{157 \cdot 10^{-3}} = 0,04 \text{ kgCl}^-/\text{m}^3.$$

Voor het gemiddelde van F hadden we reeds gevonden:

$$\mu(F) = \text{Cl}^-_{\text{toel.}} - 0,263 \text{ kgCl}^-/\text{m}^3.$$

Voor het chloridegehalte dat met een kans van 5 % overschreden wordt vinden we:

$$\beta(F) = 1,645,$$

via de relatie $\beta(F) = \frac{\mu(F)}{\sigma(F)}$, volgt $1,645 = \frac{\text{Cl}^- - 0,263}{0,04}$.

Uitwerking hiervan levert het chloridegehalte:

$$\text{Cl}^- = \underline{0,329} \text{ kg/m}^3.$$

Voor het chloridegehalte dat met een kans van 10 % overschreden wordt vinden we:

$$\beta(F) = 1,28,$$

via de relatie $\beta(F) = \frac{\mu(F)}{\sigma(F)}$, volgt $1,28 = \frac{\text{Cl}^- - 0,263}{0,04}$.

Uitwerking hiervan levert het chloridegehalte:

$$\text{Cl}^- = \underline{0,314} \text{ kg/m}^3.$$

Extra doorspoeldebiet, QVKD = $100 \text{ m}^3/\text{sec}$.

X_i	$\frac{\delta F}{\delta X_i}$	σ_i	$(\frac{\delta F}{\delta X_i} \cdot \sigma_i)^2$
QA	$1,80 \cdot 10^{-3}$	10	$0,32 \cdot 10^{-3}$
QSS	$4,61 \cdot 10^{-4}$	3,3	$0,002 \cdot 10^{-3}$
Y	0,0077	1,4	$0,12 \cdot 10^{-3}$
Z	0,8647	0,045	$1,51 \cdot 10^{-3}$
CSS	0,0077	0,35	$0,007 \cdot 10^{-3}$

$$\sum_{i=1}^5 (\frac{\delta F}{\delta X_i} \cdot \sigma_i)^2 = 1,96 \cdot 10^{-3}$$

Er volgt voor de standaard afwijking van F:

$$\sigma(F) = \sqrt{\sum_{i=1}^5 (\frac{\delta F}{\delta X_i} \cdot \sigma_i)^2} = \sqrt{1,96 \cdot 10^{-3}} = 0,044 \text{ kgCl}^-/\text{m}^3.$$

Voor het gemiddelde van F hadden we reeds gevonden:

$$\mu(F) = \text{Cl}^-_{\text{toel.}} - 0,226 \text{ kgCl}^-/\text{m}^3.$$

Voor het chloridegehalte dat met een kans van 5 % overschreden wordt vinden we:

$$\beta(F) = 1,645,$$

$$\text{via de relatie } \beta(F) = \frac{\mu(F)}{\sigma(F)}, \text{ volgt } 1,645 = \frac{\text{Cl}^- - 0,226}{0,044}.$$

Uitwerking hiervan levert het chloridegehalte:

$$\text{Cl}^- = 0,298 \text{ kg/m}^3.$$

Voor het chloridegehalte dat met een kans van 10 % overschreden wordt vinden we:

$$\beta(F) = 1,28,$$

$$\text{via de relatie } \beta(F) = \frac{\mu(F)}{\sigma(F)}, \text{ volgt } 1,28 = \frac{\text{Cl}^- - 0,226}{0,044}.$$

Uitwerking hiervan levert het chloridegehalte:

$$\text{Cl}^- = 0,282 \text{ kg/m}^3.$$

Extra doorspoeldebiet, QVKD = $130 \text{ m}^3/\text{sec}$.

X_i	$\frac{\delta F}{\delta X_i}$	σ_i	$(\frac{\delta F}{\delta X_i} \cdot \sigma_i)^2$
QA	$2,28 \cdot 10^{-5}$	10	$0,52 \cdot 10^{-3}$
QSS	$3,07 \cdot 10^{-4}$	3,3	$0,001 \cdot 10^{-3}$
Y	0,0061	1,4	$0,07 \cdot 10^{-3}$
Z	0,0096	0,045	$1,60 \cdot 10^{-3}$
CSS	0,0061	0,35	$0,005 \cdot 10^{-3}$

$$\sum_{i=1}^5 (\frac{\delta F}{\delta X_i} \cdot \sigma_i)^2 = 2,2 \cdot 10^{-3}$$

Er volgt voor de standaard afwijking van F:

$$\sigma(F) = \sqrt{\sum_{i=1}^5 (\frac{\delta F}{\delta X_i} \cdot \sigma_i)^2} = \sqrt{2,2 \cdot 10^{-3}} = 0,047 \text{ kgCl}^-/\text{m}^3.$$

Voor het gemiddelde van F hadden we reeds gevonden:

$$\mu(F) = \text{Cl}^-_{\text{toel.}} - 0,215 \text{ kgCl}^-/\text{m}^3.$$

Voor het chloridegehalte dat met een kans van 5 % overschreden wordt vinden we:

$$\beta(F) = 1,645,$$

via de relatie $\beta(F) = \frac{\mu(F)}{\sigma(F)}$, volgt $1,645 = \frac{\text{Cl}^- - 0,215}{0,047}$.

Uitwerking hiervan levert het chloridegehalte:

$$\text{Cl}^- = \underline{0,292} \text{ kg/m}^3.$$

Voor het chloridegehalte dat met een kans van 10 % overschreden wordt vinden we:

$$\beta(F) = 1,28,$$

via de relatie $\beta(F) = \frac{\mu(F)}{\sigma(F)}$, volgt $1,28 = \frac{\text{Cl}^- - 0,215}{0,047}$.

Uitwerking hiervan levert het chloridegehalte:

$$\text{Cl}^- = \underline{0,275} \text{ kg/m}^3.$$

Extra doorspoeldebiet, QVKD = 0 m³/sec.

X_i	$\frac{\delta F}{\delta X_i}$	σ_i	$(\frac{\delta F}{\delta X_i} \cdot \sigma_i)^2$
QA	$-5,85 \cdot 10^{-3}$	10	$3,42 \cdot 10^{-3}$
QSS	$11,62 \cdot 10^{-3}$	3,3	$1,47 \cdot 10^{-3}$
Y	0,0303	1,4	$1,80 \cdot 10^{-3}$
Z	0,4545	0,045	$0,42 \cdot 10^{-3}$
CSS	0,0303	0,8	$0,59 \cdot 10^{-3}$

$$\sum_{i=1}^5 (\frac{\delta F}{\delta X_i} \cdot \sigma_i)^2 = 7,7 \cdot 10^{-3}$$

Er volgt voor de standaard afwijking van F:

$$\sigma(F) = \sqrt{\sum_{i=1}^5 (\frac{\delta F}{\delta X_i} \cdot \sigma_i)^2} = \sqrt{7,7 \cdot 10^{-3}} = 0,088 \text{ kgCl}^-/\text{m}^3.$$

Voor het gemiddelde van F hadden we reeds gevonden:

$$\mu(F) = \text{Cl}^-_{\text{toel.}} - 0,548 \text{ kgCl}^-/\text{m}^3.$$

Voor het chloridegehalte dat met een kans van 5 % overschreden wordt vinden we:

$$\beta(F) = 1,645,$$

via de relatie $\beta(F) = \frac{\mu(F)}{\sigma(F)}$, volgt $1,645 = \frac{\text{Cl}^- - 0,548}{0,088}$.

Uitwerking hiervan levert het chloridegehalte:

$$\text{Cl}^- = \underline{0,693} \text{ kg/m}^3.$$

Voor het chloridegehalte dat met een kans van 10 % overschreden wordt vinden we:

$$\beta(F) = 1,28,$$

via de relatie $\beta(F) = \frac{\mu(F)}{\sigma(F)}$, volgt $1,28 = \frac{\text{Cl}^- - 0,548}{0,088}$.

Uitwerking hiervan levert het chloridegehalte:

$$\text{Cl}^- = \underline{0,661} \text{ kg/m}^3.$$

Extra doorspoeldebiet, QVKD = 25 m³/sec.

X_i	$\frac{\delta F}{\delta X_i}$	σ_i	$(\frac{\delta F}{\delta X_i} \cdot \sigma_i)^2$
QA	$-1,46 \cdot 10^{-3}$	10	$0,21 \cdot 10^{-3}$
QSS	$3,76 \cdot 10^{-3}$	3,3	$0,15 \cdot 10^{-3}$
Y	0,0172	1,4	$0,58 \cdot 10^{-3}$
Z	0,6897	0,045	$0,96 \cdot 10^{-3}$
CSS	0,0172	0,8	$0,19 \cdot 10^{-3}$

$$\sum_{i=1}^5 (\frac{\delta F}{\delta X_i} \cdot \sigma_i)^2 = 2,09 \cdot 10^{-3}$$

Er volgt voor de standaard afwijking van F:

$$\sigma(F) = \sqrt{\sum_{i=1}^5 (\frac{\delta F}{\delta X_i} \cdot \sigma_i)^2} = \sqrt{2,09 \cdot 10^{-3}} = 0,046 \text{ kgCl}^-/\text{m}^3.$$

Voor het gemiddelde van F hadden we reeds gevonden:

$$\mu(F) = \text{Cl}^-_{\text{toel.}} - 0,383 \text{ kgCl}^-/\text{m}^3.$$

Voor het chloridegehalte dat met een kans van 5 % overschreden wordt vinden we:

$$\beta(F) = 1,645,$$

via de relatie $\beta(F) = \frac{\mu(F)}{\sigma(F)}$, volgt $1,645 = \frac{\text{Cl}^- - 0,383}{0,046}$.

Uitwerking hiervan levert het chloridegehalte:

$$\text{Cl}^- = \underline{0,459} \text{ kg/m}^3.$$

Voor het chloridegehalte dat met een kans van 10 % overschreden wordt vinden we:

$$\beta(F) = 1,28,$$

via de relatie $\beta(F) = \frac{\mu(F)}{\sigma(F)}$, volgt $1,28 = \frac{\text{Cl}^- - 0,383}{0,046}$.

Uitwerking hiervan levert het chloridegehalte:

$$\text{Cl}^- = \underline{0,442} \text{ kg/m}^3.$$

Extra doorspoeldebiet, QVKD = 50 m³/sec.

X_i	$\frac{\delta F}{\delta X_i}$	σ_i	$(\frac{\delta F}{\delta X_i} \cdot \sigma_i)^2$
QA	$2,91 \cdot 10^{-4}$	10	$8,5 \cdot 10^{-6}$
QSS	$1,84 \cdot 10^{-3}$	3,3	$36,87 \cdot 10^{-6}$
Y	0,0121	1,4	$287,0 \cdot 10^{-6}$
Z	0,7831	0,045	$1241,8 \cdot 10^{-6}$
CSS	0,0121	0,8	$93,7 \cdot 10^{-6}$

$$\sum_{i=1}^5 (\frac{\delta F}{\delta X_i} \cdot \sigma_i)^2 = 1,67 \cdot 10^{-3}$$

Er volgt voor de standaard afwijking van F:

$$\sigma(F) = \sqrt{\sum_{i=1}^5 (\frac{\delta F}{\delta X_i} \cdot \sigma_i)^2} = \sqrt{1,67 \cdot 10^{-3}} = 0,041 \text{ kgCl}^-/\text{m}^3.$$

Voor het gemiddelde van F hadden we reeds gevonden:

$$\mu(F) = \text{Cl}^-_{\text{toel.}} - 0,317 \text{ kgCl}^-/\text{m}^3.$$

Voor het chloridegehalte dat met een kans van 5 % overschreden wordt vinden we:

$$\beta(F) = 1,645,$$

via de relatie $\beta(F) = \frac{\mu(F)}{\sigma(F)}$, volgt $1,645 = \frac{\text{Cl}^- - 0,317}{0,041}$.

Uitwerking hiervan levert het chloridegehalte:

$$\text{Cl}^- = \underline{0,384} \text{ kg/m}^3.$$

Voor het chloridegehalte dat met een kans van 10 % overschreden wordt vinden we:

$$\beta(F) = 1,28,$$

via de relatie $\beta(F) = \frac{\mu(F)}{\sigma(F)}$, volgt $1,28 = \frac{\text{Cl}^- - 0,317}{0,041}$.

Uitwerking hiervan levert het chloridegehalte:

$$\text{Cl}^- = \underline{0,369} \text{ kg/m}^3.$$

Extra doorspoeldebiet, QVKD = 100 m³/sec.

X_i	$\frac{\delta F}{\delta X_i}$	σ_i	$(\frac{\delta F}{\delta X_i} \cdot \sigma_i)^2$
QA	$1,80 \cdot 10^{-3}$	10	$0,32 \cdot 10^{-3}$
QSS	$7,15 \cdot 10^{-4}$	3,3	$0,006 \cdot 10^{-3}$
Y	0,0077	1,4	$0,12 \cdot 10^{-3}$
Z	0,0647	0,045	$1,51 \cdot 10^{-3}$
CSS	0,0077	0,8	$0,04 \cdot 10^{-3}$

$$\sum_{i=1}^5 (\frac{\delta F}{\delta X_i} \cdot \sigma_i)^2 = 2,0 \cdot 10^{-3}$$

Er volgt voor de standaard afwijking van F:

$$\sigma(F) = \sqrt{\sum_{i=1}^5 (\frac{\delta F}{\delta X_i} \cdot \sigma_i)^2} = \sqrt{2,0 \cdot 10^{-3}} = 0,045 \text{ kgCl}^-/\text{m}^3.$$

Voor het gemiddelde van F hadden we reeds gevonden:

$$\mu(F) = \text{Cl}^-_{\text{toel.}} - 0,260 \text{ kgCl}^-/\text{m}^3.$$

Voor het chloridegehalte dat met een kans van 5 % overschreden wordt vinden we:

$$\beta(F) = 1,645,$$

$$\text{via de relatie } \beta(F) = \frac{\mu(F)}{\sigma(F)}, \text{ volgt } 1,645 = \frac{\text{Cl}^- - 0,260}{0,045}.$$

Uitwerking hiervan levert het chloridegehalte:

$$\text{Cl}^- = \underline{0,334} \text{ kg/m}^3.$$

Voor het chloridegehalte dat met een kans van 10 % overschreden wordt vinden we:

$$\beta(F) = 1,28,$$

$$\text{via de relatie } \beta(F) = \frac{\mu(F)}{\sigma(F)}, \text{ volgt } 1,28 = \frac{\text{Cl}^- - 0,260}{0,045}.$$

Uitwerking hiervan levert het chloridegehalte:

$$\text{Cl}^- = \underline{0,318} \text{ kg/m}^3.$$

Extra doorspoeldebiet, QVKD = 130 m³/sec.

X_i	$\frac{\delta F}{\delta X_i}$	σ_i	$(\frac{\delta F}{\delta X_i} \cdot \sigma_i)^2$
QA	$2,28 \cdot 10^{-3}$	10	$0,52 \cdot 10^{-3}$
QSS	$4,76 \cdot 10^{-4}$	3,3	$0,002 \cdot 10^{-3}$
Y	0,0061	1,4	$0,07 \cdot 10^{-3}$
Z	0,0096	0,045	$1,60 \cdot 10^{-3}$
CSS	0,0061	0,8	$0,02 \cdot 10^{-3}$

$$\sum_{i=1}^5 (\frac{\delta F}{\delta X_i} \cdot \sigma_i)^2 = 2,19 \cdot 10^{-3}$$

Er volgt voor de standaard afwijking van F:

$$\sigma(F) = \sqrt{\sum_{i=1}^5 (\frac{\delta F}{\delta X_i} \cdot \sigma_i)^2} = \sqrt{2,19 \cdot 10^{-3}} = 0,047 \text{ kgCl}^-/\text{m}^3.$$

Voor het gemiddelde van F hadden we reeds gevonden:

$$\mu(F) = \text{Cl}^-_{\text{toel.}} - 0,242 \text{ kgCl}^-/\text{m}^3.$$

Voor het chloridegehalte dat met een kans van 5 % overschreden wordt vinden we:

$$\beta(F) = 1,645,$$

$$\text{via de relatie } \beta(F) = \frac{\mu(F)}{\sigma(F)}, \text{ volgt } 1,645 = \frac{\text{Cl}^- - 0,242}{0,047}.$$

Uitwerking hiervan levert het chloridegehalte:

$$\text{Cl}^- = \underline{0,319} \text{ kg/m}^3.$$

Voor het chloridegehalte dat met een kans van 10 % overschreden wordt vinden we:

$$\beta(F) = 1,28,$$

$$\text{via de relatie } \beta(F) = \frac{\mu(F)}{\sigma(F)}, \text{ volgt } 1,28 = \frac{\text{Cl}^- - 0,242}{0,047}.$$

Uitwerking hiervan levert het chloridegehalte:

$$\text{Cl}^- = \underline{0,302} \text{ kg/m}^3.$$

TABEL 2.

Randvoorwaarden water- en chloridebalansberekeningen
volgens lit. 6 en volgens bijlage 6

	Serie 1 *)		Serie 2		Serie 3		Serie 4		Serie 5	
	Oude berekening (lit. 6)		Zonder terugw. zoetwater gem. prognose		50% terugw. zoetwater gem. prognose		50% terugw. zoetwater min. prognose		50% terugw. zoetwater max. prognose	
	Qs (m ³ /s)	K (kgCl/s)	Qs	K	Qs	K	Qs	K	Qs	K
Philipsdam- sluizen (3) } Jachtensluis Philipsdam	25	8,4	20,5	3,5	10,4	22,8	10,4	16,2	10,4	32,5
Oesterdam			0,4	0,1	0,4	0,1	0,4	0,1	0,4	0,1
Krekrak- sluizen (2)	2	0,4	0,9	0,2	0,9	0,2	0,9	0,2	0,9	0,3
	20	5	17,4	0,4	8,1	9,7	8,1	3,2	8,1	16,2
Totaal Zoommeer	47	13,8	39,2	4,2	19,8	32,8	19,8	19,7	19,8	49,1
Resultaten	bijlage 8		bijlage 9		bijlage 10		bijlage 11		bijlage 12	

*) Elke serie bestaat uit 4 berekeningen, te weten een water- en chloridebalansberekening per decade over de periode 1933 tot en met 1974 met een extra continu doorspoel-debiet via de Volkeraksluizen van 0, 25, 50 en 100 m³/s.

Rijkswaterstaat, serie 2 berekeningen.

(zoutlast schutsluizen = $4,2 \frac{\text{kgCl}^-}{\text{sec}}$.)

Verhoudingsgetallen:

Doorspoeldebiet QVK_D ($\frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$):	0	25	50	100
Vak 1:	21	25	28	30
Vak 11:	30	32	32	32
Vak 111:	49	43	40	38

Overschrijdingsfrequentie 50%:

$QVK_D = 0 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$	$Cl_{\text{meer}}^- = 412 \frac{\text{gr}}{\text{m}^3}$	$Cl_{\text{1}}^- = 307 \frac{\text{gr}}{\text{m}^3}$
		$Cl_{\text{11}}^- = 438$
		$Cl_{\text{111}}^- = 715$
$QVK_D = 25$	$Cl_{\text{meer}}^- = 305$	$Cl_{\text{1}}^- = 252$
		$Cl_{\text{11}}^- = 322$
		$Cl_{\text{111}}^- = 433$
$QVK_D = 50$	$Cl_{\text{meer}}^- = 263$	$Cl_{\text{1}}^- = 236$
		$Cl_{\text{11}}^- = 270$
		$Cl_{\text{111}}^- = 337$
$QVK_D = 100$	$Cl_{\text{meer}}^- = 226$	$Cl_{\text{1}}^- = 213$
		$Cl_{\text{11}}^- = 228$
		$Cl_{\text{111}}^- = 270$
$QVK_D = 130$	$Cl_{\text{meer}}^- = 215$	$Cl_{\text{1}}^- = 203$
		$Cl_{\text{11}}^- = 217$
		$Cl_{\text{111}}^- = 257$

Overschrijdingsfrequentie 5%:

$QVK_D = 0 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$	$Cl_{\text{meer}}^- = 544 \frac{\text{gr}}{\text{m}^3}$	$Cl_{\text{1}}^- = 405 \frac{\text{gr}}{\text{m}^3}$
		$Cl_{\text{11}}^- = 578$
		$Cl_{\text{111}}^- = 944$
$QVK_D = 25$	$Cl_{\text{meer}}^- = 376$	$Cl_{\text{1}}^- = 310$
		$Cl_{\text{11}}^- = 397$
		$Cl_{\text{111}}^- = 534$
$QVK_D = 50$	$Cl_{\text{meer}}^- = 329$	$Cl_{\text{1}}^- = 296$
		$Cl_{\text{11}}^- = 338$
		$Cl_{\text{111}}^- = 422$

(vervolg, serie 2 berekeningen RWS.)

$QVK_D = 100 \frac{m^3}{sec}$	$Cl_{meer}^- = 298 \frac{gr}{m^3}$	$Cl_1^- = 282 \frac{gr}{m^3}$
		$Cl_{11}^- = 300$
		$Cl_{111}^- = 357$
$QVK_D = 130$	$Cl_{meer}^- = 292$	$Cl_1^- = 276$
		$Cl_{11}^- = 294$
		$Cl_{111}^- = 349$

Rijkswaterstaat, serie 1 berekeningen.

(zoutlast schutsluizen = $9 \frac{kgCl^-}{sec}$.)

Verhoudingsgetallen:

Doorspoeldebiet QVK_D ($\frac{m^3}{sec}$):	0	25	50	100
Vak 1:	16	19	22	25
Vak :	30	32	32	34
Vak 111:	55	49	45	41

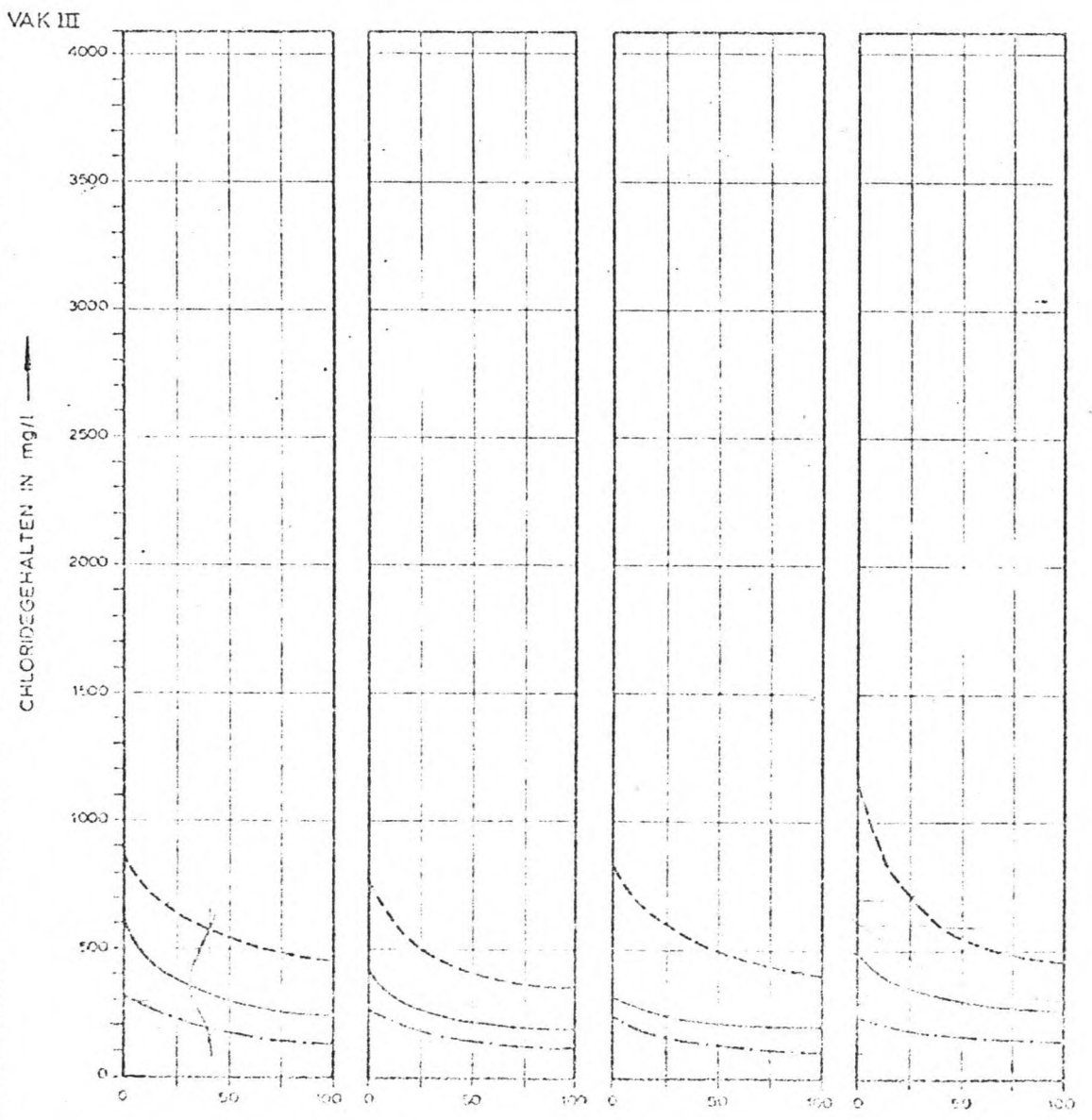
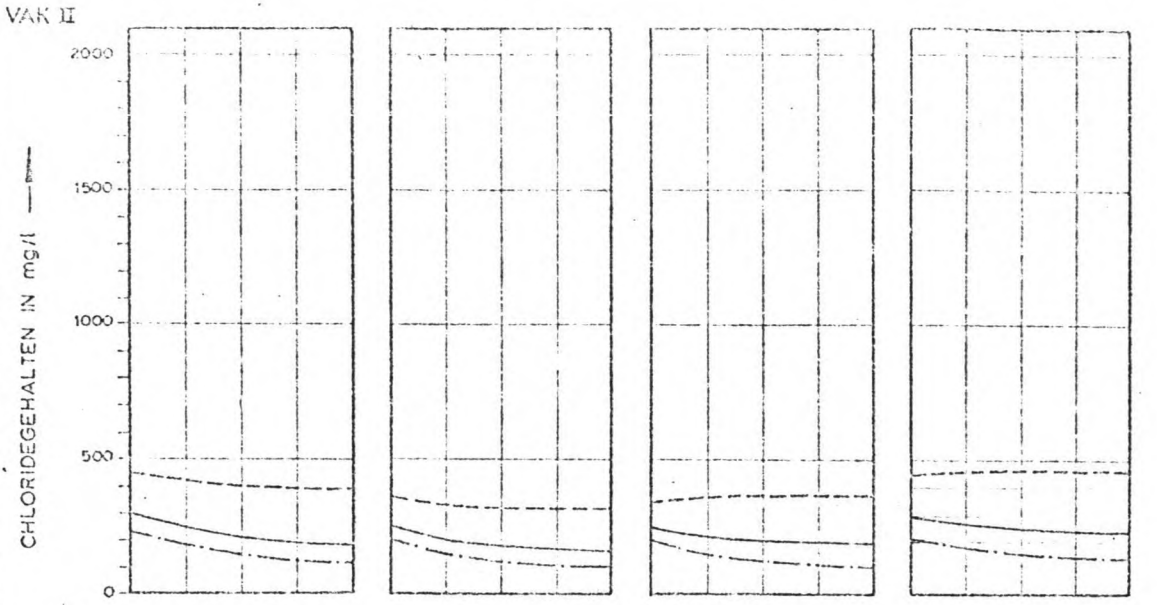
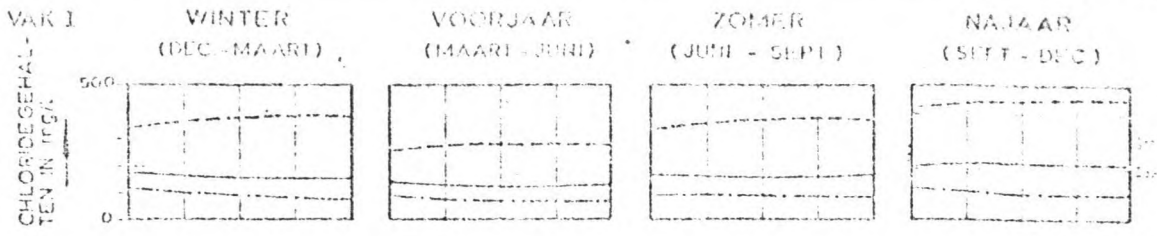
Overschrijdingsfrequentie 50%:

$QVK_D = 0 \frac{m^3}{sec}$	$Cl_{meer}^- = 548 \frac{gr}{m^3}$	$Cl_1^- = 344 \frac{gr}{m^3}$
		$Cl_{11}^- = 644$
		$Cl_{111}^- = 1181$
$QVK_D = 25$	$Cl_{meer}^- = 383$	$Cl_1^- = 255$
		$Cl_{11}^- = 430$
		$Cl_{111}^- = 658$
$QVK_D = 50$	$Cl_{meer}^- = 317$	$Cl_1^- = 238$
		$Cl_{11}^- = 346$
		$Cl_{111}^- = 487$
$QVK_D = 100$	$Cl_{meer}^- = 260$	$Cl_1^- = 209$
		$Cl_{11}^- = 284$
		$Cl_{111}^- = 342$
$QVK_D = 130$	$Cl_{meer}^- = 242$	$Cl_1^- = 199$
		$Cl_{11}^- = 264$
		$Cl_{111}^- = 318$

(vervolg; serie 1 berekeningen RWS.)

Overschrijdingsfrequentie 5%:

$QVK_D = 0$	$\frac{m^3}{sec}$	$Cl_{meer}^- = 693$	$\frac{gr}{m^3}$	$Cl_1^- = 434$	$\frac{gr}{m^3}$
				$Cl_{11}^- = 815$	
				$Cl_{111}^- = 1493$	
$QVK_D = 25$		$Cl_{meer}^- = 495$		$Cl_1^- = 330$	
				$Cl_{11}^- = 555$	
				$Cl_{111}^- = 851$	
$QVK_D = 50$		$Cl_{meer}^- = 384$		$Cl_1^- = 288$	
				$Cl_{11}^- = 419$	
				$Cl_{111}^- = 589$	
$QVK_D = 100$		$Cl_{meer}^- = 334$		$Cl_1^- = 268$	
				$Cl_{11}^- = 364$	
				$Cl_{111}^- = 439$	
$QVK_D = 130$		$Cl_{meer}^- = 319$		$Cl_1^- = 261$	
				$Cl_{11}^- = 348$	
				$Cl_{111}^- = 420$	



DOOR DOELLIJKE... IN...

BEREKENING SERIE 2

LEGENDA

— MAXIMUM

- - - - - GEMIDDELD

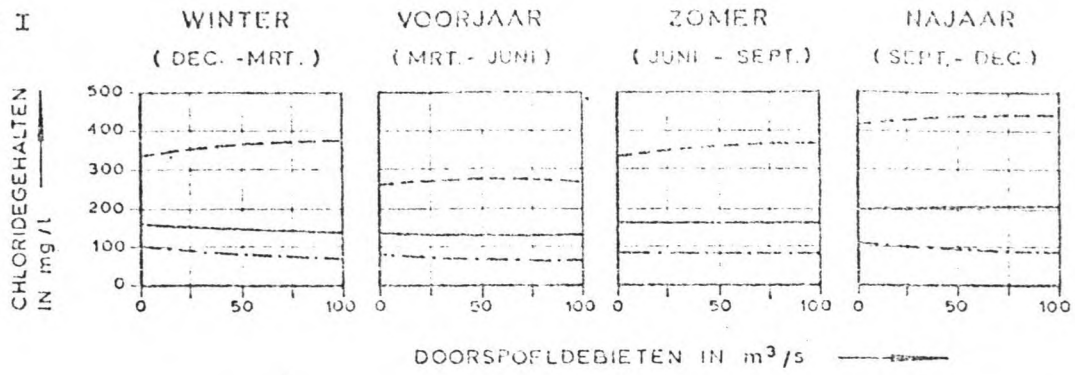
... MINIMUM

MAXIMUM, GEMIDDELDE EN MINIMUM CHLORIDEGEHALTEN
(DECADEGEMIDDELLEN PER VAK) OVER DE PERIODE 1933-1974
ALS FUNCTIE VAN HET CONTINUÛ EXTRA DOORPELDEPT

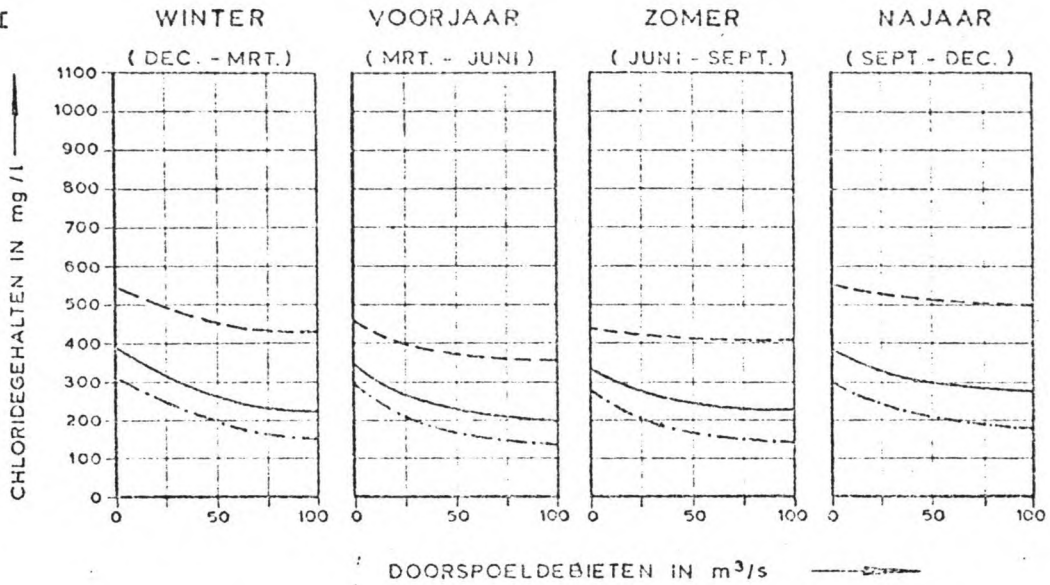
rijkswaterstaats
directie waterhuishouding en waterbeweging
district noordwest

991 610 8 3 1000 nr. 24.001.10
nr. 11660 nr. 2

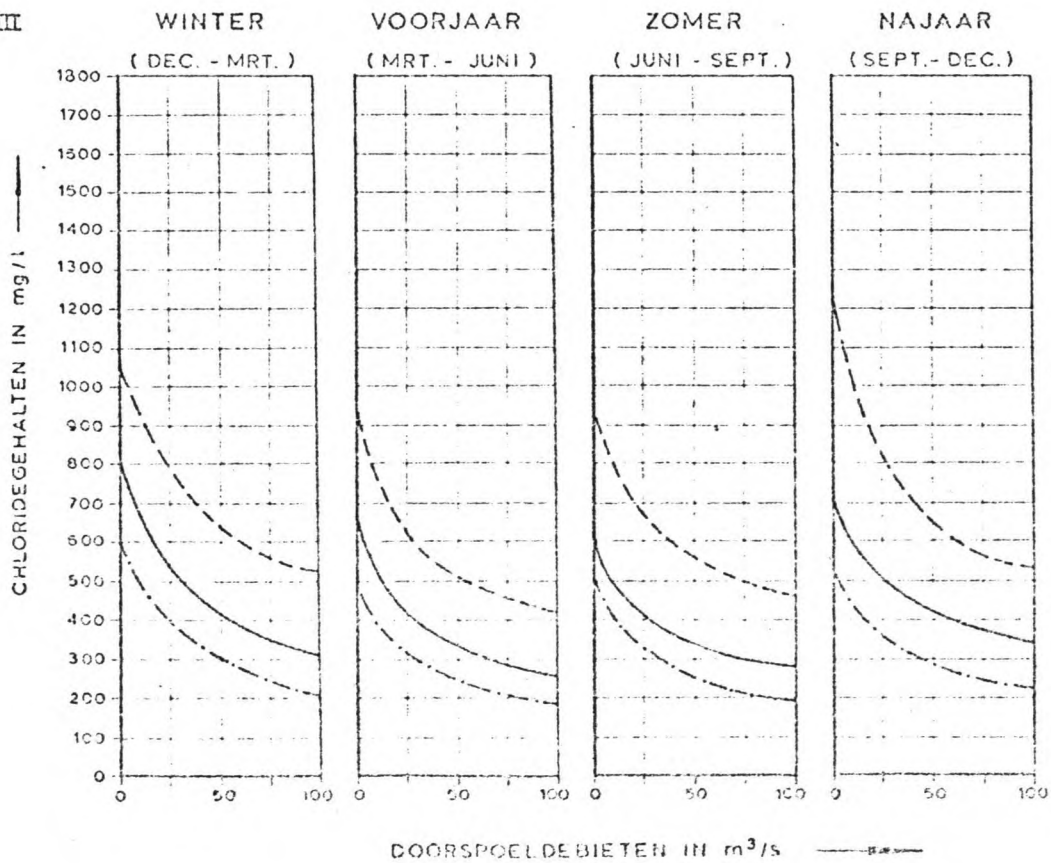
VAK I



VAK II



VAK III



MAXIMUM, GEMIDDELTE EN MINIMUM CHLORIDEGEHALTEN
(DECADEGEMIDDELDEN PER VAK) OVER DE PERIODE 1933 - 1974
ALS FUNCTIE VAN HET CONTINU EXTRA DOORSPOELDEBIET

rijswaterstof
directe waterbehandeling en waterbeweging
district zuidwest

get. nr. 24.001.15
din a 3
nr. 2
bijlage nr. 2

BEREKENING SERIE 1

LEGENDA:
- - - - - MAXIMUM
- - - - - GEMIDDELD
- - - - - MINIMUM

