

1982 D60



TECHNISCHE HOGESCHOOL DELFT  
AFDELING DER CIVIELE TECHNIEK  
VAKGROEP WATERBOUWKUNDE

---



VAKGROEP  
WATERBOUWKUNDE  
Afd. Civiele Techniek  
TH Delft

PROBABILISTISCHE ANALYSE  
VOOR HET LOZINGSMIDDEL BIJ BATH

P. Struik

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

Afstudeer-hoogleraar: Prof. ir. A. Glerum  
Afstudeer-begeleider: Ir. H. Abbenhuis

Delft,  
oktober 1982



## INHOUD

	Inleiding	
	Samenvatting	blz.
1	De Deltawerken	5
1.1	Het Deltaplan	5
1.2	Oosterscheldeproblematiek	10
1.3	De compartimenteringswerken	13
1.4	Zout versus zoet	19
1.5	Peil- en kwaliteitsbeheer Zoommeer; situering lozingsmiddel	25
1.6	Lozingsmiddel; het huidige ontwerp	28
2	Probabilistiek, algemeen	32
2.1	Risicoanalyse; gebeurtenissenboom, foutenboom	32
2.2	Probabilistische berekeningen	34
3	Beschrijving van het systeem	37
3.1	Het Zoommeer-systeem	37
3.2	Het lozingsmiddel-systeem	41
3.3	Het functioneren van het lozingsmiddel	46
4	De ongewenste topgebeurtenis	50
4.1	Definitie	50
4.2	De kop van de foutenboom	55
5	Uitgangssituatie en randvoorwaarden	56
5.1	De inhoud van vak III-zuid	56
5.2	Het chloridegehalte op vak III	58
5.3	Het chloridegehalte van het Westerschelde- water	59
6	Binnendringend Westerscheldewater	61
6.1	De hoeveelheid	61

6.2	Snelheid van het zoute water in het spuikanaal	64
6.2.1	Algemeen	64
6.2.2	Processen die een rol spelen	64
6.2.3	Berekeningen	67
6.3	Het al of niet optreden van de ongewenste topgebeurtenis	73
7	Gestremde lozing door de spuisluis	78
7.1	Hydrologische omstandigheden	78
7.2	De tijdsduur voordat de ongewenste topgebeurtenis optreedt	82
8	Foutenbomen	85
8.1	Algemeen	85
8.2	Foutenboom voor debiet vanaf de Westerschelde door de spuisluis	87
8.3	Foutenboom voorgestremde lozing door de spuisluis	91
9	De veiligheid tegen bezwijken van wachtdeuren en hefschuiven	93
9.1	Algemeen	93
9.2	Bepaling bezwijkkans wachtdeur, ten gevolge van waterdruk	99
9.2.1	Berekeningen Rijkswaterstaat	99
9.2.2	Probabilistische berekeningen voor de wachtdeur	102
9.2.2.1	Bezwijkkans afschuiving pen van de regel; Faalfunctie	102
9.2.2.2	Bezwijkkans afschuiving pen; gemiddelde waarde, eerste orde - tweede moment meth.	103
9.2.2.3	Bezwijken afschuiving pen; verfijnde methode	105
9.2.2.4	Bezwijken afschuiving pen; benaderende kansdichtheidsfunctie	108

9.2.2	Bezwijkkans van de regel ten gevolge van het buigend moment	112
9.2.3	Totale bezwijkkans van de wachtdeur ten gevolge van waterdruk	115
9.3	Kans op bezwijken van de hefschuif ten gevolge van waterdruk	116
9.3.1	Berekeningen Rijkswaterstaat	116
9.3.2	Probabilistische berekeningen voor het buigend moment op de schuif	118
9.3.3	Probabilistische berekeningen voor af afschuiving van de schuif	120
9.3.4	Bezwijkkans van de schuif ten gevolge van waterdruk	121
9.4	Bezwijken van de hefschuif door golfklappen	122
9.4.1	Algemeen	122
9.4.2	Het optreden van gevaarlijke golven	123
9.4.3	Het optreden van een golfklap	125
9.4.4	Belasting ten gevolge van golfklap	127
9.4.5	Kans op bezwijken van de schuif door golfklap	127
9.5	Bezwijken van deur of schuif ten gevolge van trillingen	128
9.5.1	Algemeen	128
9.5.2	Trillingsverschijnselen bij de schuif; Bezwijkkans	128
9.5.3	Trillingsverschijnselen bij de deur; Bezwijkkans	132
9.6	Bezwijken van deur of schuif ten gevolge van ijsbelasting	134
9.6.1	Algemeen	134
9.6.2	Het optreden van lage watertemperaturen	135
9.6.3	Bevriezingstemperatuur van het water	135
9.6.4	Gevolgen van ijsvorming	136
9.6.5	Veiligheidsventiel hydraulisch systeem faalt bij vorst	138
9.6.6	Gevolgen van falend ventiel bij vorst; Bezwijkkans schuif	139

9.7	Bezwijken van deur of schuif ten gevolge van falende opleggingen	140
10	Besturing/beheer van de spuisluis faalt	141
10.1	Automatische besturing faalt	141
10.1.1	Algemeen	141
10.1.2	Computerstoring en falen van het computerprogramma	141
10.1.3	Waterstandsmeting faalt	143
10.1.4	Verbinding computer-spuisluis faalt	144
10.2	Geen adequate reactie op storing	145
10.2.1	Algemeen	145
10.2.2	Reactie op het falen van een schuif	145
10.2.3	Reactie op het falen van de computer	147
11	Hydraulisch bewegingssysteem faalt	149
11.1	Algemeen	149
11.2	Falen hydraulisch systeem, bij sluiten van de schuif	151
12	Wachtdeur faalt	155
12.1	Algemeen	155
12.2	Obstakel tussen deur en aanslag	155
12.3	Tijwachter faalt	157
12.4	Vastvriezen van de deur	158
13	Geen maatregelen genomen nadat één koker gefaald heeft	159
13.1	Algemeen	159
13.2	Beheer faalt	161
13.3	Falende koker niet opgemerkt	163
13.4	Kans op niet-nemen van maatregelen bij één falende koker	164
14	Debiet via de overgangsconstructie damlichamen-damlichaam-spuisluisconstructie	165
14.1	Kwel in de normale situatie	165

14.2	Kwel bij opgetreden lekkages	169
14.2.1	Verkorte kwelwegen	169
14.2.2	Lek in beton- of voegconstructie	170
14.2.3	Lek in damwandschermen of in de aansluiting damwandscherm - betonconstructie	172
14.2.4	Debiet bij kwel door een lek	174
15	Kans op de ongewenste topgebeurtenis, door binnendringend Westerscheldewater	175
15.1	Algemeen	175
15.2	De gekwantificeerde foutenboom	176
16	Gestremde spuisluis	180
16.1	Algemeen	180
16.2	Schade aan damwandschermen	183
16.3	Fundering faalt	186
16.4	Het bezwijken van de betonconstructie	191
16.5	Schuiven of deuren openen niet	192
16.6	De gekwantificeerde foutenboom voor gestremde lozing	193
17	Discussie van de resultaten; conclusies	195

Literatuur

Bijlagen





## Inleiding

Deze studie is verricht als hoofdontwerp van het afstudeerwerk bij de vakgroep Waterbouwkunde van de Technische Hogeschool Delft, in het kader van de eindstudie voor civiel ingenieur.

Het onderwerp van de studie werd aangereikt door de Deltadienst van Rijkswaterstaat, waar men geïnteresseerd was in een analyse van het lozingsmiddel bij Bath. Het ontwerp van het lozingsmiddel was toen (maart 1982) reeds in een gevorderd stadium.

Het lozingsmiddel dient om water vanaf het Zoommeer af te voeren naar de Westerschelde. Wanneer de Oosterschelde door middel van dammen gecompartmenteerd zal zijn, is er achter deze dammen een randmeer ontstaan, het Zoommeer. Dit meer zal in de toekomst zoet zijn en een vast waterpeil hebben. Om zowel het waterpeil als de waterkwaliteit van het meer te kunnen beheren, wordt het lozingsmiddel bij Bath aangelegd, bestaande uit een spuikanaal en een spuisluis.

Nadat in een deelontwerp van het afstudeerwerk een faalkansanalyse is uitgevoerd voor de capaciteit van het lozingsmiddel, onder de veronderstelling dat het systeem naar behoren functioneert, wordt nu aandacht besteed aan de faalkans van het lozingsmiddel-systeem zelf. Hierbij bekijken we door welke oorzaken een ongewenste gebeurtenis -het optreden van een hoog chloridegehalte op het Zoommeer- veroorzaakt kan worden en hoe groot de kans van optreden van deze gebeurtenis is.

Bij het bepalen van deze kans wordt gebruik gemaakt van verschillende probabilistische technieken, zoals foutenbomen, gebeurtenissenbomen, probabilistische berekeningen en van frequentistische gegevens.

Door met behulp van frequentistische gegevens, probabilistische berekeningen en schattingen de optredens-  
kansen van de verschillende begingebourtenissen, die  
kunnen leiden tot het optreden van de ongewenste top-  
gebeurtenis, te bepalen, kunnen we, door substitutie  
in de foutenboom en doorrekenen hiervan, de optredens-  
kans van de ongewenste topgebeurtenis bepalen.

Tot slot van deze inleiding wil ik graag  
eenieder hartelijk danken die hulp heeft geboden bij  
de totstandkoming van dit afstudeerwerk, in het bijzonder  
de heren Abbenhuis, Agema, Glerum, Stuip en Vrijling  
van de Technische Hogeschool Delft, de heren Bakker,  
Bik, Bruggeman, Burger, Hamer en Zeeman van Rijkswater-  
staat, de heer Calle van het Laboratorium voor Grond-  
mechanica en de heer Otterloo van de KEMA.

Delft, oktober 1982

Peter Struik.

## Samenvatting

In het eerste hoofdstuk van dit rapport wordt aandacht besteed aan de historie van de Delta-werken en een algemene terreinverkenning uitgevoerd. De Oosterschelde-problematiek neemt hierbij een belangrijke plaats in; de discussie omtrent een open of een afgesloten bekken en de verschillende milieu-aspecten komen aan de orde. Dit mondt uit in een beschrijving van de compartimenteringswerken en van het Zoommeer. Tot slot van hoofdstuk 1 wordt het huidige ontwerp van het lozingsmiddel beschreven, zoals dat door Rijkswaterstaat is gemaakt. In de volgende hoofdstukken wordt uitgegaan van dit ontwerp.

In hoofdstuk 2 wordt aandacht besteed aan de probabilistische methoden waarvan gebruik zal worden gemaakt bij de uiteindelijke analyse van het lozingsmiddel. Foutenbomen, gebeurtenissenbomen en probabilistische berekeningen worden toegelicht.

In het volgende hoofdstuk wordt het systeem dat we gaan beschouwen nauwkeuriger beschreven. In de eerste plaats is dit het Zoommeer-systeem; in de toekomst een zoet meer met een vast waterpeil, waarbij het beheer van waterkwaliteit en -peil van belang is. In de tweede plaats wordt het lozingsmiddel-systeem beschreven, bestaande uit spuikanaal, de spuisluis met z'n onderdelen, bodembeschermingen e.d. Ook wordt het functioneren van de spuisluis nader beschouwd.

In de hoofdstukken 4 t/m 7 wordt aandacht besteed aan de ongewenste topgebeurtenis. Eerst wordt deze gedefiniëerd: 'Het optreden van een chloridegehalte groter dan 600 mg/ltr op een deel van het Zoommeer'. Het blijkt dat deze ongewenste topgebeurtenis op kan treden door het falen van het lozingsmiddel, op twee manieren: - Een binnendringend (zout) debiet vanaf de Westerschelde.

- Een gestremde lozing van de sluis.

Na een nadere beschrijving van de natuur-randvoorwaarden wordt nagegaan hoe groot de binnendringende hoeveelheid Westerschelde-water moet zijn voordat de ongewenste topgebeurtenis optreedt. Het blijkt dat het openstaan van 2 of meer kokers, gedurende 1 hoogwaterperiode op de Westerschelde, leidt tot een te hoog chloridegehalte op het Zoommeer. Ook het openstaan van 1 koker, tijdens meerdere hoogwaters, kan tot de topgebeurtenis leiden, mits er totaal geen maatregelen genomen worden door de beheerder.

Ook wordt nagegaan hoe langdurig en hoe omvangrijk de stremming van de sluis dient te zijn voordat dit de topgebeurtenis ten gevolg heeft. Dit blijkt in grote mate afhankelijk van de hydrologische omstandigheden.

Na het voorbereidende werk van de voorgaande hoofdstukken kan in hoofdstuk 8 de foutenboom voor het optreden van de ongewenste topgebeurtenis opgesteld worden. Hierin worden de gebeurtenissen die kunnen leiden tot deze ongewenste situatie schematisch weergegeven. Onderin de foutenboom vinden we dan de begingebourtenissen die de topgebeurtenis tot gevolg kunnen hebben. Door de kans op het optreden van deze begingebourtenissen te bepalen kunnen we uiteindelijk de kans op het optreden van de ongewenste topgebeurtenis bepalen.

In hoofdstuk 9 wordt de kans op falen of bezwijken van de hefschuiven en de wachtdeuren bepaald. Hierbij wordt aandacht besteed aan sterkte en belasting, waarvoor we via een probabilistische berekening op niveau II de bezwijkkans bepalen, maar ook aan het falen door ijsvorming, trillingen, golfklappen en falende opleggingen.

Hoofdstuk 10 gaat in op het falen van de besturing van de sluis. Volgens het lozingsprogramma worden, gedurende het laagwater op de Westerschelde, de benodigde schuiven geöpend. Wanneer de besturing faalt, kan het zijn dat deze schuiven niet dichtgaan bij het hoogwater, hetgeen kan leiden tot de ongewenste topgebeurtenis.

Nadat in de hoofdstukken 11 t/m 14 de kansen op het optreden van de andere begingebourtenissen bepaald zijn, zoals falend bewegingssysteem, niet-sluitende wachtdeur, falend beheer en debiet via de damwandschermen, kan in hoofdstuk 15 de eerder opgestelde foutenboom voor binnendringend Westerscheldewater gekwantificeerd worden. Na het invullen van de optredens-kansen van de begingebourtenissen kan de foutenboom van onder naar boven doorgerekend worden. Het resultaat is de optredenskans van de ongewenste topgebeurtenis door binnendringend Westerscheldewater.

In hoofdstuk 16 worden, iets beknopter, de begingebourtenissen die kunnen leiden tot een gestremde lozing, behandeld. De kansen op het optreden van de gebeurtenissen worden afgeschat, waarna ook de foutenboom voor gestremde lozing gekwantificeerd kan worden. Het resultaat is de optredenskans van de ongewenste topgebeurtenis door een gestremde lozing.

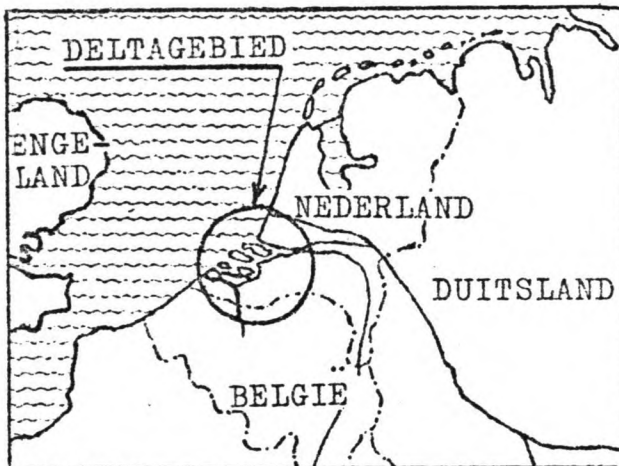
In hoofdstuk 17 worden de gevonden resultaten kritisch beschouwd. Tenslotte worden enige conclusies getrokken omtrent de faalkans van de spuisluis.

# 1 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.

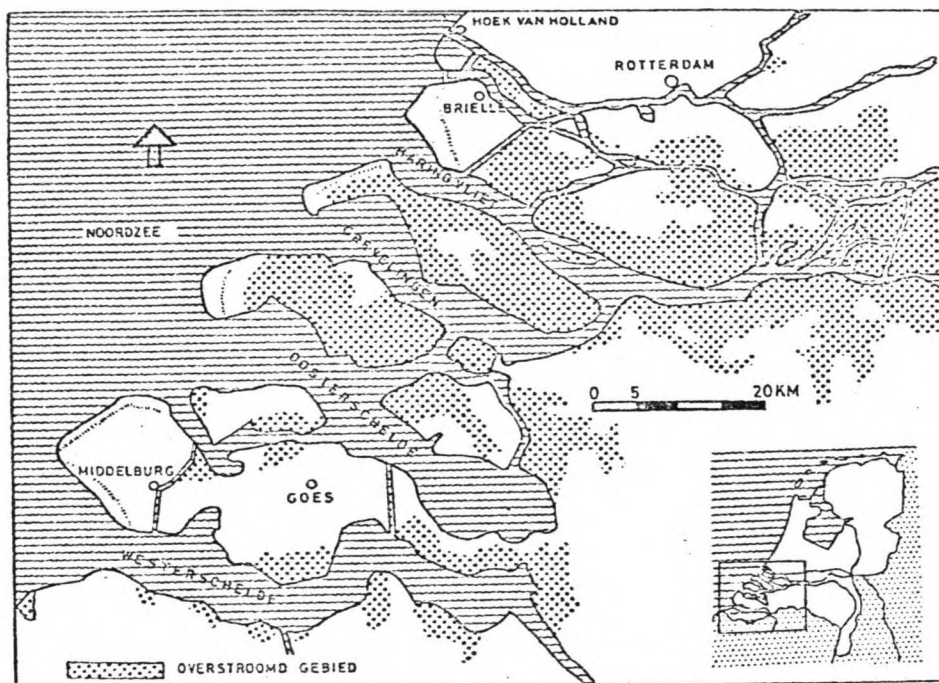


Figuur 1.1, Het Deltagebied.

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.



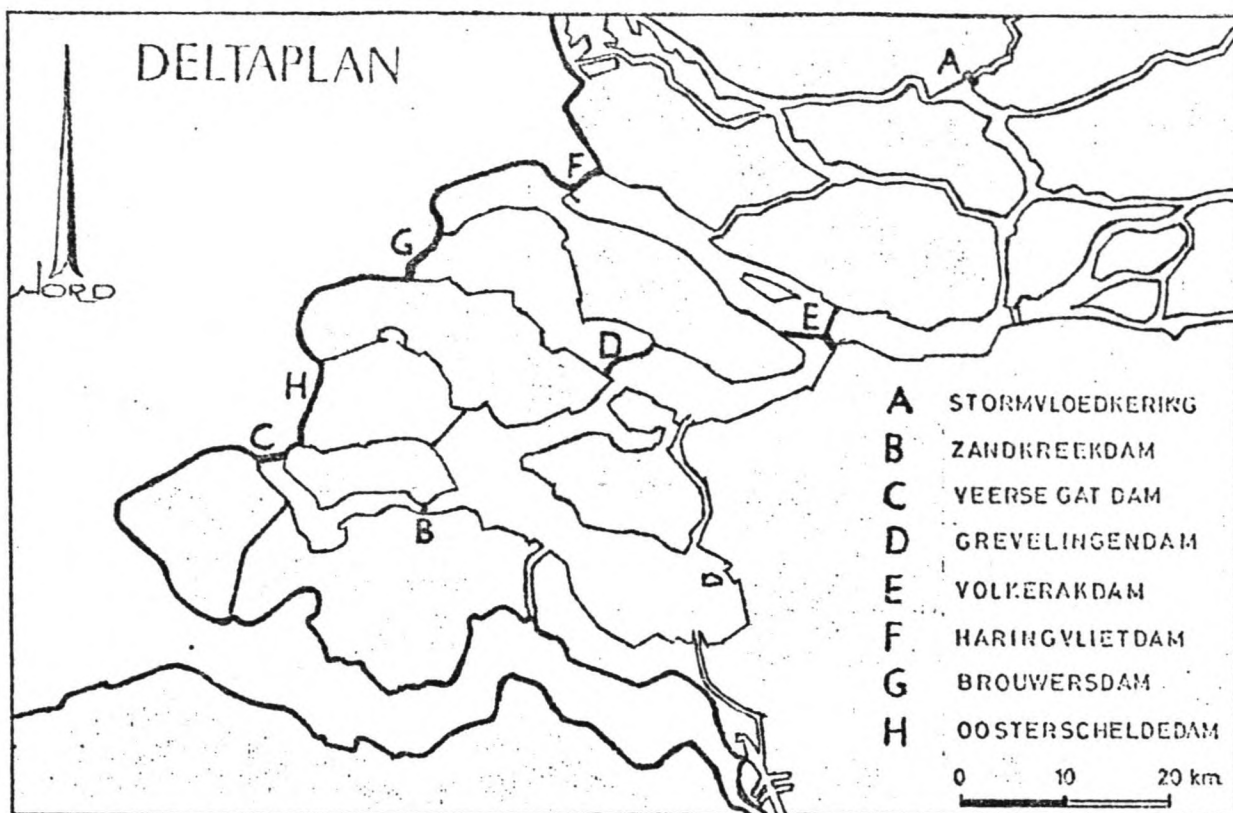
Na deze waternoedsramp was men zich nog sterker bewust van de noodzaak een beter verdediging van het Deltagebied tegen het zeewater te realiseren. Slechts enkele weken na de ramp werd door de toenmalige minister van Verkeer en Waterstaat de "Deltacommissie" ingesteld, bestaande uit een aantal waterbouwkundig 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 getijdebekkens 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 zeevering 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 Deltawerken 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 meer 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.

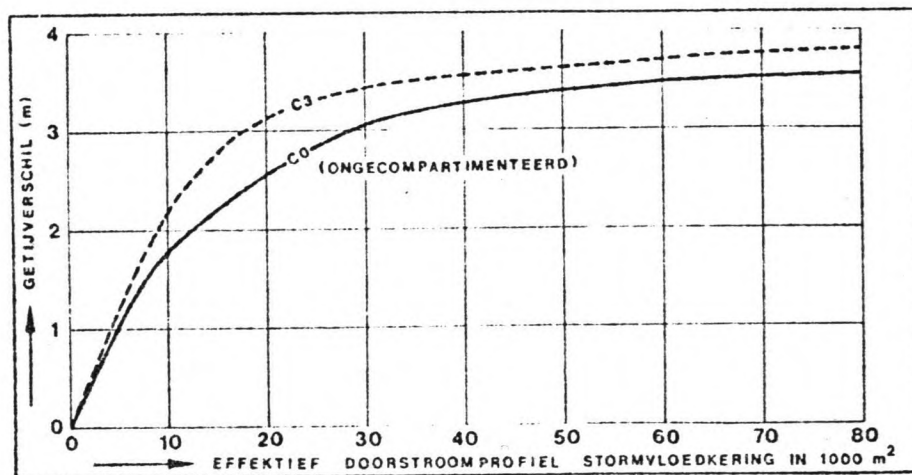
Uiteindelijk werd op 23 juni 1976 door de Tweede Kamer besloten tot de bouw van een stormvloedkering in de monding van de Oosterschelde. Deze stormvloedkering zal bestaan uit pijlers, met daartussen beweegbare schuiven die de openingen tussen de pijlers kunnen afsluiten. Onder normale weersomstandigheden 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  $14000 \text{ m}^2$ . 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.

- C<sub>0</sub> Oosterschelde ongecompartimenteerd,
- C<sub>3</sub> Oosterschelde gecompartimenteerd met Philipsdam en Oesterdam.

### 1.3 De compartimenteringswerken

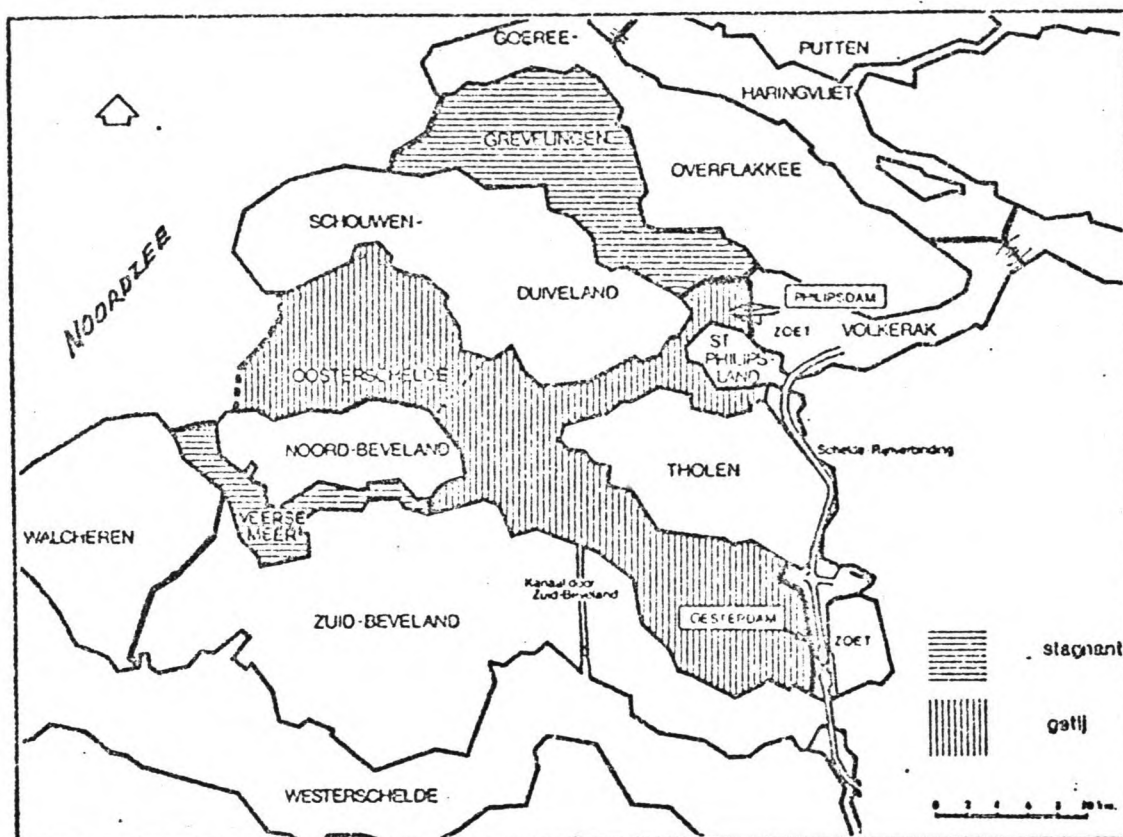
Reeds tijdens de studie van de Oosterschelde Commissie naar de mogelijkheden om de getij-invloed op de Oosterschelde te handhaven bleek het noodzakelijk het bekken daartoe te verdelen in een aantal compartimenten. In het westelijk compartiment zou dan de beweging van eb en vloed aanwezig blijven, terwijl 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.

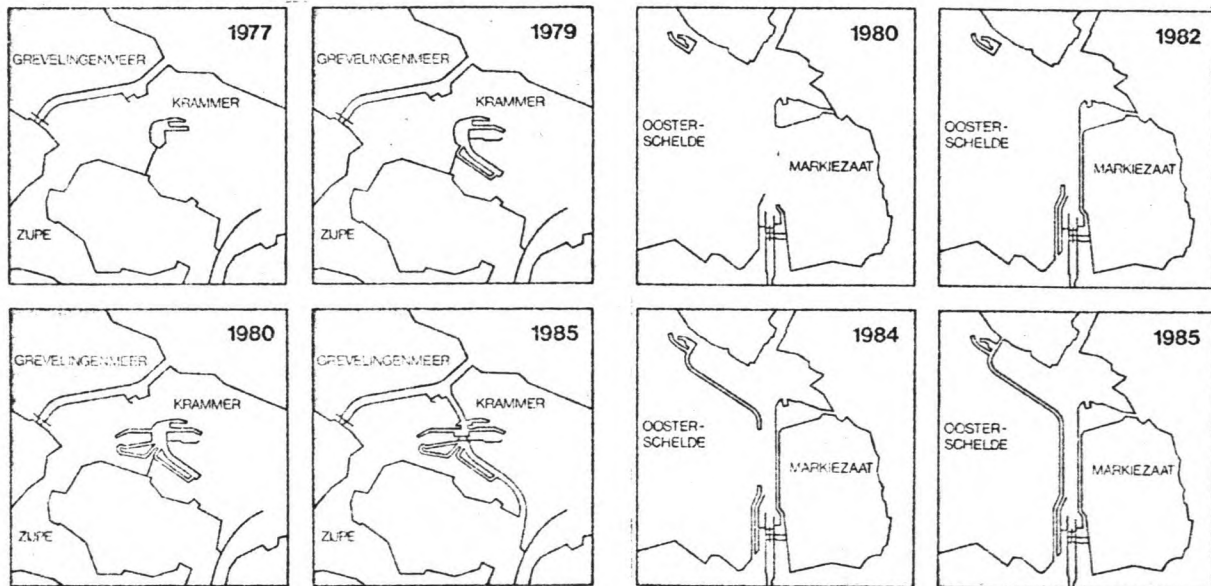
De aanleg van de Philipsdam en de Oesterdam hebben tot gevolg dat het oostelijk deel van het Oosterschelde-bekken, bestaande uit Volkerak, Eendracht en Markiezaat, afgescheiden worden van het getijdegebied. Deze delen zullen in de toekomst een zoet meer gaan vormen met een nagenoeg vast peil, het Zoommeer.

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.

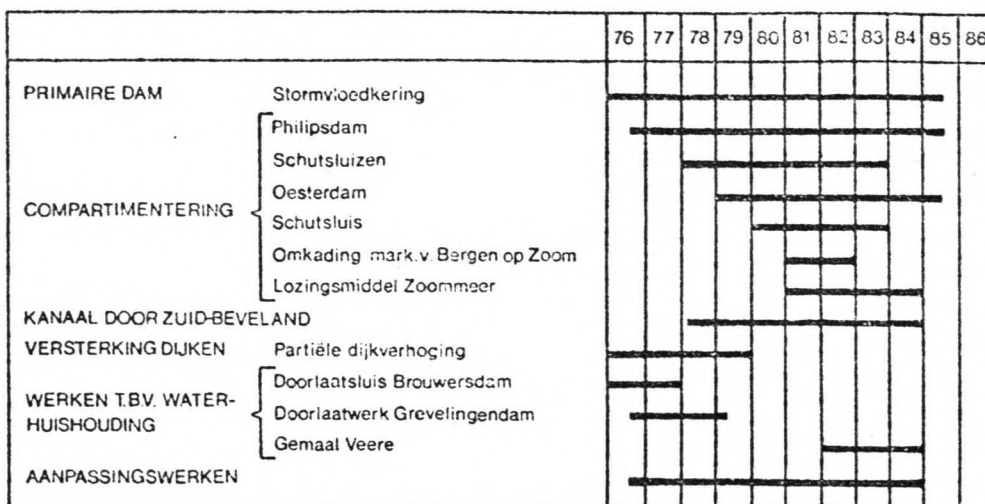
Het tracé van de Oesterdam ligt voor het grootste deel zo dicht mogelijk langs de Schelde-Rijnverbinding, om het waardevolle getijdegebied, achter in het Oosterschelde-bekken, zo groot mogelijk te houden. Het noordelijk deel van de dam buigt naar het westen af om het laatste sluitgat, het Tholensche 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.



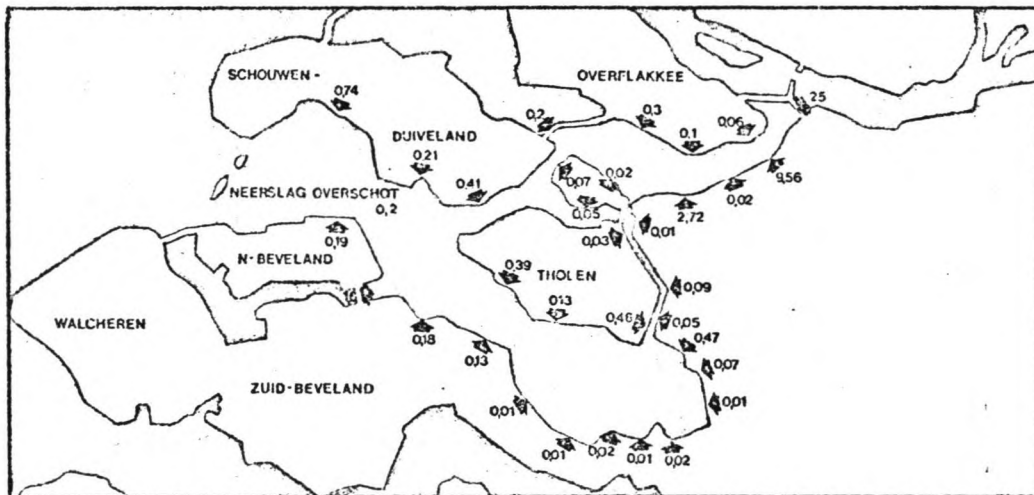
Figuur 1.9, Balkenschema; tijdsplanning van de bouwactiviteiten van de stormvloedkering en de werken van compartimenteringsmodel C3-kanaal door Zuid-Beveland.

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

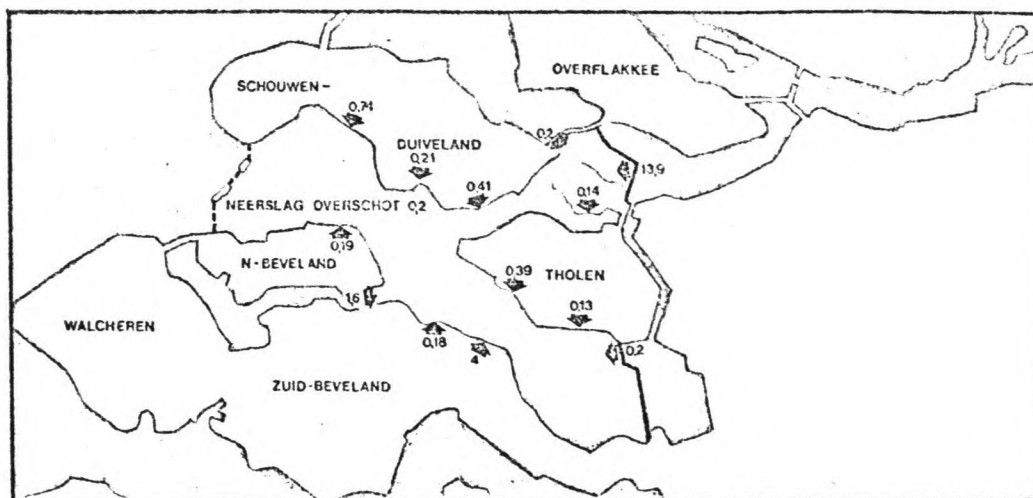
De Philips- en Oesterdam zullen in de toekomst de scheiding gaan vormen tussen het zoute Oosterschelde-getijdebekken en het zoete, peilvaste, Zoommeer, bestaande uit Volkerak, Eendracht en Markiezaat van Bergen op Zoom. Er worden hoge eisen gesteld aan zowel de kwaliteit van het zoute water in het getijdebekken, 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 sluisen. Figuur 1.10 geeft een overzicht van deze zoetwaterbelastingen in de huidige situatie.



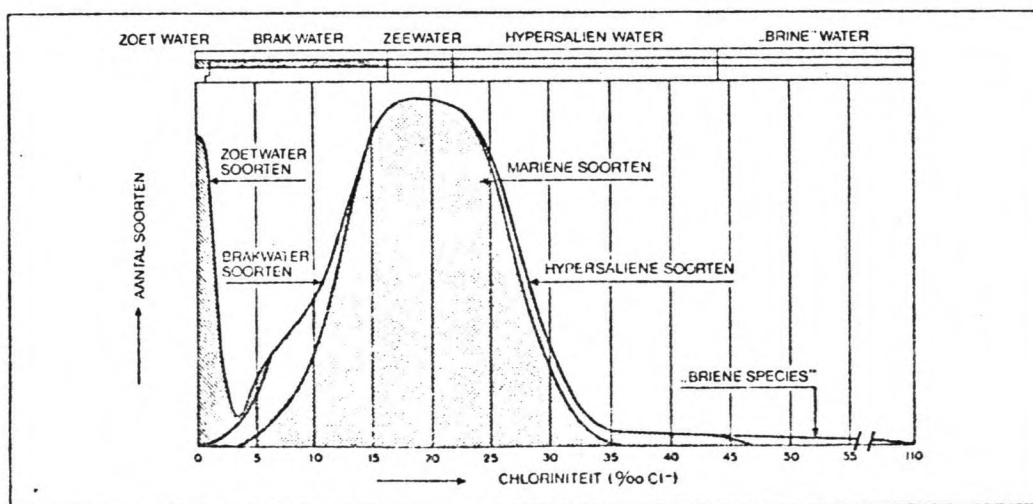
Figuur 1.10, De gemiddelde zoetwaterbelasting op de Oosterschelde in de huidige situatie, in kubieke meters per seconde.

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

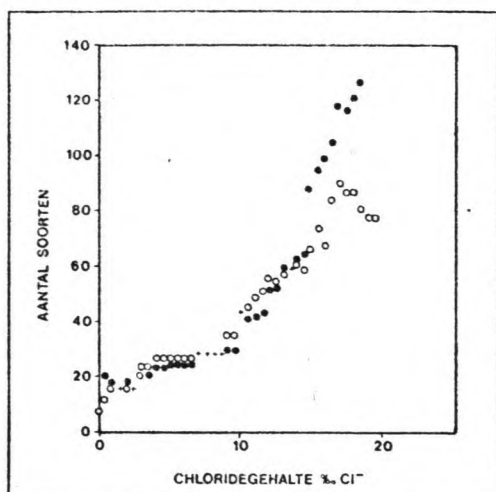


Figuur 1.11, De gemiddelde zoetwaterbelasting op de Oosterschelde in de toekomstige situatie, in kubieke meters per seconde.

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.



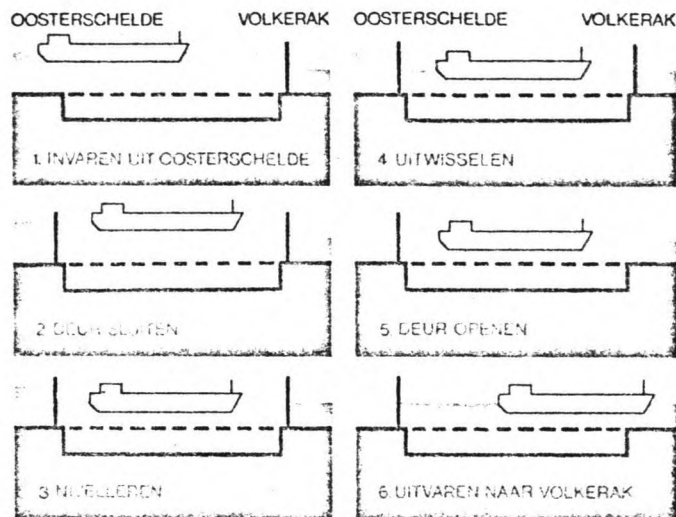
Figuur 1.13, Relatie tussen soortenrijkdom van zeven diergroepen (op harde o en zachte • ondergrond) in het Deltagebied, en het zoutgehalte.

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<sup>-</sup>/liter noodzakelijk. Voor zeer korte perioden zou eventueel een daling tot 13,5 gr.Cl<sup>-</sup>/ltr. toelaatbaar kunnen zijn.

Voor het Zoommeer, een stagnant zoet meer, dient het zoutgehalte minder dan 0,3 gr.Cl<sup>-</sup>/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 zoutgehaltes 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-scheidingsstelsel.

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.

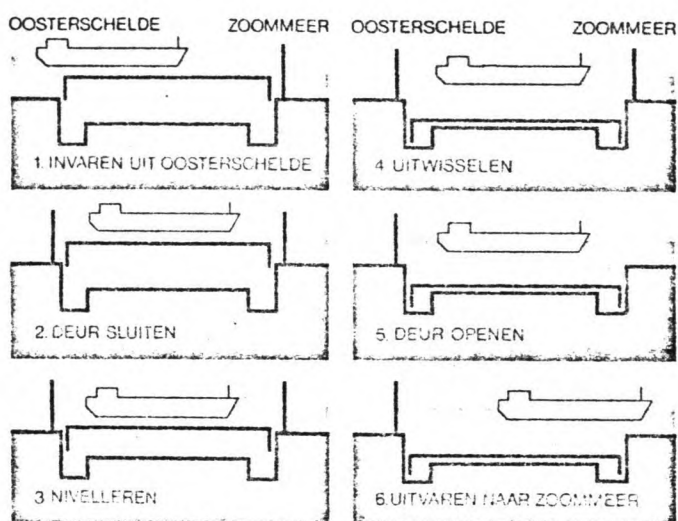


Figuur 1.14, Het schutstelsel van de sluizen in de Philipsdam; tijdens het uitwisselen wordt zoet water vervangen door zout water of omgekeerd.

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 schutstelsel 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  $50 \text{ m}^3/\text{sec}$ . 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	zout-belasting kg Cl <sup>-</sup> /s			zonder terugwinnen	zout-belasting kg Cl <sup>-</sup> /s			ca. 50% terugwinnen
	min. gem. max.			zoetwater- verlies in m <sup>3</sup> /s	min. gem. max.			zoetwater- verlies in m <sup>3</sup> /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				
Krekraksluizen (2 duwvaartsluizen)	0	0,4	1,7	17,4	3,2	9,7	16,2	8,1

Polderwaterlozingen 4,6 kg Cl<sup>-</sup>/s gemiddeld per dekade.

Tabel 1.1, Zoutbezwaar schutsluizen en polderlozingen in kg.Cl<sup>-</sup>/sec. en zoetwaterverlies schutsluizen in m<sup>3</sup>/sec.

Wat betreft het Zoommeer wordt het chloridegehalte sterk beïnvloed door het zoutbezwaar bij de schutsluizen. Er is berekend dat elke kg.Cl<sup>-</sup>/sec méér zoutbelasting bij de sluizen een stijging van het zoutgehalte van het meer van 0,02 gr.Cl<sup>-</sup>/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<sup>-</sup>/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 compartimenteeringsdammen, 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 Oosterschelde-monding.

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:

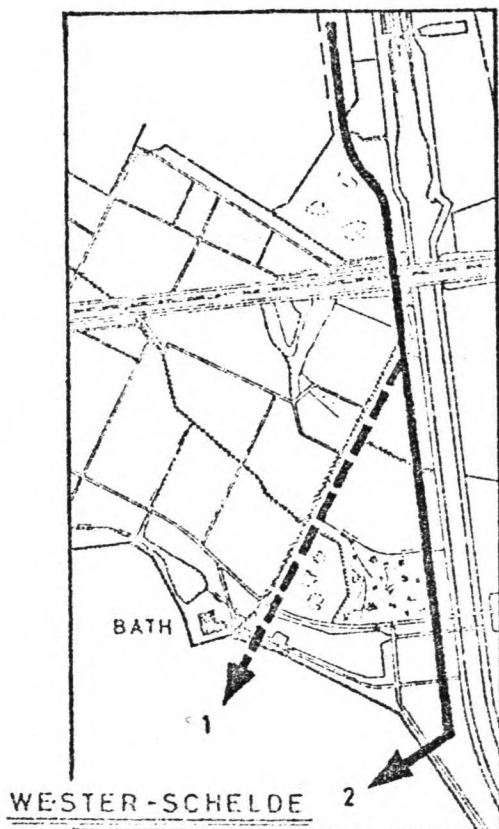
- Doorspoeling van het Zoommeer, nodig voor een goed kwaliteitsbeheer, is alleen dan effectief voor het gehele meer wanneer het lozingsmiddel in het zuiden is gelegen. Immers, het inlaatpunt is noordelijk gesitueerd.
- Lozing van het zoet Zoommeer-water op een zout Grevelingenmeer is niet mogelijk, terwijl 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 ontvangens 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 spuikanaal, 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.



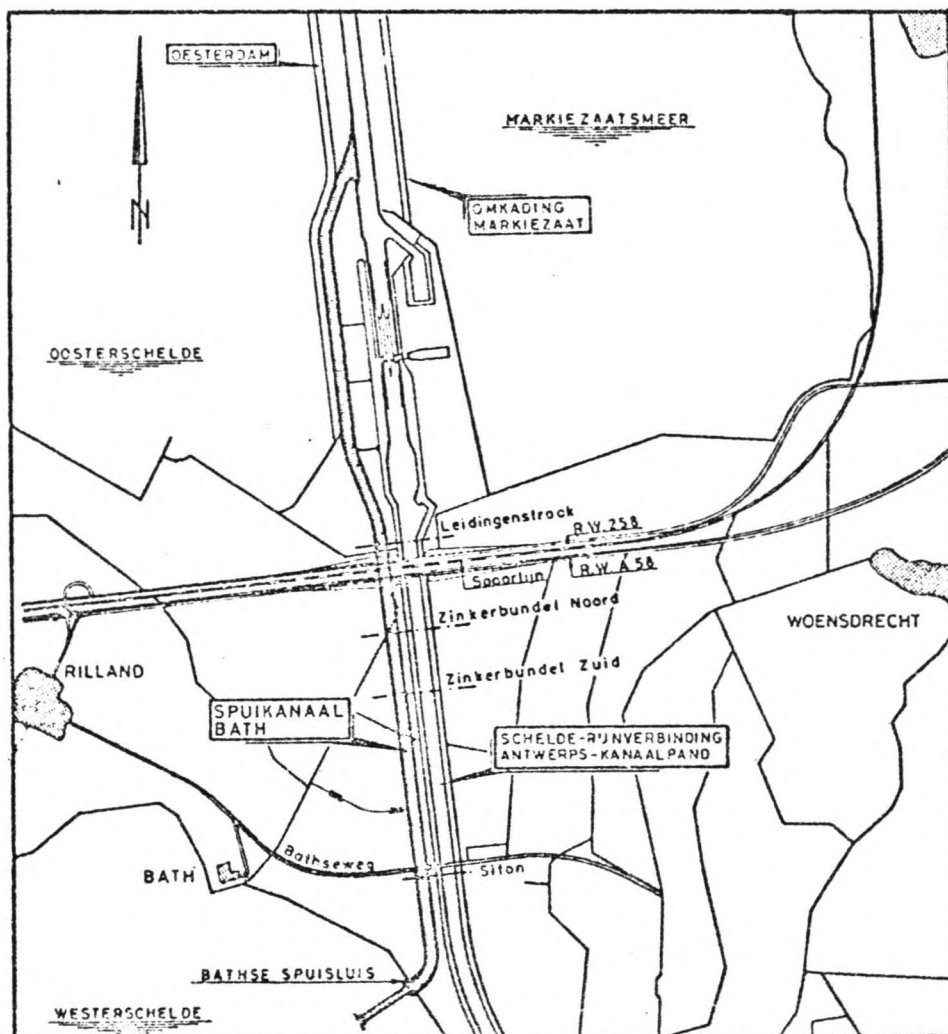
Er zijn twee hoofdalternatieven voor het tracé van het spuikanaal onderzocht. Alternatief 1 buigt na de kruising met de rijkswegen en de spoorlijn direct af van de Schelde-Rijnverbinding, terwijl alternatief 2 deze blijft volgen en pas vlak bij de Westerschelde afbuigt. Figuur 1.16 illustreert beide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

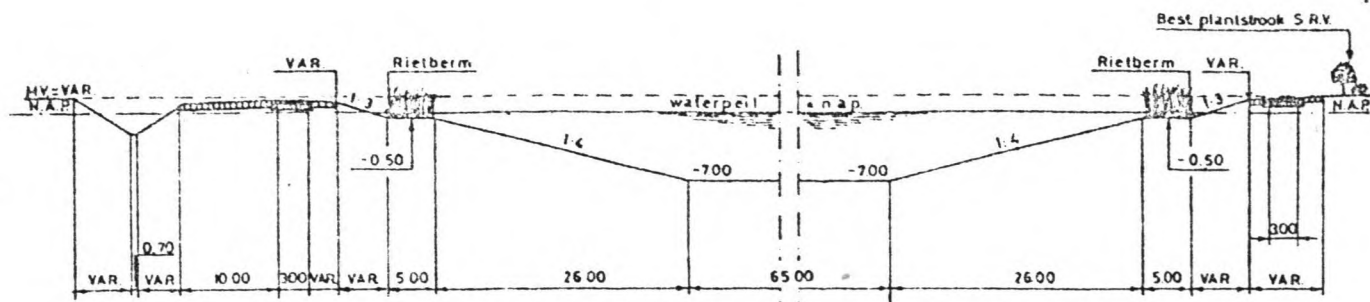
## 1.6 Lozingsmiddel; het huidige ontwerp

In deze paragraaf zullen de huidige inzichten met betrekking tot het ontwerp van het lozingsmiddel aangegeven worden. De beschrijving is globaal; in paragraaf 1.3 zal meer gedetailleerde informatie omtrent het gehele systeem en het functioneren ervan, gegeven worden.

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.

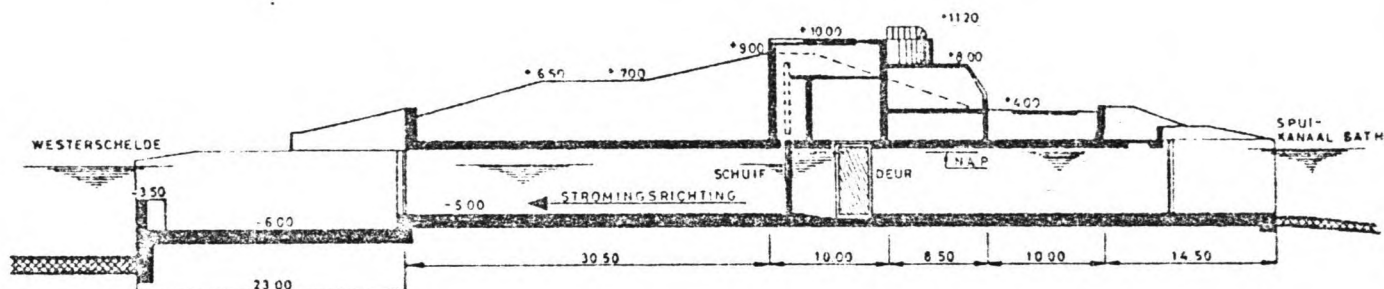
Voordat een keuze werd gemaakt aangaande het te bouwen kunstwerk zijn er drie alternatieven onderzocht, te weten een spuisluis, een hevel en een gemaal. In verband met de hoge energiekosten, en de verwachte toekomstige ontwikkeling daarvan, viel het gemaal al snel af. Uit de overgebleven alternatieven 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 faalkans-analyse die in het navolgende 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. m<sup>3</sup>. 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.

Binnenkort (zomer '82) vindt de aanbesteding van het werk voor de bouw van de spuisluis plaats, nadat dit opgehouden is geweest door de veranderde inzichten omtrent de extra lozingscapaciteit (6-9 kokers).



Na deze grove beschrijving van de Deltawerken en de plaats van het Zoommeer daarin, zullen we ons bezig gaan houden met de faalkans-analyse. Allereerst gaan we in algemene zin in op de methoden die bij de faalkansanalyse gebruikt zullen worden. Daarna volgt een gedetailleerde beschrijving van het Zoommeer- en lozingsmiddel-systeem, waarna de eigenlijk analyse opgezet kan worden.

## 2 Probabilistiek

### 2.1 Risicoanalyse; gebeurtenissenboom, foutenboom

De opzet van dit werk is een inzicht te verkrijgen in de kans op falen van het lozingsmiddel bij Bath, en in groter verband van het Zoommeer-systeem. Om te kunnen bepalen of het systeem aan de gestelde eisen voldoet, dienen de risico's van falen objectief bepaald te worden. Hiertoe zijn methoden ontwikkeld waarbij de diverse gebeurtenissen die kunnen leiden tot falen van het systeem, geanalyseerd worden.

Deze risico-analyse bestaat uit een aantal fasen, die doorlopen worden. In de eerste plaats is een beschrijving van het systeem, in termen van de functies die door de verschillende onderdelen vervuld worden, nodig. Deze beschrijving is pas mogelijk als het ontwerp al in een vrij gevorderd stadium is. Alhoewel dat voor het hier behandelde probleem wel het geval was leverde dit op sommige onderdelen toch nog moeilijkheden op. Met name omtrent de besturing en de beheersstrategie van het systeem waren er nog beslissingen te nemen die een grote invloed zouden hebben op de risico-analyse. We hebben dit vaak opgelost door enkele aannamen te doen.

Na de beschrijving van het systeem kunnen er gebeurtenissen- en foutenbomen opgesteld worden. Bij het opstellen van een gebeurtenissenboom zoeken we, onder andere met behulp van brainstorm-technieken, ongewenste begingebourtenissen. Door middel van de gebeurtenissenboom wordt dan nagegaan hoe het systeem kan reageren op deze begingebourtenis. Zo worden dus alle mogelijke reacties van het systeem op een bepaalde gebeurtenis gevonden.

Met behulp van de foutenboom gaan we na hoe één zeer ongewenste gebeurtenis veroorzaakt kan worden. Deze zeer ongewenste gebeurtenis staat bovenaan de foutenboom, en wordt de ongewenste topgeburtenis genoemd.

Vrouwenvelder en Vrijling (1982, lit.1) geven de volgende definitie van het begrip foutenboom:

"De foutenboom is een schematische weergave van de logische opeenvolging van alle gebeurtenissen, die leiden tot één zeer ongewenste reactie van het systeem (b.v. falen)."

Voor iedere ongewenste topgebeurtenis dient dus een aparte foutenboom opgesteld te worden. Bij het opstellen van een foutenboom wordt gebruik gemaakt van verschillende symbolen; deze zijn weergegeven en verduidelijkt op bijlage 1.

De risico-analyse besluit met het bepalen van de kans op optreden van de ongewenste topgebeurtenis. Daartoe worden eerst de kansen op het optreden van de begingebuurtenissen bepaald. Dit kan gebeuren via probabilistische berekeningen, zoals die in de volgende paragraaf beschreven worden, of puttend uit databanken, waarin vooral voor elektrische- en hydraulische componenten de faalfrequentie is opgeslagen. Tenslotte kan volgens de regels van de waarschijnlijkheidsleer de kans op de ongewenste topgebeurtenis afgeleid worden uit de kansen van de begingebuurtenissen.

Tot slot van deze paragraaf worden nogmaals Vrouwenvelder en Vrijling geciteerd:

"De waarde van een risico-analyse voor de ontwerpwerkzaamheden aan een constructie is als volgt aan te geven:

- Men krijgt inzicht in de wijze waarop een systeem kan falen.
- Men krijgt inzicht in de kans op falen van het systeem.
- De foutenbomen en gebeurtenissenbomen fungeren als communicatiemiddel en tool of management.
- Men kan de technische en de menselijke oorzaken van falen in een benadering verenigen."

## 2.2 Probabilistische berekeningen

Zoals in de vorige paragraaf al aangeduid kan de kans op het optreden van een begingebourtenis bepaald worden met behulp van probabilistische berekeningen of puttend uit databanken. Vaak zijn voor constructieonderdelen geen gegevens voorradig in de databanken, zodat er berekeningen uitgevoerd moeten worden.

Er is een aantal niveaus te onderscheiden waarop de berekening van een constructie of constructieonderdeel uitgevoerd kan worden. Hierbij wordt de werkelijkheid beter benaderd naarmate de berekening op een hoger niveau geschiedt, maar de berekening op zich wordt steeds ingewikkelder. Volgens de Joint Committee on Structural Safety kan de volgende indeling gemaakt worden (zie ook Stuip, 1980, lit.2):

- Niveau 0: Een deterministische beschouwing met vaststaande gegevens, een deterministische belasting, een deterministische draagkracht, vaststaande bewerkingen en een overallveiligheidscoëfficiënt.
- Niveau I: Semi-probabilistische benadering met partiële veiligheidscoëfficiënten en invoering van karakteristieke waarden voor belasting en sterkte.
- Niveau II: Probabilistische beschouwing, waarin bepaalde vereenvoudigingen zijn aangebracht; de zogenaamde 'First Order, Second Moment'-methode.
- Niveau III: Volledig probabilistische beschouwing, waarbij alle variabelen als stochasten worden ingevoerd.

De huidige ontwerppraktijk werkt voornamelijk op de niveaus 0 en I. Ter bepaling van de kans van optreden van bepaalde begingebourtenissen zullen we hier vooral gebruik maken van niveau II methoden.

Bij berekeningen op niveau III wordt de kans op falen bepaald met behulp van de exacte kansdichtheidsfuncties van sterkte en belasting. Deze worden gecombineerd in de faalfunctie  $Z$ , gedefinieerd als het verschil van sterkte en belasting:

$$Z = R - S = \text{sterkte} - \text{belasting}.$$

Met behulp van deze faalfunctie zijn nu drie gebieden te onderscheiden:

- $Z > 0$ , het veilige gebied, waarin de sterkte groter is dan de belasting.
- $Z = 0$ , de faalgrens of bezwijkgrens, de constructie verkeert in een grenstoestand; de belasting is juist gelijk aan de sterkte.
- $Z < 0$ , het onveilige gebied; de sterkte wordt overschreden door de belasting en de constructie zal dus bezwijken.

Voor systemen waarbij de faalfunctie bestaat uit meerdere variabelen (sterkte en belasting kunnen door vele variabelen beschreven worden) leidt de niveau-III beschouwing tot een gecompliceerde wiskundige uitdrukking van de kans op falen of bezwijken. Het vinden van de juiste oplossing wordt dan zeer lastig, en het ligt voor de hand enige vereenvoudigingen aan te brengen. Dit leidt tot de toepassing van niveau II methoden.

Hierbij worden de kansdichtheidsfuncties van de variabelen benaderd door normale verdelingen, gekenmerkt door een gemiddelde waarde en de standaard-afwijking. De faalfunctie  $Z$  wordt met behulp van een reeksontwikkeling gelineariseerd rond een punt van de bezwijkgrens. Nu is de gemiddelde waarde ( $\mu_z$ ) en de standaardafwijking ( $\sigma_z$ ) van  $Z$  te bepalen uit het gemiddelde en de standaardafwijking van de variabelen. De kans dat  $Z < 0$  is vervolgens te bepalen door de waarde van de betrouwbaarheidsindex,  $\beta$ , gegeven door de relatie  $\beta = \mu_z / \sigma_z$ , op te zoeken in de tabel van de normale verdeling.

De genoemde relatie voor de betrouwbaarheidsindex volgt uit de vergelijking van de bezwijkgrens:

$$Z = 0 \Rightarrow \mu(Z) - \beta \cdot \sigma(Z) = 0 \Rightarrow \boxed{\beta = \mu(Z) / \sigma(Z)}.$$

De tabel voor de normale verdeling is gegeven in lit.1 en hier opgenomen als bijlage 2.

De bovenstaande niveau II berekening is de eenvoudigste, maar helaas niet erg betrouwbaar. Er zijn nog twee, meer verfijnde, methoden beschikbaar:

- Verfijnde - eerste orde - tweede moment methoden,
- Methoden die gebruik maken van benaderende kansdichtheidsfuncties.

Hierbij wordt het punt waarom de bezwijkgrens wordt gelineariseerd met grotere zorg gekozen, en wordt gebruik gemaakt van een beter benaderde kansdichtheidsfunctie van de variabelen. Vrouwenvelder en Vrijling (lit.1) gaan hier uitgebreid op in. In het navolgende zullen we gebruik maken van alle drie de klassen van niveau II berekeningen, waarbij ook het onderlinge verschil in de uitkomsten opgemerkt zal worden.

De niveau II berekeningen worden, ook in de praktijk, meer en meer toegepast. Reden hiervan is dat de hoeveelheid rekenwerk beperkt blijft (in tegenstelling tot de niveau III methoden) en dat de methoden een inzicht verschaffen in de bijdragen van de verschillende basisvariabelen in de bezwijk- of faalkans van de constructie of het systeem.

### 3 Beschrijving van het systeem

#### 3.1 Het Zoommeer-systeem

Zoals reeds in de inleiding vermeld zal het Zoommeer in de toekomst een zoet meer worden, met een vast peil op N.A.P. Door verschillende oorzaken wordt er water toegevoerd en onttrokken aan het meer, waardoor peilvariaties op zouden kunnen treden. Dit kan worden voorkomen door water in te laten vanuit het Hollands Diep, danwel te lozen op de Westerschelde. We kunnen de waterbelastingen en -onttrekkingen dus onderscheiden in natuurrandvoorwaarden en componenten die beïnvloedbaar zijn.

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.

Ook de kwaliteit van het Zoommeerwater is erg belangrijk; er wordt dan ook veel aandacht besteed aan de beheersing hiervan. Wanneer er gesproken wordt over waterkwaliteit denken we in de eerste plaats aan het chloridegehalte van het water; dit is namelijk het meest kritisch voor de ontwikkeling van het milieu, alsook voor de bruikbaarheid van het water voor andere doeleinden. We komen hierop nog terug bij de behandeling van de ongewenste topgebeurtenis.

Wanneer er waterbelastingen of -onttrekkingen plaatsvinden bevat dit water een hoeveelheid chloride-ionen. Verder vindt er ook zoutbelasting plaats bij de schutsluizen in Philipsdam, Oesterdam en Kreekrak. Zo zou het Zoommeer zonder verdere maatregelen een te hoog zoutgehalte krijgen. Teneinde dit te voorkomen kan het meer extra doorgespoeld worden; er wordt dan extra -relatief zoet- water ingelaten vanuit het Hollands Diep en tegelijkertijd -relatief zout- water geloosd via de spuisluis bij Bath.

Figuur 1.20 geeft een beeld van de water- en chloridebelastingen op het Zoommeer; In figuur 2.21 is een en ander nog eens schematisch weergegeven.

Het zal duidelijk zijn dat dit systeem op veel manieren kan falen; hierbij speelt het lozingsmiddel bij Bath bepaald niet de enige rol. We zetten enkele mogelijkheden die het falen van het Zoommeer-systeem tot gevolg kunnen hebben op een rijtje (waarbij hier de definitie van 'falen' buiten beschouwing wordt gelaten):

- Dammen langs het Zoommeer bezwijken.
- Volkerak-inlaatsluis faalt; toevoer van zoet water gestremd of niet regelbaar.
- Schutsluizen in de Philipsdam, Oesterdam of Kreekrak falen, waardoor er zout water op het Zoommeer kan doordringen.
- Lozingsmiddel Bath faalt.



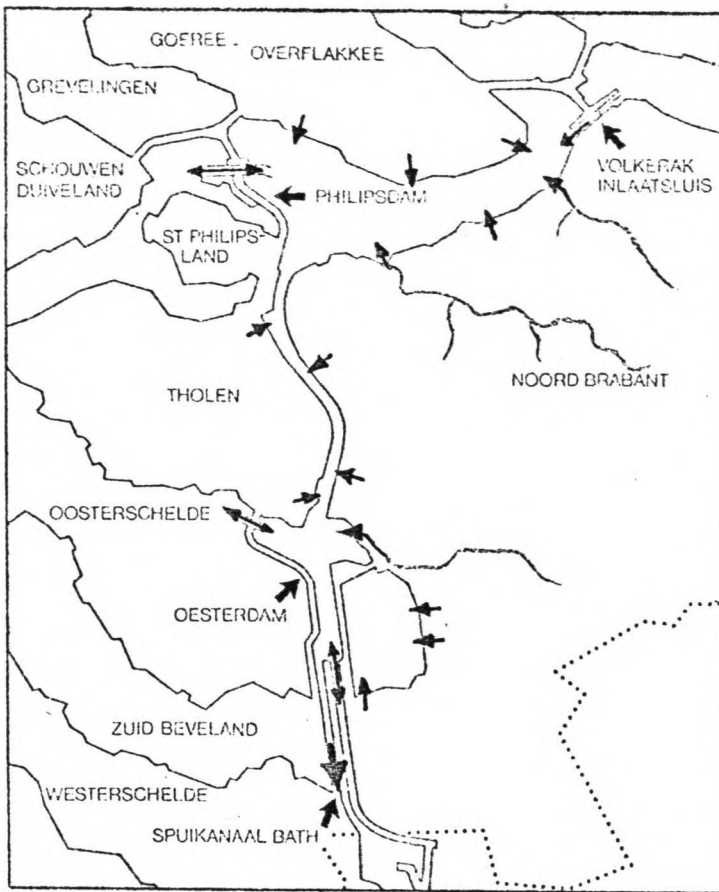


Fig. 3.1 , Water- en chloridebelastingen op het Zoommeer.

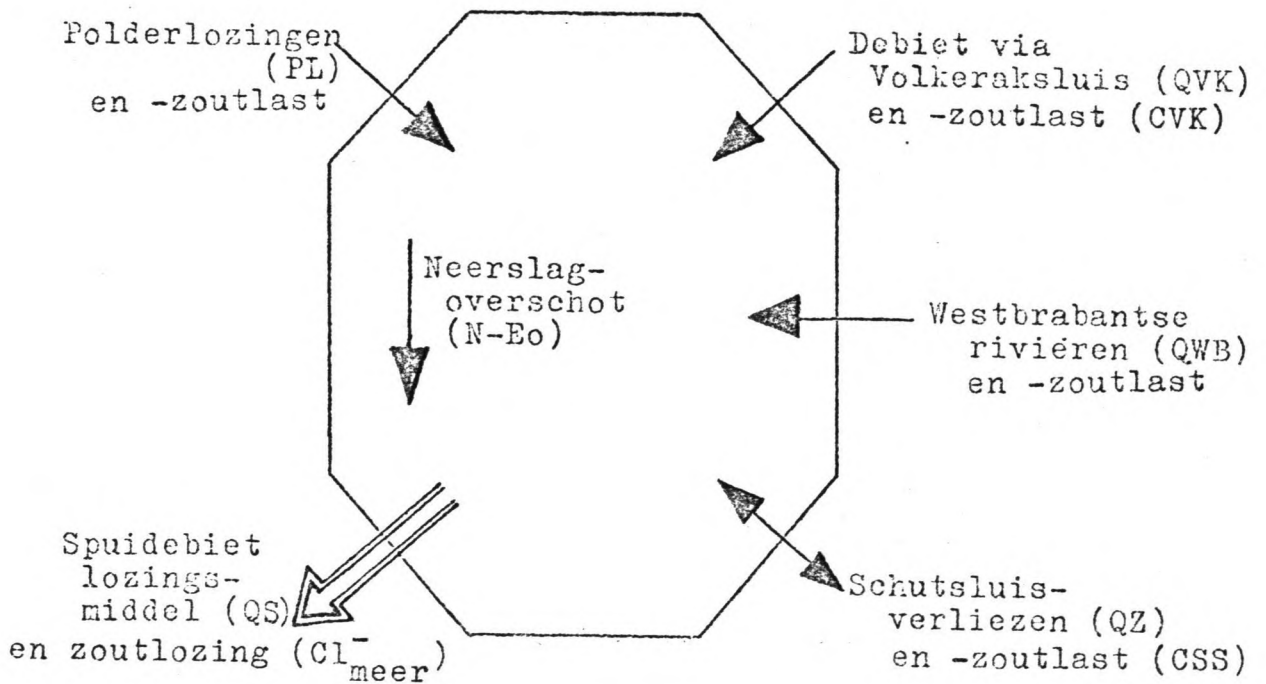


Fig. 3.2 , Schematisatie van het Zoommeer-systeem, met water- en zoutbelastingen en -onttrekkingen.

Als we een faalkansanalyse voor het volledige Zoommeer-systeem op zouden willen zetten, zouden alle genoemde faal-mogelijkheden beschouwd moeten worden. In deze studie beperken we ons tot een faalkansanalyse van het lozingsmiddel bij Bath en gaan na hoe groot de kans is dat er door het niet goed-functioneren van dit lozingsmiddel een ongewenste situatie op het Zoommeer ontstaat.

### 3.2 Het lozingsmiddel-systeem

Bij de uit te voeren faalkansanalyse zullen we ons voornamelijk beperken tot het functioneren van het lozingsmiddel, zodat een gedetailleerder beschrijving hiervan op z'n plaats is.

In figuur .2 is het lozingsmiddel weergegeven, waarbij de hoofdonderdelen zijn onderscheiden.

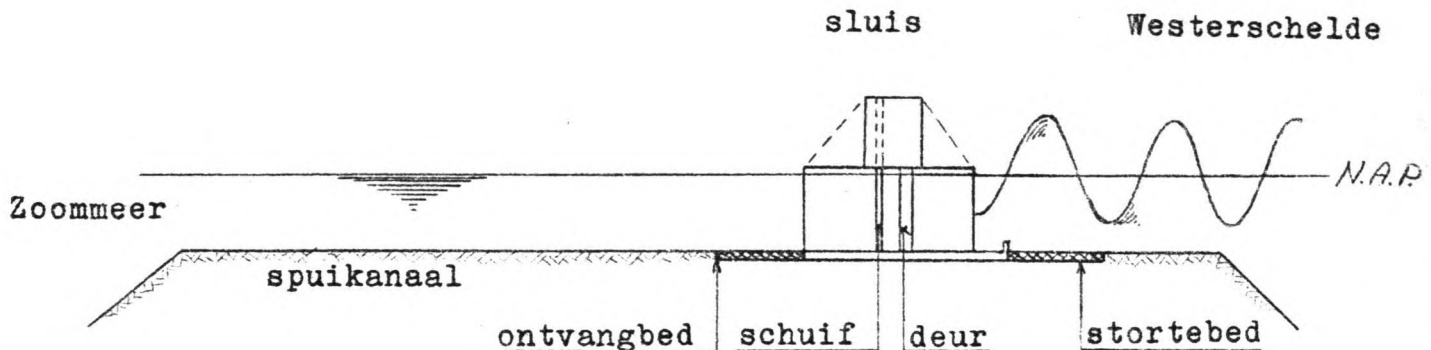


Fig. 3.3 , Het lozingsmiddel en de hoofdonderdelen.

We kunnen de volgende sub-systemen onderscheiden:

- Spuikanaal, nog onder te verdelen in:
  - een onbeschermd deel,
  - ontvangbed voor de spuisluis.
- Spuisluisconstructie, onder te verdelen in:
  - de betonconstructie,
  - schuif met bewegingsmechanisme,
  - deur met tijwachter.
- Uitstroomconstructie, bestaande uit:
  - stroomverdeler,
  - bodembescherming.

Een nog meer gedetailleerde verdeling zou wel mogelijk zijn, maar terwille van de overzichtelijkheid is daarvan hier afgezien.

We zullen onze aandacht vooral richten op het constructieve gedeelte van het lozingsmiddel, bestaande uit de eigenlijke spuisluisconstructie en de bodembescherming ter weerszijden hiervan. De hierin onderscheiden sub-systemen worden nu kort beschreven, waarbij ook de werking en eventuele sub-sub-systemen aan de orde komen.

- Ontvangbed; De stroming door het spuikanaal zal zich voor de spuisluis vernauwen, hetgeen daar grotere stroomsnelheden tot gevolg heeft. De optredende snelheden op het spuikanaal zijn, bij een groot lozingsdebiet, nog juist aanvaardbaar. Het zal duidelijk zijn dat de bodem voor de spuisluisconstructie beschermd dient te worden, teneinde erosie te voorkomen. Deze bodembescherming zal bestaan uit betrekkelijk lichte stortsteen.
- Betonconstructie; Deze bestaat uit een fundering van betonnen heipalen, de sluisvloer, wanden van de kokers, sluisplafond en bedrijfsruimten. De bedrijfsruimten zijn ondergebracht in de opbouw boven de kokers. Hierin zijn de bewegingswerken van de schuiven, de elektrische insallatie, werkruimte en verdere voorzieningen ondergebracht. De gehele betonconstructie, behalve de palen, bestaat uit in het werk gestorte gewapende beton.
- Schuiven en bewegingssysteem; De schuiven worden uitgevoerd als houtconstructie, waarvan de maten zijn: breedte = 3,45 m., hoogte = 5,50 m. De schuif beweegt op en neer in een uitsparing in de betonconstructie, waarbij grote slijtage wordt voorkomen doordat de schuif alleen zal worden bewogen als er geen of slechts een klein verval aanwezig is. **Bovendien worden de schuiven voorzien van aanslaglijsten en de betonconstructie van geleidingsprofielen.** Het bewegingssysteem van de schuiven werkt hydraulisch; er wordt gebruik gemaakt van oliedruk.

De schuiven worden op en neer bewogen met behulp van een hydraulisch bewegingssysteem. Alle 6 de schuiven hebben een gemeenschappelijk oliereservoir, maar er is een aparte pomp en een apart leidingsysteem voor iedere schuif. Het cilinderhuis van het hydraulisch systeem is aan de schuif bevestigd en beweegt dus mee, terwijl de zuiger vast is. Dit systeem levert ruimtewinst op en voldoet goed bij andere gelijksoortige werken. De oliepompen werken slechts in één richting, waardoor het nodig is in het leidingsysteem een schakelklep aan te brengen om de schuiven ook in de andere richting te kunnen bewegen. Deze schakelklep wordt electronisch bestuurd.

De benodigde electriciteit voor de pompen, verlichting e.d. wordt geleverd door de Provinciale Zeeuwse Electriciteits Maatschappij, terwijl voor eventuele storingen in de netvoeding ook een accu-systeem beschikbaar is. De accu's hebben voldoende capaciteit om alle 6 de schuiven 12 uur lang te laten functioneren.

Als veiligheid wordt er een faal-waarschuwingssysteem aangebracht, dat een signaal geeft als er een schuif niet of niet geheel sluit. Dit signaal wordt ontvangen in het bedieningsgebouw van de Kreekraksluizen, van waaruit een monteur gewaarschuwd moet worden. Er wordt ook een waarschuwingssignaal gegeven wanneer het oliepeil in het reservoir onder een bepaald niveau zakt.

- Deur met tijwachter; De deuren worden, evenals de schuiven, uitgevoerd in hout, hetgeen voordeliger is dan stalen deuren en schuiven. Aan één zijde is de deur door middel van taats en halsbeugel bevestigd aan de kokerwand, aan de andere zijde en de boven- en onderkant zijn aanslagstijlen aangebracht. De deur wordt niet van buitenaf bediend, maar sluit automatisch wanneer de waterstand aan de Westerschelde-zijde van de sluis hoger wordt dan die aan de Zoommeer-zijde.

Hiertoe wordt de deur voorzien van een zogenaamde tijwachter, bestaande uit een bladstalen veer en een blokje hout daarachter. De veer geeft de deur het beginzetje om uit de deurkas te komen bij kentering van het tij. Figuur .2 geeft hiervan een beeld.

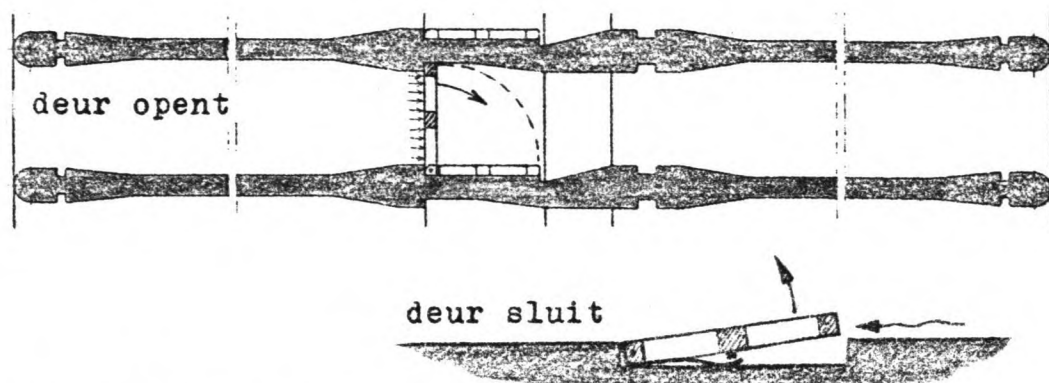


Fig. 3.4 , Werking van de deur met tijwachter.

Het zal duidelijk zijn dat de deur opengedrukt wordt wanneer de waterstand aan de Westerschelde-zijde lager wordt dan die aan de Zoommeerzijde. Het blokje hout zit achter de veer en moet ervoor zorgen dat de deur niet te diep in de deurkas gedrukt wordt. Wanneer de veer onverhoopt breekt, zal dit blokje ervoor moeten zorgen dat de deur toch sluit. Of dit functioneert zoals gedacht is een tweede, waar we later nog op terug zullen komen.

- Stroomverdeler; Deze dient ervoor de waterstroom die met grote snelheid uit de kokers komt zodanig te spreiden over het stroomprofiel, dat snelheids-concentraties die de achterliggende bodembescherming te sterk zouden aanvallen, voorkomen worden. Deze constructie wordt, evenals de verdere spuisluisconstructie uitgevoerd in gewapend beton, zodat we dit onderdeel ook bij de 'betonconstructie' hadden kunnen behandelen. De stroomverdeler bestaat uit een betonnen bak, met aan de Westerscheldezijde een 1 m. hoge, zaagtandvormige, muur. Fig 3.5 , op de volgende bladzijde, illustreert dit.

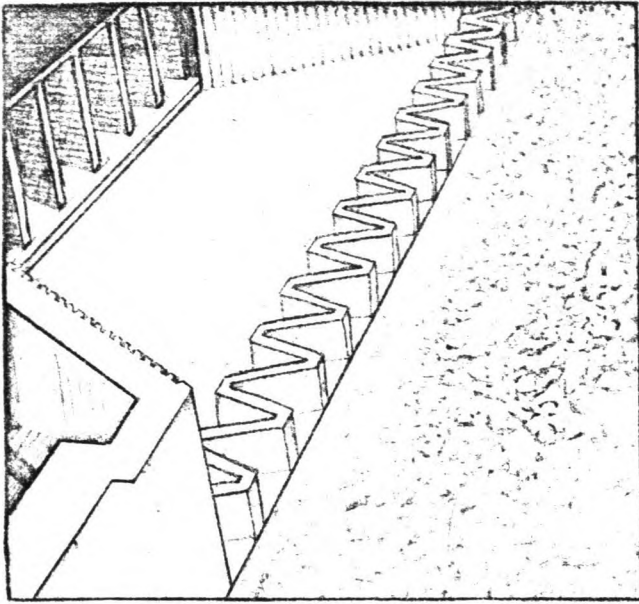


Fig. 3.5 , De betonnen uitstroomconstructie met zaagtand-  
vormige stroomverdeler.

- Bodembescherming; Aansluitend aan de betonnen uitstroom-  
constructie wordt een bodembescherming aangebracht, om  
de bodem aan de Westerscheldezijde te vrijwaren voor  
erosie. Omdat deze bescherming bij elke lozing aange-  
vallen wordt en onverhoopt optredende ontgrondingen  
grote gevolgen kunnen hebben voor de sluisconstructie  
is er veel aandacht besteed aan het ontwerp hiervan.  
Het Waterloopkundig Laboratorium heeft o.a. hiervoor  
modelproeven uitgevoerd, waarvan de resultaten zijn  
weergegeven in lit. 3.

Er is gekozen voor een bodembescherming waar-  
van het eerste deel bestaat uit betonblokken, met de  
afmetingen  $1 \times 1 \times 0,7 \text{ m}^3$ , om de grootste aanval te  
weerstaan. Daarna volgt een deel bestaande uit stort-  
steen 60/300, dat zich uitstrekt tot ca. 100 m achter  
de zaagtandconstructie. Hierna volgt een bestorting  
van grind 30/alles. Onder de stortsteen en de beton-  
blokken is ook een grindlaag en een laag kunststofweef-  
sel/rietmat aangebracht.

### 3.3 Het functioneren van het lozingsmiddel

Na de beschrijving van de verschillende onderdelen van de spuisluis in de voorgaande paragraaf, is het ook nodig de werking en besturing van het systeem te kennen. Daarmee zullen we ons in deze paragraaf bezig houden.

Het is de bedoeling dat het systeem volledig automatisch gaat functioneren; er zal geen sluiswachter aanwezig zijn. De regeling van het lozingsdebiet vindt plaats via de computer van de Kreekraksluizen, die ook de schutprocedure van deze sluizen begeleidt. Deze computer staat opgesteld in het bedieningsgebouw van de Kreekraksluizen en er is dus een verbinding met de spuisluis nodig. Het is wel mogelijk de automatische bediening uit te schakelen en het lozingsprogramma 'met de hand' bij te sturen.

In principe zullen bij elke hoogwaterperiode alle schuiven gesloten zijn, en worden bij elke laagwaterperiode -spuiperiode- het benodigde aantal schuiven geopend. De keuze van te openen schuiven is zodanig dat alle schuiven regelmatig in beweging zijn. Dit is zo gepland omdat dan de schuiven een gelijk aantal 'beweeguren' hebben, wat een adequaat onderhoudsprogramma mogelijk maakt.

Het lozingsdebiet wordt dus ingesteld door één of meerdere schuiven van de sluis te openen bij laagwater op de Westerschelde. Het gedeeltelijk openen van een schuif is niet mogelijk, zodat de debietregeling alleen met stappen van  $1/6$  van de totale lozingscapaciteit plaats kan vinden. De lozingscapaciteit is afhankelijk van de waterstanden ter weerszijden van de sluis, zoals in het eerste deel van dit verslag uitgebreid behandeld, en heeft onder gemiddelde omstandigheden een etmaal-gemiddelde waarde van  $139 \text{ m}^3/\text{sec}$ . Dit betekent per koker een spuidebiet van  $139/6 = 23 \text{ m}^3/\text{sec}$ .



Hierbij moet nog wel opgemerkt worden dat de van  $139 \text{ m}^3/\text{sec}$  volgt uit de berekeningen van deel 1 van dit afstudeerwerk, terwijl het Waterloopkundig Laboratorium in een naderhand gepubliceerd onderzoek (lit. 3) een waarde van  $115,5 \text{ m}^3/\text{sec}$  vond. Weliswaar bij een iets kortere spuitijd van 5,5 uur, in plaats van de door mij gehanteerde 6,2 uur, wat gelijk is aan de gemiddelde duur van het laagwater op de Westerschelde. We zullen in het volgende de waarde van  $23 \text{ m}^3/\text{sec}$  per koker aanhouden.

Voordat beslist kan worden hoeveel kokers er bij het volgende laagwater geöpend moeten worden, dient bekend te zijn hoeveel water er gespuid moet worden. Deze hoeveelheid kan afgeleid worden uit de waterstand op het Zoommeer en het verschil hiervan met de gewenste waterstand, die hoogstwaarschijnlijk N.A.P. zal bedragen. Voor de waterstandsmeting zijn een aantal mogelijkheden aanwezig. In de eerste plaats de voor de hand liggende meting direct aan de Zoommeerzijde van de spuisluis. Dit brengt echter wel een groot nadeel met zich mee; de windinvloeden op de waterstand zijn op die plaats groot, zodat de meting gecorrigeerd zou moeten worden voor windopzet dan wel afwaaiing. Een andere mogelijkheid is de waterstandsmeting uit te voeren nabij de Philipsdam, waar het kantelpunt van de windopzet en afwaaiing op het Zoommeer ligt. In dat geval is er wel een verbinding nodig van het meetinstrument bij de Philipsdam naar de computer bij de Kreekraksluizen. Het zal duidelijk zijn dat dit laatste systeem prettiger zal werken, maar waarschijnlijk wel storingsgevoeliger en duurder zal zijn.

Aanvankelijk was er al gekozen voor de meting nabij de Philipsdam, maar door benodigde bezuinigingen is dit ter discussie komen te staan en wordt de meting bij de spuisluis heroverwogen. In deze studie zullen we de situatie beschouwen waarbij de waterstandsmeting bij de Philipsdam plaatsvindt.

Zoals ook in de voorgaande paragraaf vermeld zit er een storingsmelder op de schuiven; als een schuif niet sluit komt er een signaal in het bedieningsgebouw van de Kreekraksluizen, waar altijd een sluiswachter aanwezig is. De deuren zijn niet van een dergelijke storingsmelder voorzien, wanneer een deur niet sluit zal dit pas aan het licht komen bij een onderhouds- of controlebezoek van een monteur.

Wanneer de sluiswachter op de Kreekraksluizen een storings-signaal krijgt dient hij een monteur te waarschuwen. De monteurs (6 man, gestationeerd in de buurt van de Schelde-Rijnverbinding) hebben bij toerbeurt wachtdienst, buiten de normale werkuren, zodat er altijd één te bereiken is.

Een niet-sluitende wachtdeur wordt alleen bij een onderhouds- of controlebezoek opgemerkt. De frequentie van deze bezoeken zal in de eerste maanden dat de sluis functioneert hoger zijn dan gedurende het normaal functioneren 'door de jaren heen'. Voor een dergelijk systeem is een maandelijkse routine-controle de normale werkwijze. We zullen dit in deze studie verder hanteren. Buiten de routinecontroles wordt er eenmaal per jaar een grote onderhoudsbeurt gegeven aan het totale bewegingssysteem van de schuiven en de daarvoor in aanmerking komende onderdelen van de deuren. Verder wordt elke koker met een gemiddelde frequentie van eenmaal in de 5 à 7 jaar volledig drooggezet om onderhoud onder de waterspiegel uit te kunnen voeren. De betreffende koker staat dan gedurende ca. 2 weken droog. Dit werk kan goed gepland worden en gebeurt alleen in een gunstig jaargetijde, wanneer er geen hoge waterstanden -en dus hoge belastingen-, te verwachten zijn (eind van het voorjaar).

Met deze informatie kunnen we gaan werken aan het opstellen van een foutenboom; eerst zullen we, in de volgende paragraaf, de ongewenste topgebeurtenis behandelen, daarna zullen we nagaan hoe deze gebeurtenis op kan treden en zo de foutenboom construeren. Bij uitwerking van de kansen op het optreden van gebeurtenissen die kunnen leiden tot de ongewenste topgebeurtenis, blijkt de gedetailleerdheid van de gegeven beschrijving van het systeem niet voldoende. We zullen in die gevallen de verdere informatie in de betreffende paragraaf geven.

## 4 De ongewenste topgebeurtenis

### 4.1 Definitie

Het lozingsmiddel Bath dient ertoe het peil en de waterkwaliteit van het Zoommeer op doelmatige wijze te kunnen beheren. Deze hoofdfuncties van het beschouwde systeem worden verstoord wanneer door enigerlei oorzaak het lozen van een voldoende debiet onmogelijk is, of een hoeveelheid zout water, vanaf de Westerschelde, ongewild op het Zoommeer komt.

Ter definitie van de ongewenste topgebeurtenis beschouwen we het lozingsmiddel niet als een op zichzelf staande constructie, maar als instrument om peil en kwaliteit van het Zoommeerwater te beheren. We richten ons dus niet in de eerste plaats op de spuisluisconstructie zélf, maar op de functie ervan in het grotere Zoommeersysteem, en op de gevolgen van een eventueel falen van de spuisluis op dit Zoommeersysteem.

In dit verband houdt falen van de spuisluis in dat er een debiet vanaf de Westerschelde op het Zoommeer komt, of de lozing vanaf het Zoommeer op de Westerschelde gestremd is. Als definitie van de ongewenste topgebeurtenis is dit echter nog onvoldoende; een lekkage van enkele kubieke meters zout water tijdens het hoogwater op de Westerschelde, of de stremming van één koker gedurende niet te lange tijd, is zeker niet ernstig genoeg om als ongewenste topgebeurtenis aangemerkt te worden. We zullen een en ander dus nog nader moeten preciseren.

Een peilstijging op het Zoommeer is niet geschikt als definitie van de ongewenste topgebeurtenis, omdat dit altijd voorkomen kan worden door water te lozen op het Grevelingenmeer, via de hevel in de Grevelingendam. Weliswaar is een groot nadeel hiervan dat de waterkwaliteit van het Grevelingenmeer beïnvloed wordt door deze lozing van Zoommeerwater, maar als uitzondering -in noodgevallen- is de mogelijkheid aanwezig.

Het ligt nu voor de hand om naar het beheer van de waterkwaliteit van het Zoommeer te kijken, ten-einde de ongewenste topgebeurtenis te definiëren. We beperken ons daarbij tot het chloridegehalte van het Zoommeerwater. Alhoewel er zich in het -bij falen van de spuisluis binnendringende- Westerscheldewater vele andere schadelijke stoffen bevinden (We denken hierbij vooral aan zware metalen, zie bijlage 3, overgenomen uit lit. 4), is het chloridegehalte het meest kritisch uit het oogpunt van waterkwaliteitsbeheer.

Er dient nu een beslissing genomen te worden omtrent het toelaatbare chloridegehalte op het Zoommeer. We beschouwen hiertoe de onderstaande tabel, waarin indicaties gegeven worden voor het toelaatbare chloridegehalte van water voor diverse gebruiksdoeleinden.

Indicatief Meerjaren Programma	150 à 200 mg/ltr.
Drinkwatervoorziening	150 à 200 "
Tuinbouw onder glas	200 "
Akkerbouw en fruitteelt	500 à 600 "
Berekening van gewassen	300 "
Milieu	300 "

Tabel 4.1, Eisen te stellen aan het chloridegehalte van water, voor verschillende gebruiksdoeleinden.  
(Bron: lit. 5)

Ook de tabellen weergegeven op bijlage 4, overgenomen uit het college-dictaat 'Polders'(lit. 6) en het Rijkswaterstaatrapport (lit. 7), geven informatie omtrent het toelaatbare chloridegehalte. Hierin wordt aangegeven dat water met een chloridegehalte  $< 300$  mg/ltr geschikt is voor alle landbouwdoeleinden en als drinkwater voor de mens. Een chloridegehalte van 300 tot 500 mg/ltr kan oogstvermindering geven bij gebruik als gietwater onder glas. Aan de hand van de waarden uit bovenstaande tabel is door Rijkswaterstaat het criterium aangelegd dat het

Chloridegehalte van het Zoommeerwater lager zou moeten zijn dan 300 mg/ltr.

Wanneer het chloridegehalte, gedurende niet te lange tijd, deze waarde iets overschrijdt zal dit nog wel acceptabel zijn; waarschijnlijk zal het nauwelijks opgemerkt worden. Wanneer de chlorideconcentratie echter méér toeneemt zullen er maatregelen getroffen moeten worden en treden ongewenste effecten op. Zo zullen de landbouwers gewaarschuwd moeten worden dat het water onbruikbaar is voor beregening van de gewassen. Ook zal er vissterfte optreden; bij een chloridegehalte 300 mg/ltr ondervinden enkele gevoelige soorten nadelige gevolgen, bij een gehalte 600 mgCl<sup>-</sup>/ltr zullen ook de sterkere soorten aangetast worden. Vooral deze vissterfte op het meer is zeer ongewenst; Bovendien zal het de publieke opinie sterk aanspreken, hetgeen een onaangename bijkomstigheid is.

Het is niet mogelijk een harde grens te geven voor een nog toelaatbaar en een ontoelaatbaar chloridegehalte. Deze overgang is geleidelijk, en het geven van één getal is dus een min of meer arbitraire keuze. Remane heeft uit onderzoek een verband afgeleid tussen de soortenrijkdom van vissen en het chloridegehalte van het water. Figuur 4.1 geeft het resultaat hiervan.

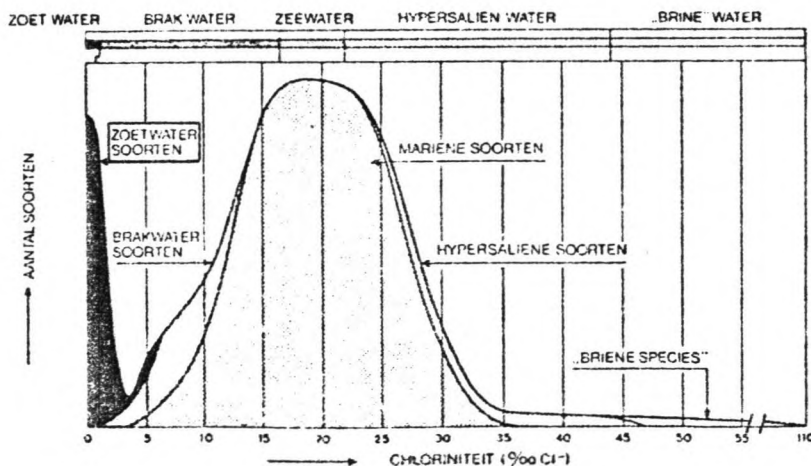


Fig. 4.1, De kromme van Remane.

We zien uit deze figuur dat bij een chloridegehalte groter dan 600 mg/ltr geen zoetwatersoorten meer voorkomen. Voor het Zoommeer zou dat dus een massale vissterfte betekenen als deze grens overschreden wordt. Dit zullen we aanmerken als de ongewenste topgebeurtenis.

Tot slot van deze paragraaf besteden we nog wat aandacht aan de geometrie van het Zoommeer. Figuur 4.2 geeft hiervan een beeld en geeft de vakindeling die door Rijkswaterstaat is gehanteerd bij diverse berekeningen.

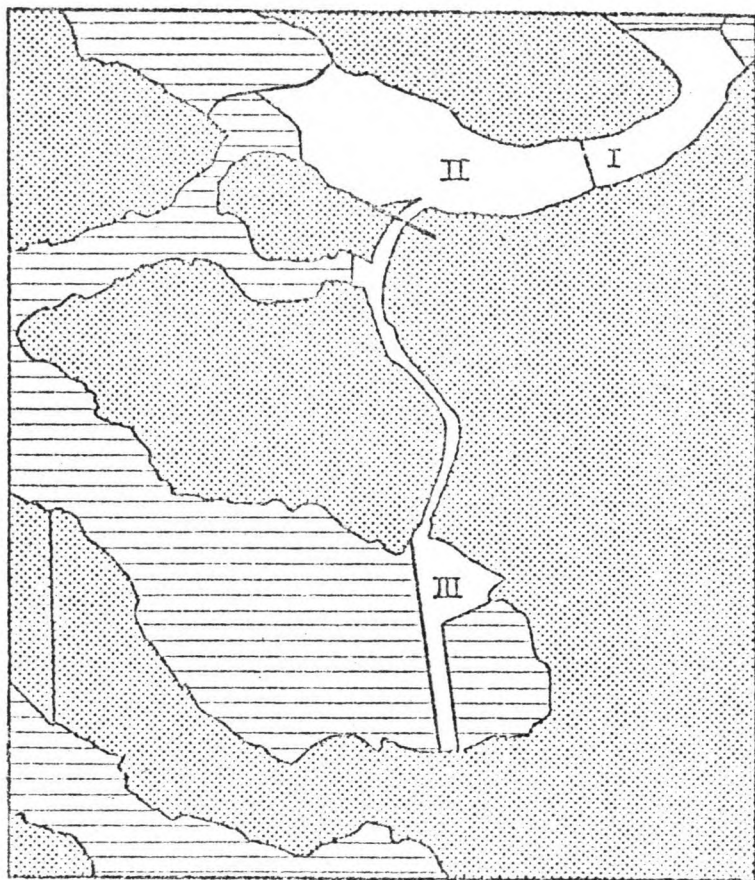


Fig. 4.2 , Overzicht vakindeling en geometrie Zoommeer.

We zien dat de Eendracht een relatief smalle verbinding vormt tussen vak II en vak III-zuid, het bekken tussen de Oesterdam en Markiezaatskade. Als er zout Westerscheldewater binnendringt wordt dit vak III-zuid direct getroffen.

De Eendracht vormt dan een veiligheid tegen het doordringen van het zoute water tot vak I en II. Toch willen we de situatie waarbij het chloridegehalte op één van de vakken I, II of III-zuid groter wordt dan 600 mg/ltr, wel als ongewenste topgebeurtenis aanmerken; de gevolgen voor het milieu zullen groot zijn. Uit milieu-oogpunt is de Eendracht wat minder kritisch, vandaar dat we vak III-zuid en Eendracht hier scheiden.

We komen uiteindelijk tot de volgende definitie van de ongewenste topgebeurtenis:

Het optreden van een chloridegehalte groter dan 600 mg/ltr, op vak I, II of III-zuid van het Zoommeer.
--



## 4.2 De kop van de foutenboom

In de foutenboom gaan we na door welke gebeurtenissen de ongewenste topgebeurtenis veroorzaakt kan worden.

De in de vorige paragraaf gedefiniëerde topgebeurtenis kan door twee hoofdoorzaken optreden. In de eerste plaats kan er een hoeveelheid water vanaf de Westerschelde, met een hoog chloridegehalte, doordringen in het Zoommeer en zo het chloridegehalte verhogen. In de tweede plaats kan de situatie optreden dat de lozing door de spuisluis gestremd is. Door de zoutlast bij de schutsluizen en het zoutgehalte van het water dat op het meer geloosd wordt kan het chloridegehalte van het meer toenemen. Als deze situatie lang genoeg voortduurt kan de ongewenste topgebeurtenis optreden. In onderstaande figuur is de kop van de foutenboom, met de ongewenste topgebeurtenis en de mogelijke oorzaken hiervan, weergegeven.

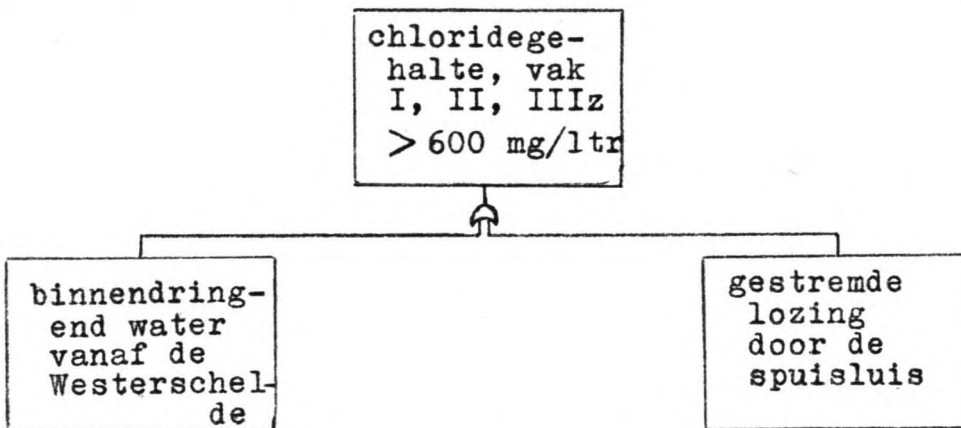


Fig. 4.3 , Kop van de foutenboom.

Teneinde de rest van de foutenboom op te kunnen stellen dienen we de beide onderscheiden oorzaken nader te bestuderen. Geeft één openstaande koker van de spuisluis, gedurende één hoogwater op de Westerschelde, een ongewenste situatie? Zal de topgebeurtenis optreden wanneer 2 of 3 kokers gedurende enkele dagen dicht blijven? Deze vragen zullen in de volgende paragrafen behandeld worden.

## 5 Uitgangssituatie en randvoorwaarden

### 5.1 De inhoud van vak III-zuid

Om de ernst van het binnendringen van een bepaalde hoeveelheid zout water na te kunnen gaan, dienen we de inhoud van het bekken te kennen. Als er water binnendringt vanaf de Westerschelde, zal dit in de eerste plaats het chloridegehalte van vak III-zuid beïnvloeden.

Volgens de Rijkswaterstaat-nota (lit. 8) is de inhoud van vak III  $22 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ , bij een waterstand gelijk aan N.A.P. Vak III bestaat uit de Eendracht en het bekken tussen Markiezaatskade en de Oesterdam; dus niet het spuikanaal. Bij onze beschouwing is de inhoud van het kanaal echter zeker niet te verwaarlozen; het zoute Westerschelde-water moet dit volledig passeren voordat het vak III bereikt. Er is reeds betoogd dat de Eendracht in dit geval minder interessant is. We berekenen nu de inhoud van vak III-zuid, met inbegrip van het spuikanaal.

Voor de berekening van de inhoud van de Eendacht beschouwen we de maten van het dwarsprofiel, gegeven in figuur 5.1.

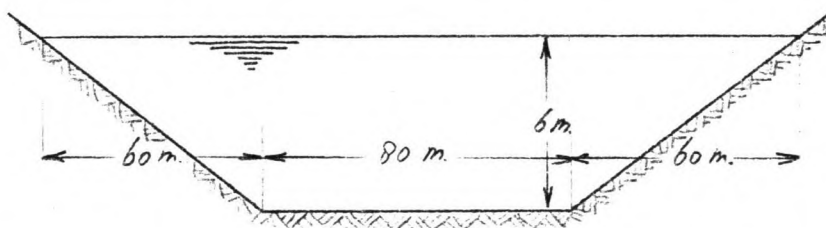


Fig. 5.1, Stroomprofiel van de Eendracht.

De lengte van de Eendracht bedraagt ca. 14 km, zodat we voor de inhoud vinden:

$$\text{Inhoud Eendracht} = 14000 \times (60 + 80) \times 6 = 11,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3.$$

De maten van het stroomprofiel van het spui-  
kanaal zijn reeds gepresenteerd in fig. 1.18. We vinden:

$$\text{Inhoud spuikan.} = 8400 \times (65 + 26) \times 7 = 5,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3.$$

We kunnen uit deze gegevens de inhoud van het  
voor ons interessante vak III-zuid bepalen:

$$\begin{aligned} \text{Inh. III-z} &= \text{Inh. III} - \text{Inh. Eendracht} + \text{Inh. spuikan.} \\ &= (22 - 11,8 + 5,4) \times 10^6 = \underline{15,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3}. \end{aligned}$$

## 5.2 Het chloridegehalte op vak III

De ongewenste topgebeurtenis treedt op als er een chloridegehalte groter dan 600 mg/ltr optreedt op een vak van het Zoommeer. Later zal blijken dat zowel bij binnendringing van Westerschelde-water als bij een gestremde lozing, vak III het meest gevoelig is. Naast gegevens omtrent de hoeveelheid water die toetreedt en het chloridegehalte hiervan, dienen we te weten hoe groot het chloridegehalte is van het reeds aanwezige water.

Door Rijkswaterstaat zijn series berekeningen uitgevoerd, die het chloridegehalte, gemiddeld per vak, bij verschillende randvoorwaarden, voorspellen. In de nota's (lit. 8 en 9) zijn de resultaten hiervan gepresenteerd. Alhoewel deze berekeningen werden uitgevoerd voor ieder seizoen apart, zullen we hier slechts de jaar-gemiddelde waarde in beschouwing nemen. We zien uit bijlage 9 van lit. 8, hier weergegeven als bijlage 5, dat het gemiddelde chloridegehalte op vak III ca. 265 mg/ltr bedraagt. Dit is bij een schutsluis-zoutlast volgens de gemiddelde prognose en zonder terugwinnen van zoet water bij de schutsluizen. Het is dus zeker mogelijk dat het chloridegehalte hoger zal zijn, bijvoorbeeld als er wel wordt teruggewonnen, of wanneer de schutsluis-zoutlast hoger uitvalt. Zo geeft bijlage 11 van lit. 8, hier opgenomen als bijlage 6, aanzienlijk hogere waarden, voor de situatie met 50 % terugwinnen bij de schutsluizen.

Conclusie nr. 5 op bladzijde 39 van lit. 9 geeft aan dat op vak III gemiddelde chloridegehalten 400 mg/ltr verwacht kunnen worden, als er niet wordt teruggewonnen bij de schutsluizen en als er selectief wordt doorgespoeld (in najaar en winter 50 m<sup>3</sup>/sec).

Op grond van deze overwegingen zullen we als beginsituatie een chloridegehalte van 300 mg/ltr nemen.

### 5.3 Het chloridegehalte van het Westerschelde-water

Bij het bepalen van het effect van een binnendringend debiet vanaf de Westerschelde op het Zoommeer, is het van belang het chloridegehalte van het Westerschelde-water te weten.

Bij de boeien 59<sup>a</sup> en 87, op de Westerschelde, zijn waarnemingen gedaan naar het chloridegehalte. Op bijlage 7 is de plaats van deze boeien aangegeven. De overschrijdingsfrequentielijnen van de waargenomen chloridegehalten, onderscheiden naar zomer en winter, zijn weergegeven op bijlage 8. We kunnen het gehalte ter plaatse van de spuisluis afleiden uit deze waarnemingen. We zoeken weer de waarde gemiddeld over het gehele jaar, zodat we eerst de zomer- en winterwaarnemingen middelen.

De 50 % overschrijdingswaarde voor boei 87 bedraagt voor de winter 4,1 gr/ltr, en voor de zomer 7,8 gr/ltr. Het gemiddelde chloridegehalte over het gehele jaar bij boei 87 bedraagt dus ca. 6 gr/ltr.

Voor boei 59<sup>a</sup> vinden we een 50 % overschrijdings-winter-waarde van 8,8 gr/ltr en een zomer-waarde van 11,7 gr/ltr. Dit geeft een jaarlijks gemiddeld chloridegehalte van ca. 10 gr/ltr, voor boei 59<sup>a</sup>.

Op het kaartje van bijlage 7 zien we dat de afstand van boei 59<sup>a</sup> tot de spuisluis ongeveer tweemaal zo groot is als de afstand van boei 87 tot de sluis. Onder de veronderstelling dat het chloridegehalte lineair verloopt met de afstand, vinden we voor het gemiddelde chloridegehalte bij de spuisluis:

$$\frac{2 \times 6 + 1 \times 10}{3} = 7,3 \text{ gr/ltr.}$$

We hebben nu echter nog geen rekening gehouden met de invloed die de lozing van het relatief zoete Zoommeer-water op het chloridegehalte zal hebben.

In tabel 13 van de nota van de projectgroep Waterhuis-  
houding Oostmeer (lit. 10) vinden we een 50 % over-  
schrijdingswaarde van het chloridegehalte bij Bath:

voor doorspoeldebiet =  $0 \text{ m}^3/\text{sec}$ , 7300 mg/ltr,

voor selectieve doorspoeling, 6000 mg/ltr.

Beide waarden bij een continue lozing van  $20 \text{ m}^3/\text{sec}$ ,  
veroorzaakt door het zoetwaterverlies bij de Kreekrak-  
sluizen.

Ook dienen we rekening te houden met het feit  
dat het chloridegehalte tijdens het hoogwater op de  
Westerschelde hoger is dan de gemiddelde waarde. Uit  
de waarnemingen bij de beide boeien blijkt dat het  
gehalte sinusvormig verloopt, met een amplitude gelijk  
aan 0,15-maal het gemiddelde. Het gemiddelde chloride-  
gehalte tijdens de hoogwaterkentering is dus 1,15 maal  
de gemiddelde waarde:  $1,15 \times 6000 = 6900 \text{ mg/ltr}$ ,  
bij selectieve doorspoeling van het Zoommeer.

Wanneer er een debiet vanaf de Westerschelde  
op het Zoommeer komt, zal dit tijdens de gehele hoogwater-  
periode plaatsvinden. Dan is dus het gemiddelde chloride-  
gehalte over de hoogwaterperiode van belang:

$$\text{gemiddeld hoogwater-chloridegehalte} = \frac{2}{3} \times 900 + 6000 =$$

6600 mg/ltr.

De op deze bladzijde gepresenteerde waarden  
zullen we bij de verdere beschouwingen hanteren, waarbij  
dus selectieve doorspoeling van het Zoommeer is veronder-  
steld.

## 6 Binnendringend Westerscheldewater

### 6.1 De hoeveelheid

Als van een koker van de spuisluis onverhoopt de wachtdeur én de hefschuif open blijven staan, tijdens hoogwater op de Westerschelde, zal er een debiet van de Westerschelde naar het Zoommeer optreden. In deze paragraaf berekenen we de hoeveelheid water die op deze wijze op het meer komt, bij gemiddeld hoogwater op de Westerschelde en een Zoommeerpeil van N.A.P.

De formules die we hierbij gebruiken zijn te onderscheiden in de situatie dat er stroming met vrije waterspiegel optreedt en het geval van buisstroming. Bij de stroming met vrije waterspiegel treedt er een onvolkomen-overlaat situatie op, omdat het waterstandsverschil ter weerszijden van de sluis klein is. Er treedt buisstroming op wanneer de waterstand op de Westerschelde hoger wordt dan 0,50 m. + N.A.P., zijnde het niveau van het plafond van de koker.

De formule waarmee het debiet door een koker kan worden berekend, voor de situatie van de onvolkomen overlaat, luidt als volgt:

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

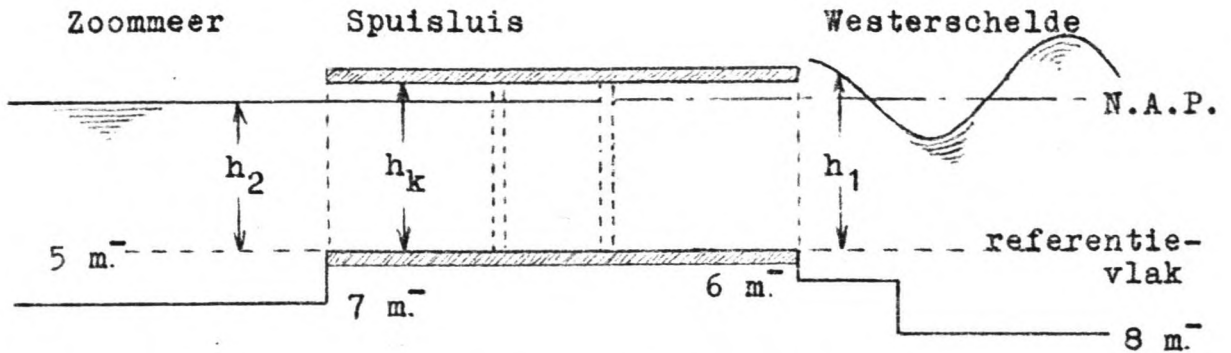
(zie lit. 11),

waarin:  $m$  = afvoercoëfficiënt, door Rijkswaterstaat voor stroming van het Zoommeer naar de Westerschelde berekend op 0,85, voor de overlaat-situatie. Deze waarde zullen we ook hier aanhouden.

$b$  = breedte van de koker, 3,45 m.

$g$  = zwaartekrachtsversnelling, 9,8 m/sec<sup>2</sup>.

$h_1$  en  $h_2$  volgens de figuur op de volgende bladzijde.



Figuur 6.1 , Situatieschets spuisluis, stroming van Westerschelde naar het Zoommeer.

De formule voor het debiet door de koker, in het geval van buisstroming, luidt:

$$Q = m \cdot b \cdot h_k \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h} ,$$

(zie ook lit. 11),

waarin:  $m$  = afvoercoëfficiënt; in dit geval treedt er extra wrijving op ten opzichte van het vorige geval. We houden een iets lagere waarde aan, 0,80.

$h_k$  = hoogte van de koker, 5,50 m.

$\Delta h$  = waterstandsverschil over de spuisluis, afhankelijk van het getij.

Teneinde de totale hoeveelheid water die door de open koker op het Zoommeer komt, te kunnen kwantificeren, verdelen we de getijkromme in tijdsintervallen  $\Delta t$ . Voor ieder interval kunnen we nu een representatief debiet door de koker berekenen. Een sommatie over alle tijdsintervallen van het hoogwater levert dan de totale hoeveelheid die op het meer is gekomen. We gebruiken bij de berekening tijdsintervallen  $\Delta t$  van 0,5 uur. De gemiddelde getijkromme bij Bath en de  $\Delta t$ -schematisatie is weergegeven in figuur 1.29, op de volgende bladzijde.

Bij de berekening dienen we verder nog rekening te houden met de energieverliezen die optreden door de stroming van het water door het 8,4 km lange spuikanaal.



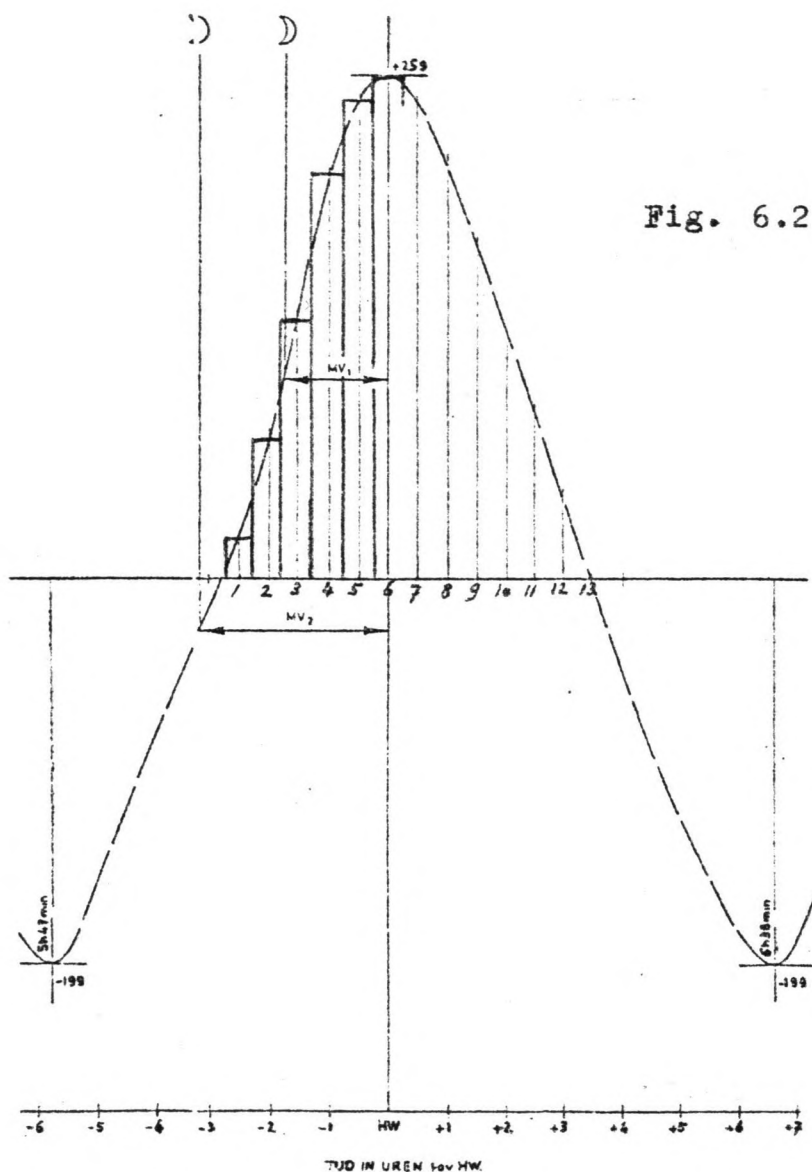


Fig. 6.2 , Gemiddelde getijkromme bij Bath; schematisatie met tijdsintervallen.

Bij eerdere berekeningen, in het eerste deel van dit verslag, bleek dat de totale afvoer met ca, 6 % wordt gereduceerd, ten gevolge van deze energieverliezen. We passen hier dezelfde reductie toe.

De berekeningen zijn weergegeven in bijlage 9. Het resultaat is dat er door één open koker, tijdens hoogwater op de Westerschelde, een hoeveelheid water binnendringt, groot:  $1,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ .

## 6.2 Snelheid van het zoute water in het spuikanaal

### 6.2.1 Algemeen

Wanneer er een debiet vanaf de Westerschelde door de spuisluis optreedt, zal dit nog niet direct het chloridegehalte van vak III beïnvloeden. Het 8,4 km lange spuikanaal vormt een extra veiligheid voor het systeem, want het zoute water dient dit eerst te passeren voordat het vak III bereikt.

De vraag die zich nu voordoet is welke snelheid het zoutwater-front in het spuikanaal zal ontwikkelen. Om deze snelheid af te kunnen schatten -voor een exacte uitspraak zouden modelproeven uitgevoerd moeten worden- zullen we in de volgende paragrafen wat dieper ingaan op de verschijnselen die hierbij een rol spelen.

### 6.2.2 Processen die een rol spelen

In de eerste plaats zal er door het debiet door de spuisluis een lopende golf op het spuikanaal optreden. Deze golf plant zich voort met een snelheid:  $\sqrt{g \cdot a}$ , waarin  $g$  = zwaartekrachtsversnelling,

$a$  = waterdiepte in het ongestoorde spuikanaal. De materie-snelheid, de snelheid van het zoute water, is echter niet hetzelfde. Deze wordt gegeven door de formule:  $v_{\text{materie}} = \sqrt{g / a} \cdot \hat{a}$ , waarin  $\hat{a}$  de hoogte van de versturende golf is. De betreffende theorie is te vinden in de college-dictaten b9<sup>a</sup> en b9<sup>b</sup>, lit. 12.

Een tweede verschijnsel dat een rol zal spelen wordt beschreven door Rigter (lit. 13), echter alleen voor het geval van een lozing van zoët water op en kanaal met zoët water. De figuur op bijlage 10 illustreert een en ander voor een zoete lozing. In ons geval, bij zoët debiet op een zoët kanaal, zal zich, volgens eenzelfde redenering, de situatie voordoen zoals geschetst in figuur 6.3.

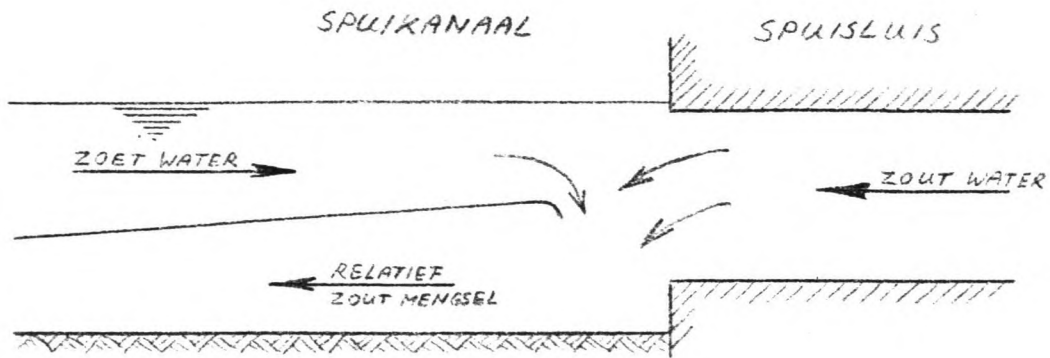


Fig. 6.3, Stromingspatroon bij instroming van zout water op het zoete spuikanaal.

We zien dat door de toevoer van het zoute water, zoet water uit het kanaal aangezogen wordt, dat zich mengt met het zoute water. Het relatief zoute, en dus zwaardere, mengsel zal zich vervolgens als een bodemstroming door het spuikanaal bewegen.

Op bladzijde 84 e.v. van het college-dictaat "Dichtheidsstromen en interne golven" (lit. 14) wordt de voortplanting van een zoutwatertong in een zoet kanaal behandeld. Figuur 6.4 illustreert de situatie.

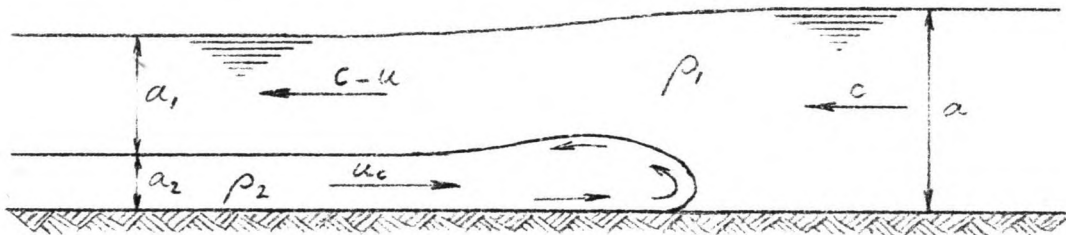


Fig. 6.4, Voortplanting van zoutwatertong in een zoet kanaal.

De voortplantingsnelheid van de zouttong wordt gegeven door de formule:

$$c = \sqrt{\varepsilon \cdot g \cdot \frac{a_2}{a} \cdot \frac{(a - a_2) \cdot (2a_2 - a_2)}{(1 - \beta_2) \cdot a_2 + (1 + \beta_2) \cdot a}}$$

waarin:  $\varepsilon = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1}$ , de relatieve dichtheid van de lagen,

$g$  = zwaartekrachtsversnelling,

$\beta_2$  = coëfficiënt voor wrijvingsverliezen,  
 en de overige variabelen volgens figuur 1.31.

De snelheid en laagdikte van de zouttong zijn echter aan een maximum gebonden; als deze waarde overschreden wordt treedt instabiliteit op, met als gevolg dat het front zich voortplant met de maximale snelheid en de maximale laagdikte, terwijl daar nog een tweede, langzamer, golf achteraan komt. Figuur 6.5 illustreert dit.

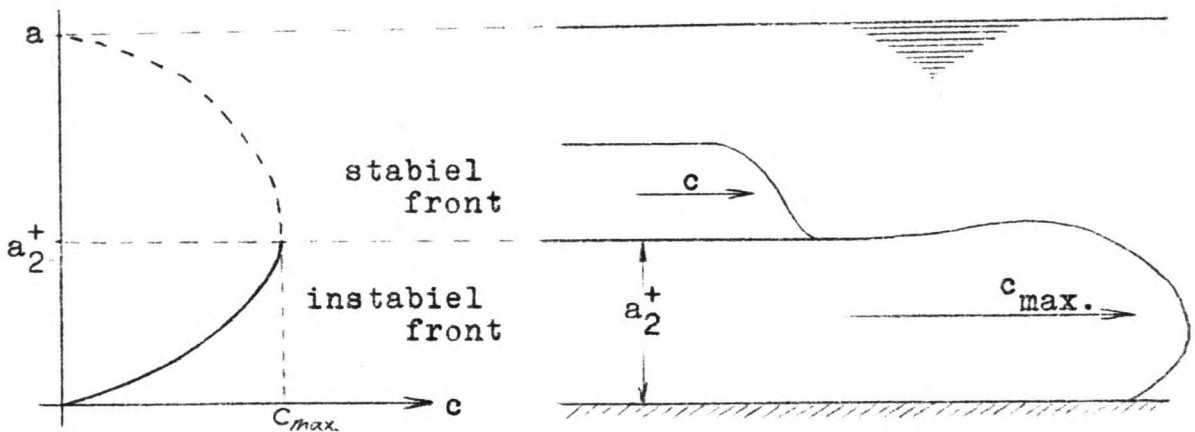


Fig. 6.5, Verband tussen de voortplantingssnelheid van de zouttong en de laagdikte.

Onderstaande tabel geeft de relatie tussen wrijvingscoëfficiënt, maximale laagdikte en voortplantingssnelheid van de zouttong, volgens lit. 14.

$\beta_2$	$\frac{a_2}{a}$	$\frac{c_{max.}}{\sqrt{\epsilon \cdot g \cdot a}}$
0	0,35	0,53
,5	0,39	0,48
1	0,42	0,44

Tabel 6.1.

Het criterium voor stabiliteit is subkritische stroming achter het front, of:

$$\frac{(u_1 - c)^2}{\epsilon \cdot g \cdot a_1} < 1.$$

Na deze beschrijving van de processen zullen we in de volgende paragraaf trachten een en ander te kwantificeren.

### 6.2.3 Berekeningen

We bepalen ons in de eerste plaats bij het lopende-golf verschijnsel op het spuikanaal. Hiertoe schematiseren we het hoogwater op de Westerschelde tot een blokvorm, met een hoogte  $\frac{1}{2}V_2 \times H.W. = \frac{1}{2}V_2 \times 2,59 = 1,83 \text{ m}$ , zie figuur 6.6.

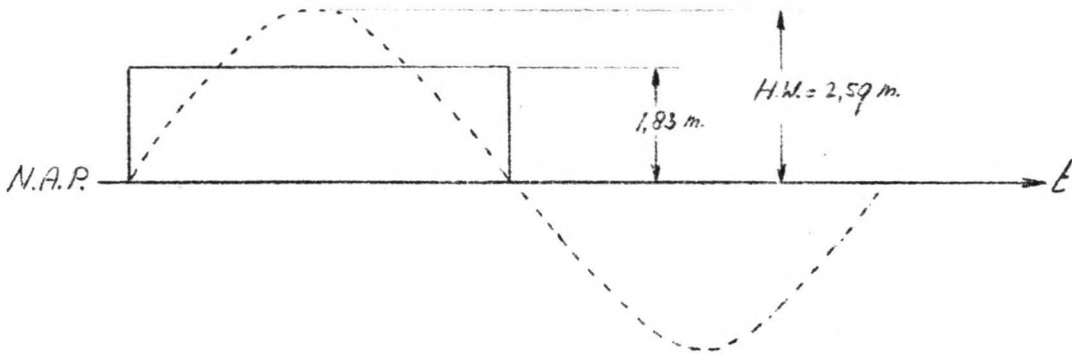


Fig. 6.6 , Schematisatie van het hoogwater.

Bij de spuisluis treedt dan, wanneer er één of meerdere kokers open blijven staan, de situatie op zoals geschetst in figuur 6.7.

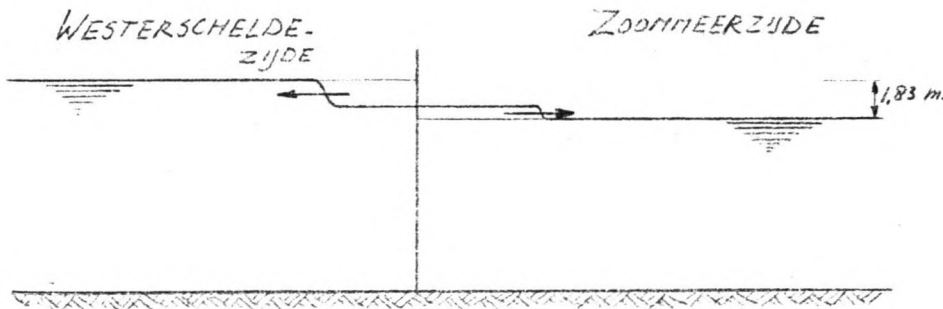


Fig. 6.7 , Lopende golf op het spuikanaal.

Voor de hoogte van de golf op het spuikanaal kan nu afgeleid worden:

$$a = 2 \cdot \frac{y_1}{y_1 + y_2} ,$$

(zie ook lit. 12).

Hierin:  $\hat{a}$  = hoogte van de lopende golf op spuikanaal,  
 $y_1 = b_1 \cdot \sqrt{g \cdot h_2}$ , waarin  $b_1$  en  $h_1$  respectievelijk  
de breedte en de hoogte van de  
geöpende koker(s) zijn,  
 $y_2 = b_2 \cdot \sqrt{g \cdot h_1}$ , waarin  $b_2$  en  $h_2$  de afmetingen van  
het spuikanaal representeren.

De waarde van  $y_1$  varieert met het aantal kokers  
dat open blijft staan. We vinden:

$$\begin{aligned} 1 \text{ koker open : } & y_1 = 1 \cdot 3,45 \cdot \sqrt{10 \cdot 5,5} = 25,6 \\ 2 \text{ kokers open: } & y_1 = 2 \cdot 3,45 \cdot \sqrt{10 \cdot 5,5} = 51,2 \\ 3 \text{ kokers open: } & y_1 = 3 \cdot 3,45 \cdot \sqrt{10 \cdot 5,5} = 76,8 \end{aligned}$$

Voor de bepaling van  $y_2$  schematiseren we het  
stroomprofiel van het spuikanaal tot een rechthoek,  
met een breedte van 91 m. en een diepte van 7 m.

We vinden dan:  $y_2 = 91 \cdot \sqrt{10 \cdot 7} = 761$

Voor de lopende golf op het kanaal vinden we,  
met gebruikmaking van deze gegevens:

$$\begin{aligned} 1 \text{ koker open : } & \hat{a} = 2 \cdot 25,6 / (25,6 + 761) = 0,07 \text{ m.} \\ 2 \text{ kokers open: } & \hat{a} = 2 \cdot 51,2 / (51,2 + 761) = 0,13 \text{ m.} \\ 3 \text{ kokers open: } & \hat{a} = 2 \cdot 76,8 / (76,8 + 761) = 0,18 \text{ m.} \end{aligned}$$

De lopende golf plant zich voort met een  
snelheid van meer dan 8 m/sec ( $\sqrt{g \cdot a} = \sqrt{70} = 8,4$  m/sec).  
De snelheid van het water is echter veel kleiner, en  
wordt gegeven door de formule:  $v_{\text{materie}} = \sqrt{g/a} \cdot \hat{a}$ .

We vinden:

$$\begin{aligned} 1 \text{ koker open : } & v_{\text{mat.}} = \sqrt{10/7} \cdot 0,07 = 0,08 \text{ m/sec.} \\ 2 \text{ kokers open: } & v_{\text{mat.}} = \sqrt{10/7} \cdot 0,13 = 0,16 \text{ m/sec.} \\ 3 \text{ kokers open: } & v_{\text{mat.}} = \sqrt{10/7} \cdot 0,18 = 0,22 \text{ m/sec.} \end{aligned}$$

In het voorgaande is nog geen rekening gehouden met de gelaagde stroming, die optreedt door de dichtheidsverschillen tussen het binnendringende en in het kanaal aanwezige water. De snelheid die we vinden voor de gelaagde stroming kunnen we superponeren op de materiesnelheid ten gevolge van het golfverschijnsel.

Het volgende proces, de menging van het zoute Westerscheldewater met het zoete Zoommeerwater, is moeilijk kwantificeerbaar. Voor een degelijk onderbouwde uitspraak hieromtrent zou modelonderzoek noodzakelijk zijn.

Er is wel onderzoek gedaan naar de lozing van warm (en dus lichter) water op rivierwater met normale temperatuur, zoals dat voorkomt bij electriciteitscentrales. De "European course on heat disposal from power generation in the water environment", lit. 15, gaat hier uitgebreid op in.

In de onderstaande figuur is het stroomprofiel van de spuisluis en van het spuikanaal geschetst, in de juiste verhouding. We zien dat het debiet dat door een koker stroomt zich nog veel zal spreiden, voordat het als een bodem-stroming over de gehele breedte van het kanaal verder zal gaan. Als we verder bedenken dat het zoute water met grote snelheid uit de koker stroomt - gemiddeld 3,7 m/sec- kunnen we stellen dat er veel turbulentie, en dus veel menging, op zal treden.

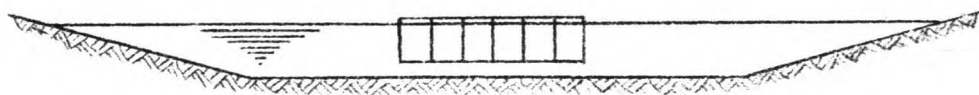


Fig. 6.8 , Stroomprofiel van spuisluis en spuikanaal.

Uit figuur 6-9 van eerdergenoemde lit. 15, hier weergegeven op bijlage 11<sup>a</sup>, en de berekeningen van bijlage 11<sup>b</sup> kunnen we afleiden dat de maximale chlorideconcentratie op de bodem ongeveer gelijk is aan 0,8-maal de chlorideconcentratie van het binnendringende water. Dit houdt dus voor deze maximale waarde -waarbij het water het minst wordt verdund- een menging van zout water / zoet water = 4 / 1 in. Bij ons probleem is echter de menging, gemiddeld over het gehele stroomprofiel, van belang; Dit zal uiteraard veel meer zijn dan de menging 4/1. We zullen bij de volgende berekeningen voorlopig een menging 1 op 1 aannemen. We komen hierop later nog terug.

We kunnen ons nu bezig houden met de snelheid die het zoutwaterfront in het spuikanaal zal ontwikkelen. Bij berekeningen blijkt al spoedig dat er een instabiel front op zal treden; zelfs wanneer er slechts één koker van de sluis open staat is het binnendringend debiet zo groot dat er superkritische stroming achter het front optreedt. We zien in de eerder gepresenteerde tabel 1.3 dat de zouttong, met een maximale dikte  $a_2 = 0,39 \times a = 0,39 \times 7 = 2,73$  m, zich met een snelheid  $c_{\max.}$  voort zal planten, groot:  $c_{\max.} = 0,48 \times \sqrt{\epsilon \cdot g \cdot a}$   
 $= 0,48 \times \sqrt{0,0025 \cdot 10 \cdot 7} = 0,20$  m/sec.

Bij deze berekeningen is voor de wrijvingsverliezen de aanname gedaan:  $\beta_2 = 0,5$ . Dit kunnen we als een gemiddelde aanmerken. Bovendien blijft de invloed van  $\beta_2$  op de waarden voor de laagdikte en de voortplantingssnelheid beperkt tot ca. 10 %. Gezien deze feiten en de nauwkeurigheid van eerder gedane aannamen (o.a. menging) zullen we hier verder geen aandacht aan besteden.

Tenslotte dienen we nog rekening te houden met de toestroming van het zoete water, dat zich bij de sluis mengt met het binnendringende zoute water.



Het stroomprofiel van het spuikanaal zal ruimte moeten bieden aan drie verschillende stromingen; de zouttong met de maximale snelheid, de langzamere zoutgolf en de zoetwaterstroming naar de sluis toe. Figuur 6.9 illustreert deze stromingen.

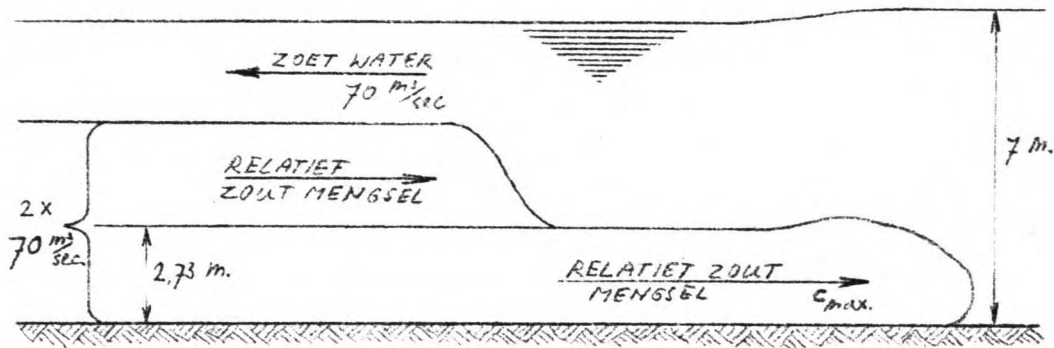


Fig. 6.9, De drie stromingen in het spuikanaal, bij 1 geöpende koker.

Het debiet dat door één open koker binnendringt bedraagt, gemiddeld over de hoogwater-periode,  $70 \text{ m}^3/\text{sec}$ . Voor de veronderstelde menging van 1 op 1 zou dus eveneens  $70 \text{ m}^3/\text{sec}$  zoet water nodig zijn, per open koker. Voor één open koker zal deze hoeveelheid nog wel toe kunnen stromen en is het mogelijk dat de veronderstelde menging ook werkelijk optreedt. Voor 2 of meer open kokers zal er nauwelijks ruimte voor de zoetwaterstroom zijn, zodat er minder menging optreedt. De zouttong zal dus minder verdund zijn en een grotere dichtheid hebben. Dit heeft tot gevolg dat ook de snelheid van de zouttong groter zal zijn. Voor een volledig ongemengde zouttong vinden we een voortplantingssnelheid:

$$c_{\max.} = 0,48 \cdot \sqrt{0,005 \cdot 10 \cdot 7} = 0,28 \text{ m}^3/\text{sec}.$$

In tabel 1.4, op de volgende bladzijde, zijn de voortplantingssnelheden voor de gemengde (1 op 1) en ongemengde zouttong gepresenteerd. De waarden worden verkregen door de zojuist bepaalde  $c_{\max.}$  te superponeren op de eerder berekende snelheid als gevolg van het golf-verschijnsel op het kanaal.

In de voorlaatste kolom van de tabel is de waarde van de voortplantingssnelheid aangegeven die we bij de verdere beschouwingen zullen hanteren. De laatste kolom geeft de tijd die de zouttong nodig zou hebben om het totale spuikanaal te passeren en zo vak III te bereiken. Hierbij zij nog opgemerkt dat de duur van het hoogwater 6,35 uur is; daarna treedt er een volkomen andere situatie op, die beschouwd zal worden in de volgende paragraaf.

menging:	1 op 1			geen			
	$v_{mat.}$	$c_{max.}$	$v_{tot.}$	$c_{max.}$	$v_{tot.}$	$v_{tot.}$	$T_{kan.}$
1 koker	0,08	0,20	0,28	0,28	0,36	0,30	7,8
2 kokers	0,16	0,20	0,36	0,28	0,44	0,42	5,5
3 kokers	0,22	0,20	0,42	0,28	0,50	0,50	4,2

Tabel 6.2, Snelheid van de zouttong in het spuikanaal; in de laatste twee kolommen de waarden die verder gehanteerd zullen worden.

$v_{mat.}$  = materie-snelheid t.g.v. golf-verschijnsel,

$c_{max.}$  = zouttong-snelheid onder bepaalde aannamen voor de menging,

$v_{tot.}$  = totale snelheid van de zouttong,  
=  $v_{mat.} + c_{max.}$ ,

$T_{kan.}$  = tijd die het zoutwaterfront nodig heeft om het spuikanaal te passeren.

Snelheid in m/sec, T in uren.

### 6.3 Het al of niet optreden van de ongewenste topgebeurtenis

Als er één koker open blijft staan tijdens de hoogwaterperiode, komt er een hoeveelheid water, groot  $1,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ , op het Zoommeer. Dit water heeft een chloridegehalte van 6600 mg/ltr; het ontvangende vak III-zuid heeft in de beginsituatie een chloridegehalte van 300 mg/ltr. Als we veronderstellen dat op vak III-zuid directe en volledige menging plaats zou vinden, zou het gemiddelde chloridegehalte na één hoogwater met open koker(s) een waarde hebben:

$$1 \text{ koker open: } \text{Cl}^- = \frac{1,6 \cdot 6600 + 15,6 \cdot 300}{1,6 + 15,6} = \underline{886 \text{ mg/ltr.}}$$

$$2 \text{ kokers open: } \text{Cl}^- = \frac{2 \cdot 1,6 \cdot 6600 + 15,6 \cdot 300}{2 \cdot 1,6 + 15,6} = \underline{1372 \text{ mg/ltr.}}$$

We zien dat deze gemiddelde waarden hoog uitvallen in verhouding tot de waarde voor het optreden van de ongewenste topgebeurtenis; 600 mg/ltr. We hebben echter reeds gezien dat er in het geval van één open koker een tijd van 7,8 uur nodig is, voordat de zouttong het vak III zou bereiken en daar het chloridegehalte kan beïnvloeden. Voor twee open kokers bedraagt deze tijd 5,3 uur. Dit betekent dat er zeker geen directe menging op vak III-zuid verondersteld mag worden; dit houdt een extra veiligheid voor het systeem in.

We zullen nu eerst de situatie beschouwen dat één koker van de spuisluis open blijft staan, tijdens het hoogwater op de Westerschelde. De snelheid van de zouttong is in dat geval ca. 0,3 m/sec en het water van de zouttong is 1 op 1 gemengd met zoet water. Na de hoogwaterperiode, die 6,35 uur duurt, is het zoutfront ca. 6,9 km doorgedrongen op het spuikanaal, dus nog 1,5 km verwijderd van vak III.

Na het hoogwater volgt een laagwaterperiode op de Westerschelde, zodat er water gespuid kan worden van het Zoommeer naar de Westerschelde.

Aangezien de beheerder van de spuisluis een signaal krijgt wanneer een schuif van de spuisluis niet sluit, weet hij dat er wellicht zout water binnengedrongen is (niet zeker, want de wachtdeur heeft waarschijnlijk wel goed gefunctioneerd). Na geconstateerd te hebben dat er zout water binnengekomen is, kan hij adequate maatregelen treffen om verdere zoutindringing tegen te gaan en eventueel de zouttong terug te dringen. Deze maatregelen zullen eruit bestaan dat hij extra gaat spuien, zodat grote stroomsnelheden op het spuikanaal optreden.

De zouttong heeft in dit geval, nu zonder de snelheid ten gevolge van het golfverschijnsel, een snelheid van 0,22 m/sec. Bij gemiddelde getijomstandigheden op de Westerschelde heeft de spuisluis een lozingscapaciteit van  $139 \text{ m}^3/\text{sec}$ , gemiddeld over het gehele getij. Dit betekent gemiddeld over de laagwaterperiode ca.  $280 \text{ m}^3/\text{sec}$ . Dit komt neer op een snelheid op het spuikanaal van 0,44 m/sec, zodat de zouttong met een resulterende snelheid van 0,22 m/sec teruggedrongen zal worden. Alhoewel het werkelijk optredende proces gecompliceerder zal zijn, en er waarschijnlijk-vooral langs de bodem-wel wat zout water achter zal blijven, mogen we toch stellen dat vrijwel de gehele hoeveelheid zout water terug-geloozd zal worden op de Westerschelde.

De ongewenste topgebeurtenis zal onder deze omstandigheden dus niet optreden. Ook als de koker gedurende meerdere getijden open blijft staan heeft dit nog geen desastreuze gevolgen; het water dat tijdens het hoogwater binnenkomt kan steeds tijdens het laagwater weer geloozd worden.

We moeten nu nog wel de situatie onderzoeken waarbij de beheerder geen maatregelen neemt na de indringing van het zoute water, om welke reden dan ook. Dan zal dus het automatisch lozingsprogramma normaal doorgaan en lozing door het benodigde aantal kokers plaatsvinden.

We gaan de situatie na waarbij, volgens het automatisch lozingsprogramma, door drie kokers geloosd wordt. Hetgeen een vrij veilige aanname is, want meestentijds zal een lozing door één of twee kokers voldoende zijn. De gemiddelde stroomsnelheid op het spuikanaal is in dit geval 0,22 m/sec, wat betekent dat de zouttong een resulterende snelheid van juist 0 m/sec heeft, dus stilstaat. De langzamere zoutgolf zal door de spuistroming wel teruggedrukt worden naar de Westerschelde. Ook zal door turbulenties en menging aan de grenslaag tussen het zoute en zoete water een deel van de zoute laag meegevoerd worden door de spuistroom. Zo kunnen we aannemelijk maken dat aan het eind van de laagwaterperiode de situatie is ontstaan zoals geschetst in de volgende figuur.

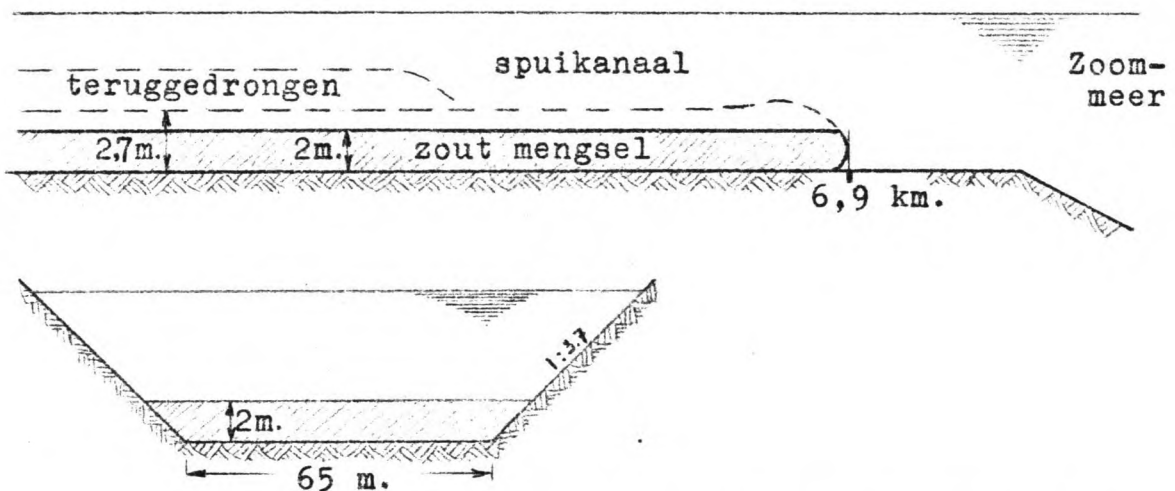


Fig. 6.10, Situatie van de zouttong in het spuikanaal ná het spuien door drie kokers tijdens het laagwater.

Er bevindt zich nu nog een hoeveelheid zout water in het spuikanaal, groot:  $2 \cdot (65 + 3,7 \cdot 2) \cdot 6900 = 1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ , met een chloridegehalte tussen de 3000 en 4000 mg/ltr, afhankelijk van de opgetreden menging. Wanneer nu tijdens het volgende hoogwater op de Westerschelde de koker weer open blijft staan zal daar weer  $1,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  zout water bij komen, met een chloridegehalte van 6600 mg/ltr.

Het gemiddelde chloridegehalte op vak III-zuid loopt hierdoor op tot de waarde:

$$\text{Cl}^- = \frac{1 \cdot 3500 + 1,6 \cdot 6600 + 15,6 \cdot 300}{1 + 1,6 + 15,6} = 1030 \text{ mg/ltr,}$$

terwijl de zouttong nu ca. 5 km. doordringt op het bekken tussen Oesterdam en Markiezaatskade. Het zal duidelijk zijn dat we dit wél aanmerken als het optreden van de ongewenste topgebeurtenis.

Vervolgens beschouwen we de situatie waarbij er twee kokers falen en openstaan tijdens de hoogwaterperiode. De afstand die de zouttong aflegt, gedurende de hoogwaterperiode is 9,6 km; de zouttong is dus al doorgedrongen in het bekken tussen Oesterdam en Markiezaatskade. Het gemiddelde chloridegehalte op vak III-zuid bedraagt in dit geval 1372 mg/ltr en overschrijdt hiermee de ongewenste-topgebeurtenis-waarde (600 mg/ltr) vér.

Verder is het zo dat het chloridegehalte van de zouttong ook groter zal zijn dan in het voorgaande geval; er heeft immers veel minder menging kunnen plaatsvinden bij de spuisluis. Tenslotte geldt de overweging dat de zouttong nu een grotere snelheid heeft en dus moeilijker terug te dringen zal zijn door spuien tijdens het volgende laagwater op de Westerschelde.

Op grond van deze overwegingen kunnen we stellen dat bij 2 falende kokers, tijdens het hoogwater op de Westerschelde, de ongewenste topgebeurtenis wél optreedt.

In figuur 6.11, op de volgende bladzijde, zijn de resultaten van deze paragraaf nog eens weergegeven.

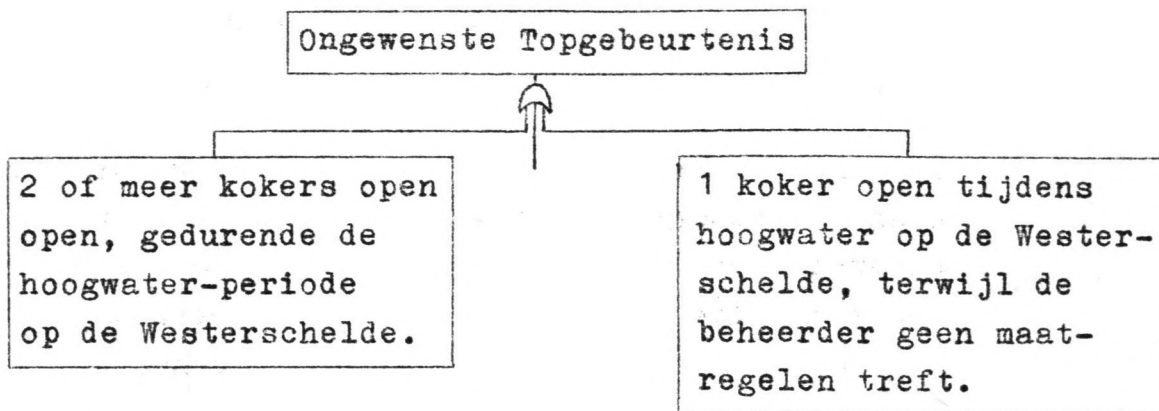


Fig. 6.11, Twee gebeurtenissen waardoor de ongewenste topgebeurtenis veroorzaakt kan worden.

## 7 Gestremde lozing door de spuisluis

### 7.1 Hydrologische omstandigheden

Bij de presentatie van de kop van de foutenboom hebben we reeds gezien dat ook een gestremde lozing door de spuisluis de ongewenste topgebeurtenis tot gevolg kan hebben. In deze paragraaf gaan we nader in op deze gebeurtenis.

Wanneer de lozing door de spuisluis geheel of gedeeltelijk gestremd is, zal doorspoeling van het Zoommeer met zoet water niet of slechts in beperkte mate mogelijk zijn. Dit leidt tot een stijging van het chloridegehalte van het water in het meer. In sommige gevallen, onder bepaalde hydrologische omstandigheden, zal dit leiden tot het optreden van de ongewenste topgebeurtenis; in andere gevallen zal het chloridegehalte de grens van 600 mg/ltr niet overschrijden.

Om de kans op het optreden van de ongewenste topgebeurtenis af te kunnen schatten, dienen we verschillende aannamen te doen omtrent het toekomstig functioneren van het Zoommeer-systeem. Zo is er op dit ogenblik nog grote onzekerheid omtrent de omvang van de zoutlast bij de schutsluizen. We gebruiken bij deze beschouwing de resultaten van de serie-2 berekeningen van Rijkswaterstaat, gepresenteerd in de nota

"De chloridebelasting en het zoetwaterverlies via de schutsluizen van het toekomstige Zoommeer", lit. 9.

De hierbij gedane aannamen zijn:

- Zoutlast bij de schutsluizen volgens de gemiddelde prognose van het modelonderzoek,
- Geen terugwinnen van zoet water bij de schutsluizen, (wat in dit geval van gestremde lozing logisch is),
- 3 duwvaartsluizen in de Philipsdam en 1 jachtensluis,
- Wel een sluis in de Oesterdam,
- De sluisen werken op maximum capaciteit.



Uit het resultaat van deze berekeningen-serie-2, hier weergegeven op bijlage 11. zien we dat vak III van het Zoommeer het meest gevoelig is voor het optreden van de ongewenste topgebeurtenis; dit vak heeft in alle gevallen het hoogste chloridegehalte. We zullen ons nu dus richten op vak III. In figuur 7.1 is het interessante deel van de berekeningsresultaten gepresenteerd.

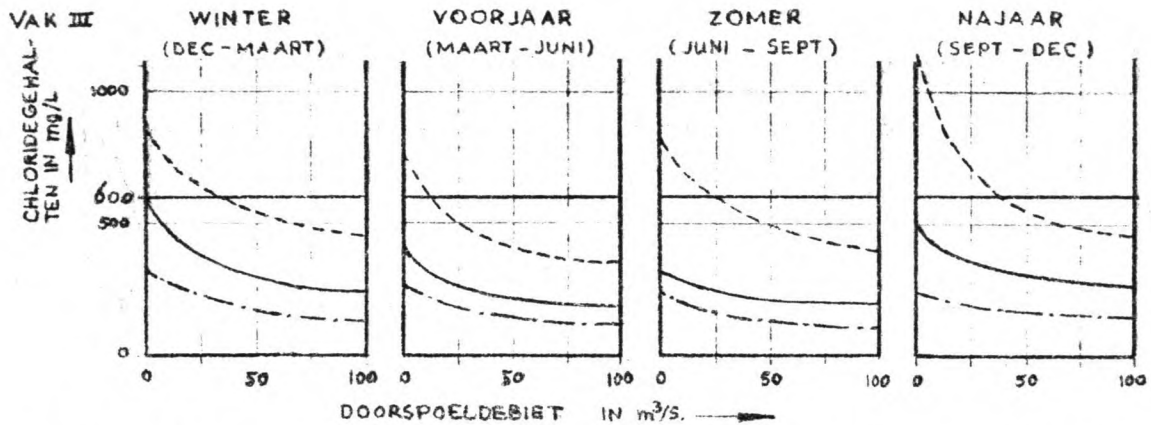


Fig. 7.1, Verloop van het chloridegehalte op vak III als functie van het doorspoeldebiet, (Bron: lit. 9).

Uit bovenstaande figuur kunnen we concluderen dat, wanneer er gedurende de winter een volledige stremming van de spuisluis optreedt (doorspoeldebiet = 0), de kans op het optreden van een chloridegehalte groter dan 600 mg/ltr ongeveer een half is. Voor het voorjaar is deze kans lastiger te bepalen. We schetsen hiertoe de kansdichtheidsfunctie voor het chloridegehalte bij een doorspoeldebiet = 0, uitgaande van de gegevens:

- gemiddelde  $\text{Cl}^-$ -gehalte = 425 mg/ltr,
- maximum  $\text{Cl}^-$ -gehalte = 775 mg/ltr,
- minimum  $\text{Cl}^-$ -gehalte = 250 mg/ltr.

Aangezien de berekeningen zijn uitgevoerd over een periode van 42 jaar, is de over- resp. onderschrijdings-frequentie van het maximum- resp. minimum chloridegehalte 1-maal in 42 voorjaren.

De kansdichtheidsfunctie die we hieruit benaderen is gegeven in figuur 7.2.

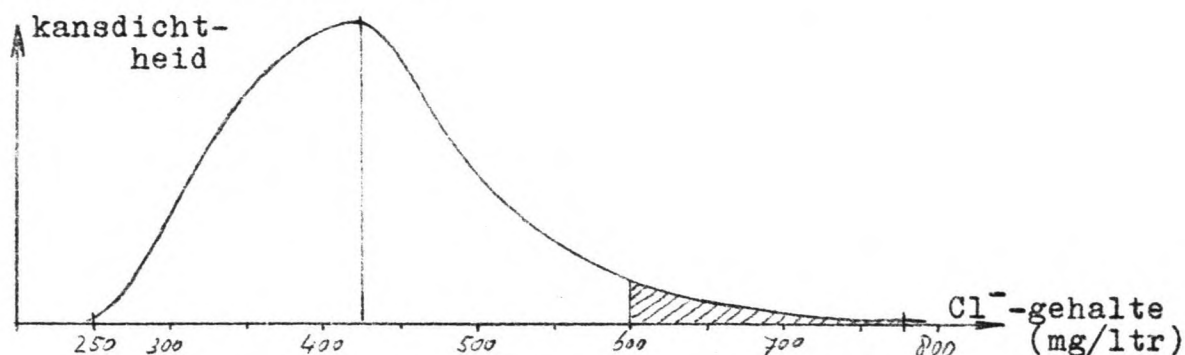


Fig 7.2 , Kansdichtheidfunctie van het chloridegehalte op vak III, in het voorjaar, zonder doorspoeling.

Door in de figuur het oppervlak onder de kansdichtheidskromme, rechts van de lijn  $\text{Cl}^- = 600 \text{ mg/ltr}$ , te vergelijken met de totale oppervlakte (=100%) krijgen we een indruk van de kans op het optreden van een chloridegehalte groter dan  $600 \text{ mg/ltr}$ . Het resultaat is een kans van ca.  $1/20$ .

Op dezelfde wijze kunnen we deze kans bepalen voor het geval dat de stremming optreedt gedurende het najaar of de zomer. We vinden voor de zomer een kans van ca.  $1/20$  en voor het najaar  $1/5$ .

Om nu de kans op jaarbasis te bepalen geldt:

$$\begin{aligned}
 P(\text{Cl}^- > 600 \text{ mg/ltr, gehele jaar}) &= P(\text{Cl}^- > 600, \text{ winter}) \\
 &\quad + P(\text{Cl}^- > 600, \text{ voorjaar}) \\
 &\quad + P(\text{Cl}^- > 600, \text{ zomer}) \\
 &\quad + P(\text{Cl}^- > 600, \text{ najaar}).
 \end{aligned}$$

Hierin kan b.v. voor de winter gesubstitueerd worden:

$$\begin{aligned}
 P(\text{Cl}^- > 600, \text{ winter}) &= P(\text{winter}) \times P(\text{Cl}^- > 600 \mid \text{winter}) \\
 &= \frac{1}{4} \times \frac{1}{2} = 1/8,
 \end{aligned}$$

(de notatie  $P(A|B)$  geeft aan: de kans op gebeurtenis A, gegeven dat gebeurtenis B optreedt.)

Het resultaat van de totale som is nu:

$$\begin{aligned}
 P(\text{Cl}^- > 600 \text{ mg/ltr, gehele jaar}) &= 1/8 + 1/80 + 1/80 + 1/20 \\
 &= \underline{0,2}.
 \end{aligned}$$

Dit betekent, dat bij een volledige stremming van de spuisluis, de hydrologische omstandigheden in 2 op de 10 gevallen zodanig zijn, dat er een chloridegehalte optreedt, groter dan 600 mg/ltr.

Wanneer 5 van de 6 kokers van de spuisluis onbruikbaar zijn is het nog mogelijk het Zoommeer door te spoelen met een debiet van  $23 \text{ m}^3/\text{sec}$ , onder gemiddelde getijomstandigheden op de Westerschelde. We kunnen in figuur 1.39 zien dat ook in dit geval, zij het met een beduidend kleinere kans, de hydrologische omstandigheden zodanig kunnen zijn dat de ongewenste topgebeurtenis op kan treden. Op dezelfde wijze als bovenstaand kunnen we de kans afschatten dat de hydrologische omstandigheden zodanig zijn; het resultaat is  $P = 1/25$ .

Ook voor het geval dat 4 of 3 van de 6 kokers gestremd zijn geldt dezelfde beschouwing. Het resultaat is: 4 kokers gestremd -  $P = 1/150$ ,

3 kokers gestremd -  $P = 1/1000$ .

De kans dat de hydrologische omstandigheden zo zijn dat ook bij een stremming van 5 kokers de ongewenste topgebeurtenis optreedt, is verwaarloosbaar.

7.2 De tijdsduur voordat de ongewenste topgebeurtenis optreedt

Wanneer er een stremming van de spuilsuis optreedt zal de ongewenste topgebeurtenis niet plotseling optreden. Het bekken zal langzaam verzouten en wanneer de oorzaak van de stremming tijdig verholpen kan worden zal het chloridegehalte van 600 mg/ltr niet bereikt worden. Dit zal ook in de foutenboom tot uitdrukking moeten komen. Daartoe onderzoeken we in deze paragraaf hoe lang het duurt voordat de ongewenste topgebeurtenis optreedt wanneer een bepaald aantal kokers gestremd is.

Wanneer het chloridegehalte in vak III oploopt tot 600 mg/ltr zal de chlorideconcentratie in het resulterende waterbezwaar op het bekken groter of gelijk aan 600 mg/ltr moeten zijn. Uit tabel 2 van lit. 9 lezen we af dat het totale waterverlies van vak III, door de Kreekrak- en Oesterdamschutsluizen,  $18,3 \text{ m}^3/\text{sec}$  bedraagt. Het peil zal constant gehouden worden, dus zal ook de totale watertoevoer  $18,3 \text{ m}^3/\text{sec}$  moeten bedragen. Dit betekent dus dat er bij een volledig gestremde sluis een watertoevoer van  $18,3 \text{ m}^3/\text{sec}$  plaatsvindt, met een chloridegehalte van 600 mg/ltr of meer. Bij de stremming van 5 kokers zal er door de spuisluis een debiet van  $23,2 \text{ m}^3/\text{sec}$  geloosd kunnen worden, hetgeen betekent dat er een totaal debiet van  $23,2 + 18,3 = 41,5 \text{ m}^3/\text{sec}$  toegevoerd wordt. Op dezelfde wijze verkrijgen we: 4 kokers gestremd -  $Q = 64,7 \text{ m}^3/\text{sec}$ ,  
3 kokers gestremd -  $Q = 87,9 \text{ m}^3/\text{sec}$ .

In onderstaande figuur is de situatie geschematiseerd zoals die op vak III optreedt, bij volledige stremming van de spuisluis.

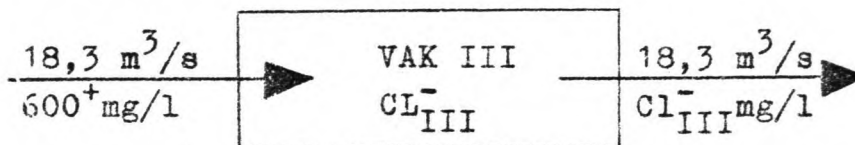


Fig. 7.3 , Schematisatie water- en chloridebalans van vak III, bij gestremde spuisluis.

Op de eerste dag van de stremming is het chloridegehalte op vak III 300 mg/ltr. De hoeveelheid water die binnenkomt voert een hoeveelheid chloride mee:

$18,3 \times 24 \times (60 \times 60) \times 0,625 = 0,99 \cdot 10^6 \text{ kg Cl}^-/\text{dag}$ ,  
 bij een chloridegehalte van het instromende water van  $0,625 \text{ kg/m}^3$ . De hoeveelheid chloride die het bekken verlaat, waarbij is gerekend dat het bekken over de gehele periode een gemiddelde chloridegehalte heeft van  $(0,300 + 0,625) / 2 = 0,4625 \text{ kg/m}^3$ , is:

$18,3 \times 24 \times (60 \times 60) \times 0,4625 = 0,73 \cdot 10^6 \text{ kg Cl}^-/\text{dag}$ .  
 Per dag komt er dus een hoeveelheid van  $(0,99 \cdot 10^3 \text{ minus } 0,73 \cdot 10^6) = 0,26 \cdot 10^6 \text{ kg}$  chloride op het bekken, dat een inhoud heeft van  $22 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ . Dit betekent een toename van het chloridegehalte met  $11,8 \text{ gr/m}^3$  per dag. Voor de toename van het chloridegehalte van 300 tot  $600 \text{ gr/m}^3$  is dan een tijdsduur van  $300 / 11,8 = 25$ -dagen benodigd.

Op dezelfde wijze kunnen we de tijdsduur berekenen die nodig is voor een dergelijke toename van het chloridegehalte, wanneer niet alle kokers gestremd zijn. Het resultaat van deze berekeningen is weergegeven in onderstaande tabel, waarin ook de resultaten uit de vorige paragraaf zijn weergegeven.

6 kokers gestremd	-	25 dagen	-	$P = 1/5$
5 kokers gestremd	-	11 dagen	-	$P = 1/25$
4 kokers gestremd	-	7 dagen	-	$P = 1/150$
3 kokers gestremd	-	5 dagen	-	$P = 1/1000$

Tabel 7.1, De kans op- en de tijdsduur voor het optreden van de ongewenste topgebeurtenis, bij stremming van een aantal kokers van de spuisluis.

Op de volgende bladzijde worden de resultaten van deze paragraaf weergegeven in foutenboom-vorm.

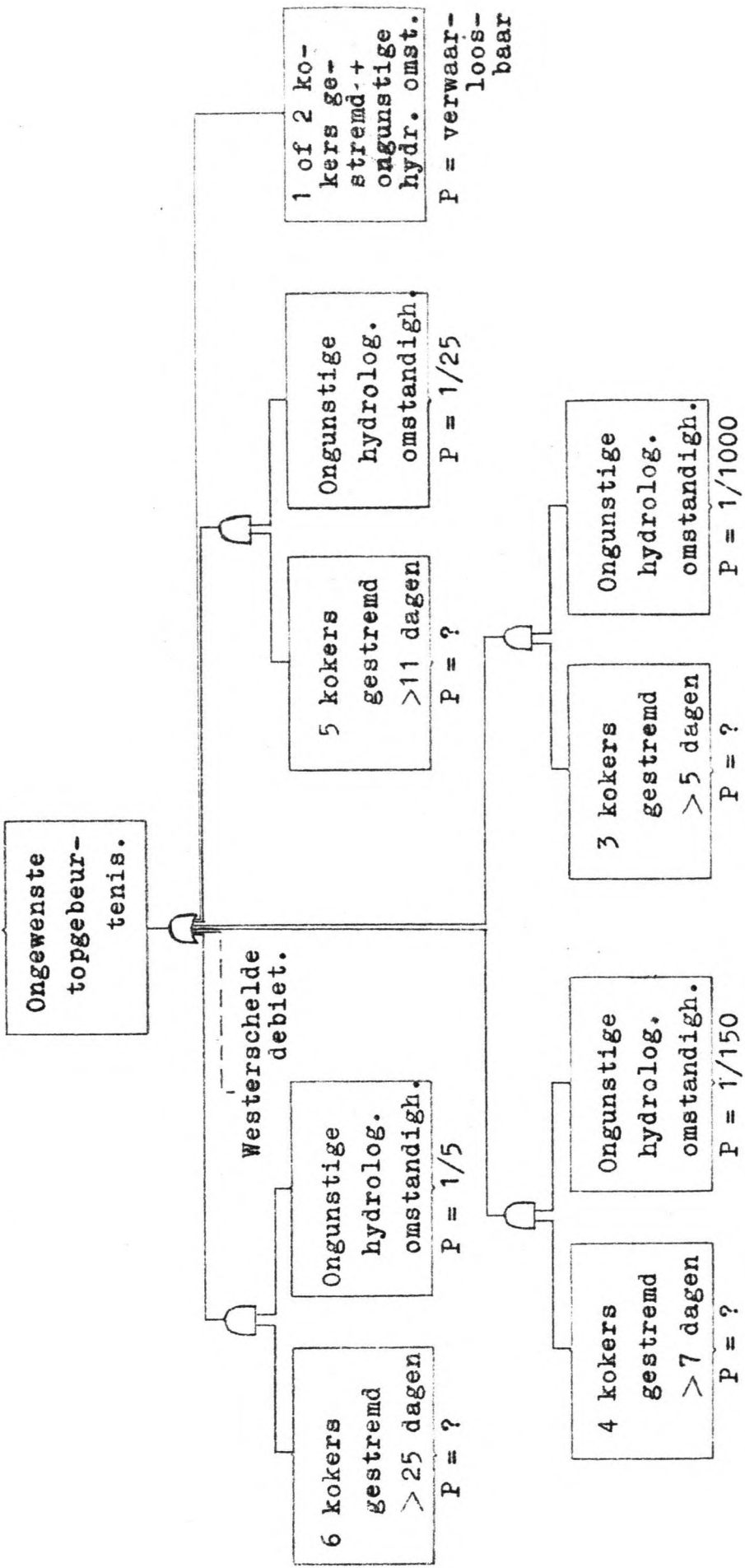


Fig. 7.4 , De kans dat de ongewenste gebeurtenis optreedt, als gevolg van een gestremde lozing, weergegeven in foutenboom-vorm.

## 8 Foutenboom

### 8.1 Algemeen

Met behulp van de informatie uit de vorige paragrafen kunnen we de kop van de foutenboom, zoals die al gepresenteerd werd in par. 4.2 , verder uitwerken. Figuur 8.1 , op de volgende bladzijde, geeft hiervan het resultaat.

We zullen daarna de twee hoofdgebeurtenissen die kunnen leiden tot de ongewenste topgebeurtenis, "gestremde lozing" en "debiet vanaf de Westerschelde", verder uitwerken in aparte deel-foutenbomen.

Ongewenste Topgebeurtenis;  
 Het optreden van een chloride-  
 gehalte 600 mg/ltr, op een  
 deel van het Zoommeer, door  
 falen van de spuisluis Bath.

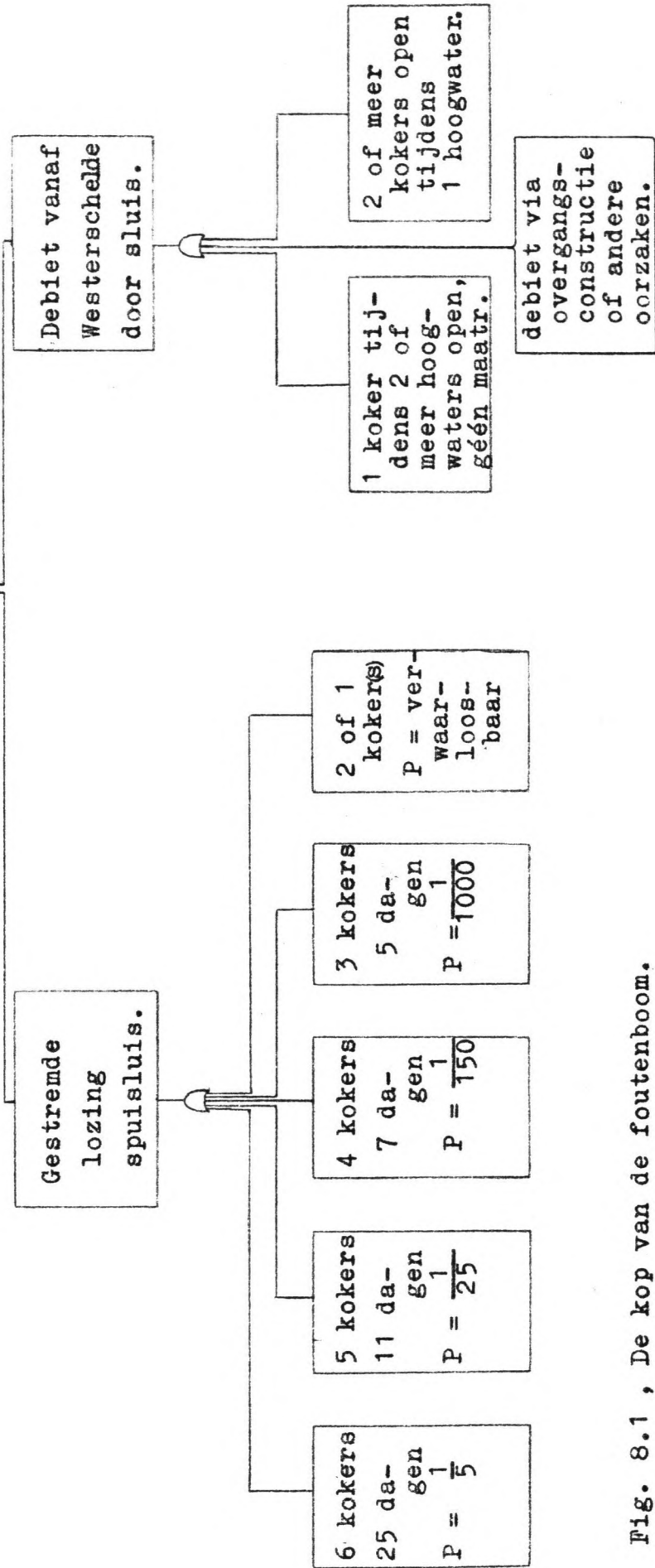


Fig. 8.1 , De kop van de foutenboom.



## 8.2 Foutenboom voor binnendringend Westerscheldewater

Op de volgende bladzijden zijn de hoofd- en deel-foutenbomen voor het optreden van de ongewenste topgebeurtenis ten gevolge van binnendringend Westerscheldewater gepresenteerd.

Bij het opstellen van de foutenbomen is van de aanname uitgegaan dat er door 2 à 3 kokers van de spuisluis wordt geloosd, tijdens het laagwater op de Westerschelde. Wanneer we deze aanname achterwege zouden laten, zou het opstellen van de foutenboom zeer gecompliceerd worden. Dan zouden namelijk enkele takken aan de boom toegevoegd moeten worden, waarin de kans op een bepaald lozingsdebiet via de spuisluis verdisconteerd kan worden. Een gevolg hiervan zou zijn, dat bepaalde seizoengebonden belastingsituaties, zoals ijsinvloeden, in de foutenboom gerelateerd moeten worden aan een bepaalde seizoen-waarde van het lozingsdebiet. Het zal duidelijk zijn dat een praktische uitwerking dan welhaast onmogelijk wordt.

Ook later, bij de kwantificering van de kansen op het optreden van deelgebeurtenissen, is gebruik gemaakt van deze aanname.

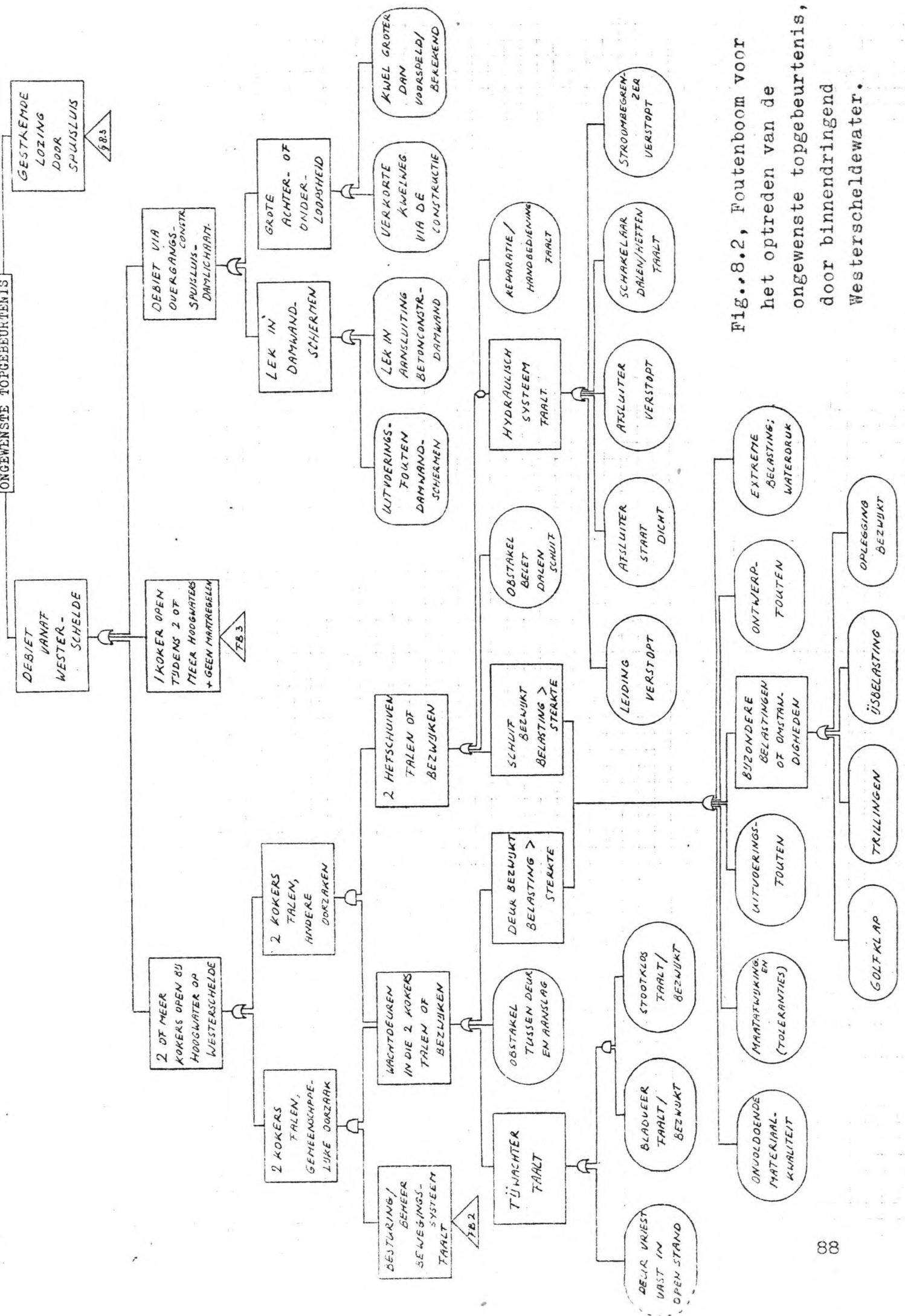


Fig. 8.2, Foutenboom voor het optreden van de ongewenste topebeurtenis, door binnendringing Westerscheldewater.

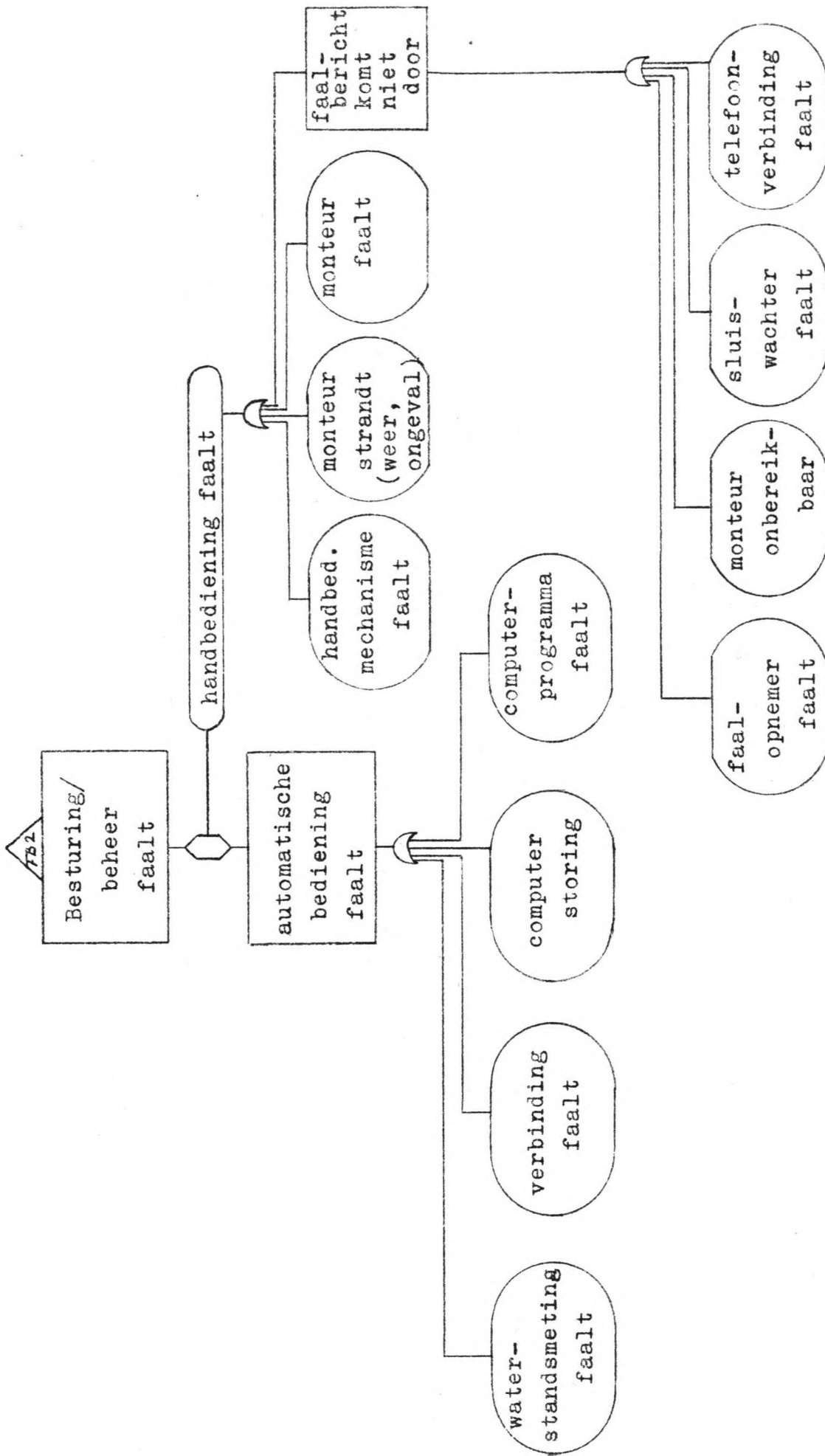
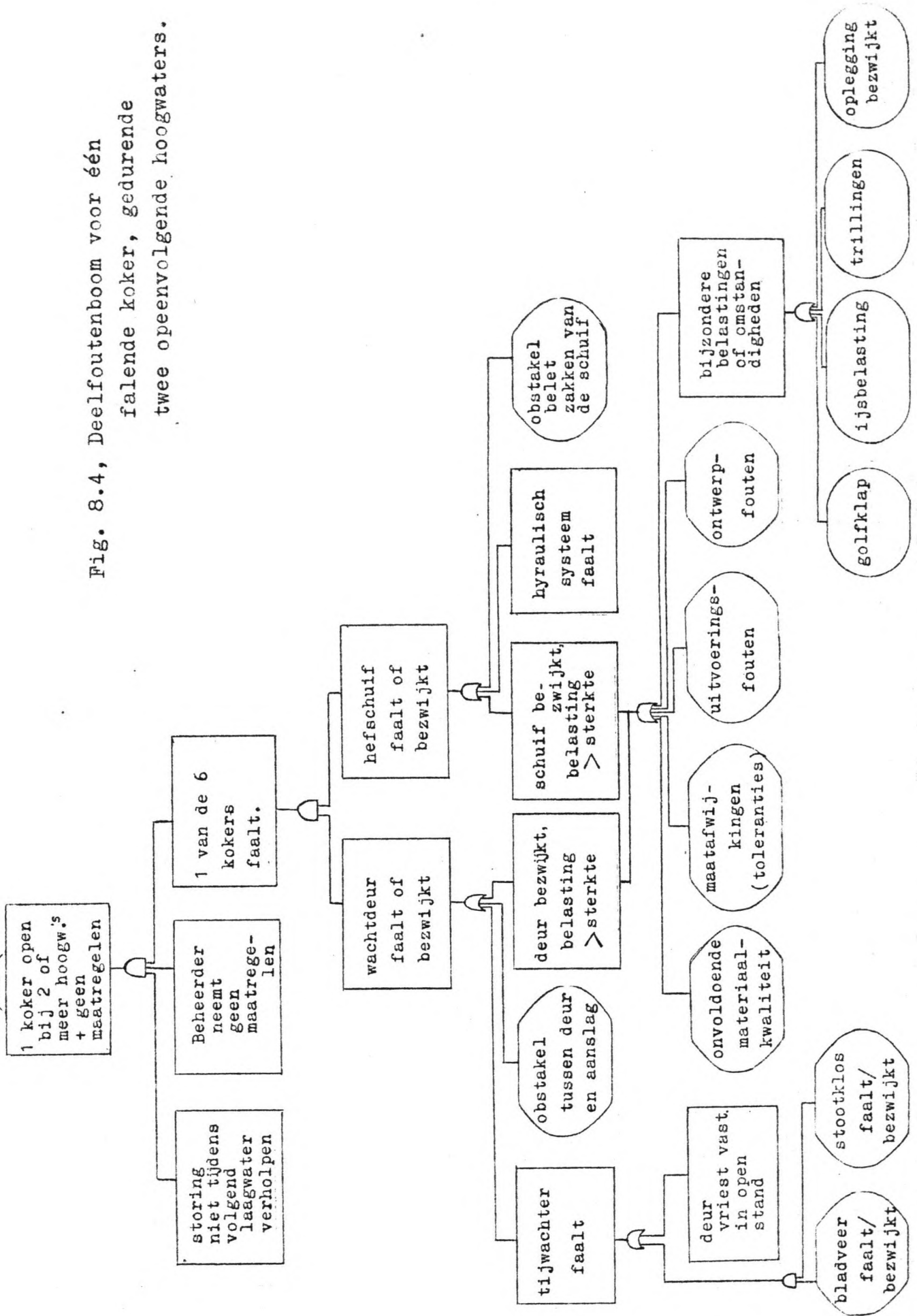


Fig. 8.3, Deelfoutenboom voor falen van de besturing van de schuiven.

Fig. 8.4, Deelfoutenboom voor één falende koker, gedurende twee opeenvolgende hoogwaters.



### 8.3 Foutenboom voor gestremde lozing door de spuisluis

In de figuur op de volgende bladzijde is de foutenboom gegeven voor het optreden van de ongewenste topgebeurtenis door een stremming van de spuisluis.

We hebben hier afgezien van de indeling naar tijdsduur van de stremming en het aantal gestremde kokers. Hier is voor het algemene geval van 'een stremming' nagegaan welke gebeurtenissen hiertoe de aanleiding kunnen zijn. Zoals ook in de vorige paragraaf beschreven voor de aannahme omtrent het lozingsdebiet, zou verwerking van tijdsduur en aantal-kokers in de foutenboom op grote problemen stuiten. Door de vele tijds-afhankelijke effecten die dan een rol gaan spelen, zou het opstellen van een foutenboom erg moeilijk zijn.

Het zal duidelijk zijn dat deze tijdseffecten ook bij het kwantificeren van de foutenboom voor grote problemen zorgen. In hoofdstuk 15 wordt hierop nog teruggekomen.

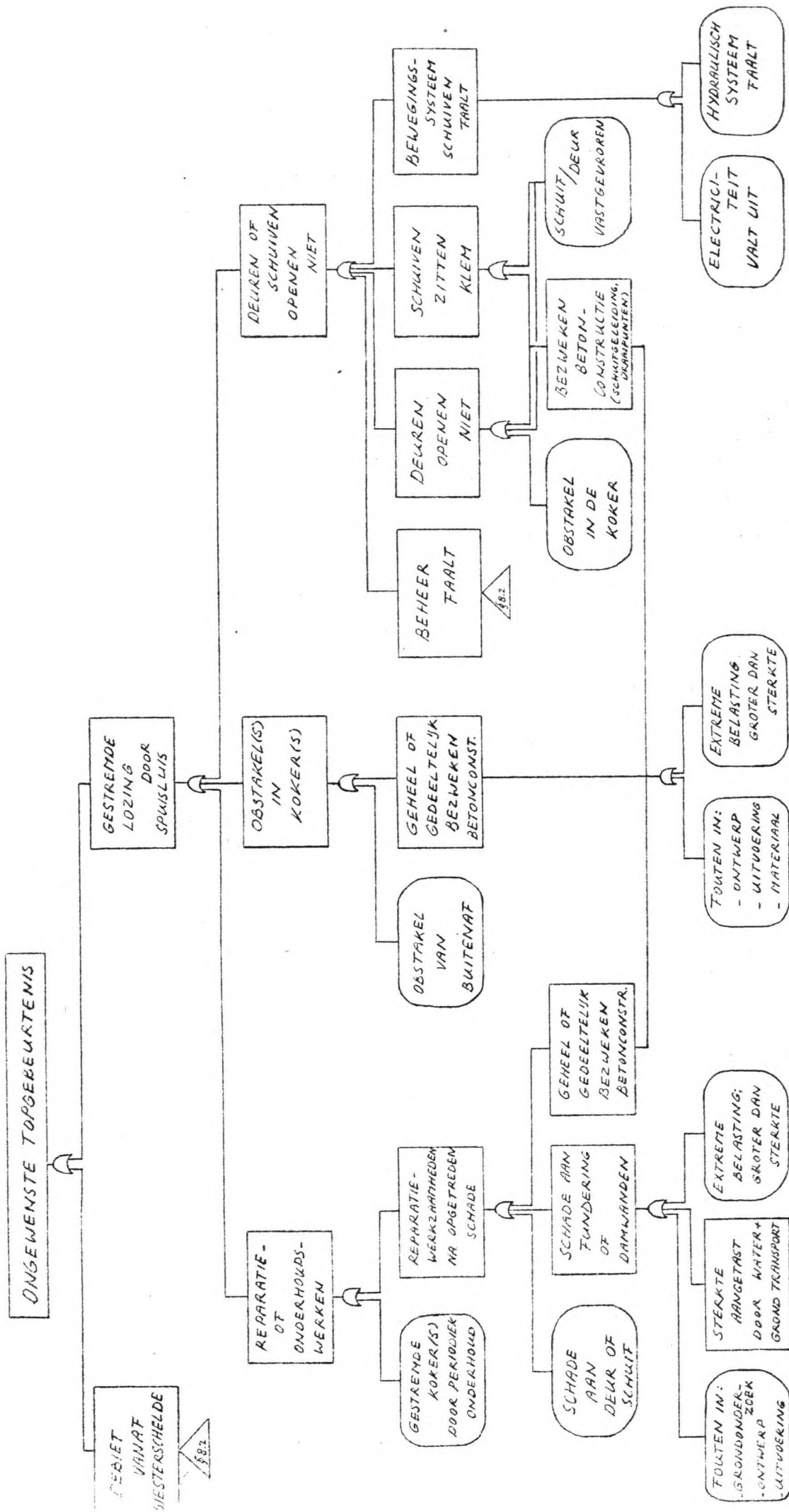


Fig 8.5 Foutenboom voor het optreden van de ongewenste togebeurtenis, ten gevolge van een gestremde lozing door de spuisluis.

## 9 De veiligheid tegen bezwijken van deuren en schuiven

### 9.1 Algemeen

In de voorgaande foutenboom hebben we gezien dat het bezwijken van een deur of schuif op kan treden ten gevolge van de volgende oorzaken:

1. Onvoldoende materiaalkwaliteit,
2. Maatafwijkingen (toleranties),
3. Grote belasting t.g.v. waterdruk,
4. Ontwerpfouten,
5. Uitvoeringsfouten,
6. Bijzondere belastingen of omstandigheden.

We zullen hier deze punten kort toelichten, waarna in de volgende paragrafen de kans op het optreden van elke gebeurtenis benaderd zal worden.

ad 1. Onvoldoende materiaalkwaliteit; Hout is een natuurprodukt en dus is de kwaliteit moeilijk te beïnvloeden. Voor de deuren en schuiven wordt gebruik gemaakt van azobé, een houtsoort met een grote sterkte en duurzaamheid. Het houvademecum, lit. 16, geeft hieromtrent informatie; zie ook bijlage 12. Het azobé heeft een duurzaamheidsklasse I, hetgeen betekent dat de levensduur als constructiehout langer is dan 25 jaar. Ook de weerstand tegen paalworm en termieten is groot. Het is dus gerechtvaardigd te stellen dat de kwaliteit, en met name de sterkte-eigenschappen, gedurende de gebruiksfase vrij constant zal zijn.

Wat betreft de sterkte is door Rijkswaterstaat voor de toelaatbare buigspanning  $\bar{\sigma} = 50 \text{ N/mm}^2$  gehanteerd en voor de toelaatbare schuifspanning  $\bar{\tau} = 3,6 \text{ N/mm}^2$ . Deze waarden zijn gebaseerd op gegevens uit de TGB-hout, het TNO-rapport H-77-93 en de CHR-brochure 78-1.

Ook de ervaring bij eerder ontworpen deuren en de daar toegelaten spanningen hebben hierbij een rol gespeeld.

In de genoemde CHR-brochure is voor de sterkte niet alleen de toelaatbare waarde gegeven, maar is ook de uit een groot aantal proefstukken bepaalde gemiddelde waarde en de variatie-coëfficiënt gegeven. We zullen bij onze berekeningen gebruik maken van deze waarden uit de CHR-brochure (lit. 17), die ook op bijlage 13 zijn weergegeven. Hierin vinden we voor de buigsterkte:

gemiddelde waarde  $\hat{\sigma}_b = 100 \text{ N/mm}^2$ ,  
 variatie coëfficiënt  $v = 0,15$ , waarin de  
 variatiecoëfficiënt is gedefiniëerd als  $v = \hat{\sigma}_b / s$ ,  
 waarin  $s$  de standaard afwijking voorstelt.

We vinden hieruit:

standaard afwijking  $s = 15 \text{ N/mm}^2$ .

Bij de berekeningen hebben we tevens dergelijke gegevens nodig voor het gemiddelde en de standaard afwijking van de schuifsterkte van het hout. Probleem is dat deze niet op bijlage 13 gegeven worden. Wel wordt er in tabel 3 van de CHR-brochure, hier weergegeven als bijlage 14, een gemiddelde afschuifsterkte gegeven, bepaald uit proeven op foutvrij hout met kleine afmetingen. Met behulp van een verhoudingsgetal, dat we afleiden uit de buigsterkte van normale en kleine foutvrije proefstukken, berekenen we uit de bekende waarde van de afschuifsterkte de in de berekeningen in te voeren waarden:

$\hat{\sigma}_b$  voor foutvrij klein proefstuk =  $178 \text{ N/mm}^2$ ,  
 $\hat{\sigma}_b$  voor normaal proefstuk =  $100 \text{ N/mm}^2$ ,  
 verhoudingsgetal =  $100/178$ .

$\hat{\tau}$  voor foutvrij klein proefstuk =  $21 \text{ N/mm}^2$  (bijl. 14),  
 $\hat{\tau}$  voor normaal hout =  $100/178 \cdot 21 = 11,8 \text{ N/mm}^2$ .



Ter bepaling van de standaardafwijking voor de afschuifsterkte hanteren we dezelfde variatie-coëfficiënt als voor de buigsterkte,  $v = 0,15$ .

We vinden dan:

$$\text{standaard afwijking } s = 1,8 \text{ N/mm}^2.$$

Deze waarden zullen bij de probabilistische berekeningen in de volgende paragrafen gehanteerd worden.

- ad 2. Maatafwijkingen; Azobé is een zeer harde houtsoort en kruisdradig, hetgeen de bewerking bemoeilijkt (zie ook bijlage 12). Het hout is vrij moeilijk te schaven of met kleine gereedschappen te bewerken. Hieruit zou men kunnen afleiden dat er grote afwijkingen in de maten van deuren en schuiven zitten. De bedrijven die de deuren en schuiven vervaardigen zijn hierin echter gespecialiseerd. Ook wanneer we in gebruik zijnde deuren bekijken zien we dat de maatafwijkingen niet groot zijn.

In onze berekeningen zullen we uitgaan van een afwijking van 1 mm. per zijde van een balk o.i.d. We berekenen dan de oppervlakte, of het weerstandsmoment, van de balk alsof deze aan iedere zijde 1 mm. kleiner is dan ontworpen. Het verschil met de oppervlakte, of weerstandsmoment, van de ontworpen balk nemen we aan als standaard afwijking.

- ad 3. Grote belasting t.g.v. waterdruk; Bij het ontwerp van de deuren en schuiven is door Rijkswaterstaat uitgegaan van een hoogwaterstand op de Westerschelde van 6,40 m. + NAP, en een Zoommeerwaterstand van NAP. Dit betekent een grote veiligheid, want de waterstand van 6,40 m.+ heeft een overschrijdingsfrequentie van  $2,5 \times 10^{-4}$ , zoals blijkt uit de figuur van bijlage 15. Voor de berekeningen in de volgende paragrafen herleiden we dit tot een gemiddelde waarde en een standaard afwijking voor de Westerschelde-waterstand. Het gemiddeld hoogwater bedraagt 2,59 m. + NAP.

Wanneer we de overschrijdingsfrequentie van  $2,5 \cdot 10^{-4}$  opzoeken in de tabel voor de normale verdeling, gegeven in bijlage 2, vinden we voor de betrouwbaarheidsindex een waarde:  $\beta = 3,5$ . Hieruit kunnen we voor de standaard afwijking van de hoogwaterstand,  $s_{hw}$ :

$$2,59 + 3,5 \times s_{hw} = 6,4 \Rightarrow s_{hw} = 1,1 \text{ m.}$$

Deze waarde zullen we voor de probabilistische berekeningen gebruiken, hoewel we beseffen dat we nu de extreme-waarde verdeling voor de waterstand hebben vereenvoudigd tot een normale verdeling. We komen hierop nog terug bij de verbeterde niveau-II berekening met benaderende kansverdeling.

De belasting op de deuren en schuiven is ook afhankelijk van de Zoommeerwaterstand, zoals in onderstaande figuur is weergegeven.

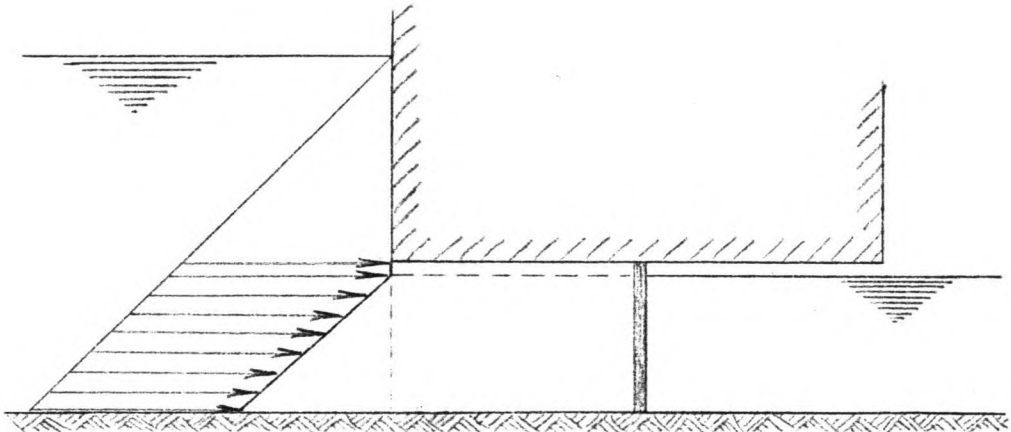


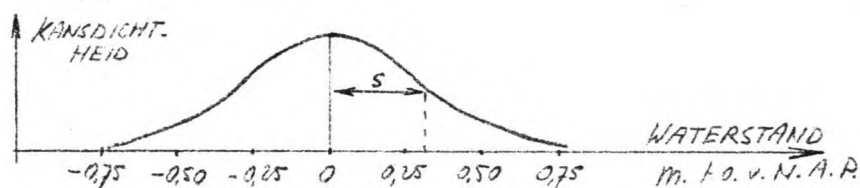
Fig. 9.1, Belasting op deur en schuif is gelijk aan het verschil van binnen- en buitenwaterstand.

Bij de berekening van Rijkswaterstaat is uitgegaan van een vast Zoommeerpeil op NAP. Alhoewel de waterstand op het Zoommeer zoveel mogelijk constant zal worden gehouden, is deze veronderstelling toch niet geheel juist. In de eerste plaats zal er windopzet en afwaaiing optreden.

In de tweede plaats is het mogelijk dat er in de toekomst wellicht toch een lagere waterstand wenselijk wordt geacht.

In de Rijkswaterstaat-notitie DDWT 81.223, lit. 18, vinden we voor de windinvloed een maximale waarde van 0,50 m, terwijl het streefpeil van het meer ligt tussen NAP + 0,25 en - 0,25 m. Uitgaande van deze gegevens nemen we voor de Zoommeerwaterstand een normale verdeling aan, zoals weergegeven in onderstaande figuur, met een gemiddelde van NAP en een standaard afwijking:

$$s_{zm} = 0,3 \text{ m.}$$



Figuur 9.2, Zoommeerwaterstand, normaal verdeeld.

ad 4. Ontwerpfouten; Het is zeer moeilijk hieromtrent uitspraken te doen. Het feit dat deuren en schuiven als houtconstructie worden uitgevoerd heeft hierop wel enige invloed. Doordat hout een natuurprodukt is, met niet voor te schrijven sterkte-eigenschappen, is er minder aan te cijferen dan een beton- of staalconstructie. Bij het ontwerpen van de deuren heeft men ook sterk teruggerepen op ervaringen met bestaande en vergelijkbare deur- en schuifconstructies. Het voordeel hiervan is dat eventuele fouten, door het voortdurend vergelijken, snel aan het licht komen.

Een andere reden om de kans op ontwerpfouten klein te achten is het feit dat de deuren en schuiven gemaakt worden door een gespecialiseerd bedrijf, met ervaring op dit gebied. Eventuele ontwerpfouten zouden tijdens de bouw dus alsnog herkend en gecorrigeerd kunnen worden.

Tenslotte speelt het feit dat de constructie van de deuren en schuiven eenvoudig is; de krachtswerking is snel te doorzien. Ook dit aspect verkleint de kans op het optreden van een ontwerpfout in de constructie.

Het aangeven van een waarde voor de grootte van de kans op ontwerpfouten is welhaast onmogelijk. Wellicht kunnen we voor de orde van grootte dezelfde waarde aanhouden als we later zullen vinden voor het bezwijken van de deur of schuif door één van de oorzaken 1, 2 of 3. Het alternatief zou zijn de kans = 0 te stellen; we besluiten tot het eerste.

- ad 5. Uitvoeringsfouten; Hierbij geldt voor een groot deel hetzelfde als onder punt 4 is vermeld. Ervaring met dergelijke constructies en bouw door een gespecialiseerd bedrijf spelen een grote rol. Voor de orde van grootte van de kans op b bezwijken van deur of schuif ten gevolge van uitvoeringsfouten zullen we ook dezelfde waarde aanhouden als onder punt 4 genoemd.
- ad 6. Bijzondere belastingen of omstandigheden; Hierbij denken we aan ijsbelasting, golklappen, trillingen en falende opleggingen. Deze gebeurtenissen worden ieder in een aparte paragraaf behandeld.

## 9.2 Bepaling bezwijkkans wachtdeur ten gevolge van waterdruk

### 9.2.1 Berekeningen Rijkswaterstaat

Door Rijkswaterstaat zijn de berekeningen voor de deur uitgevoerd met de volgende ontwerpwaterstanden:

Zoommeerzijde N.A.P.

Westerscheldezijde 6,40 m. + N.A.P.

Wat betreft de toelaatbare spanningen zijn de volgende waarden gehanteerd:

$$\text{buigsterkte } \bar{\sigma}_b = 50 \text{ N/mm}^2,$$

$$\text{afschuifsterkte } \bar{\tau} = 3,6 \text{ N/mm}^2.$$

Voor de belasting op de deur moet nog rekening gehouden worden met het feit dat we met zout water te maken hebben, met een grotere dichtheid. We hebben reeds gezien dat het chloridegehalte van het water ca. 7000 mg/ltr bedraagt, tijdens hoogwater. Wanneer we veronderstellen dat de gemiddelde watertemperatuur ca. 10 °C bedraagt, vinden we, via tabel 3.3 van het "Coastal engineering"-dictaat (lit. 19), een dichtheid van 1004,5 kg/m<sup>3</sup>.

Uitgaande van bovengenoemde gegevens zullen we een eenvoudige berekening uitvoeren voor de benodigde afmetingen van de hoofdonderdelen van de deur. We gaan hierbij uit van de hoofdmaten, zoals die door Rijkswaterstaat zijn gehanteerd, die gegeven zijn in de figuur op de volgende bladzijde.

Afschuiving van de pen van een regel.

$$\text{lengte van de regel} = 2,63 \text{ m.}$$

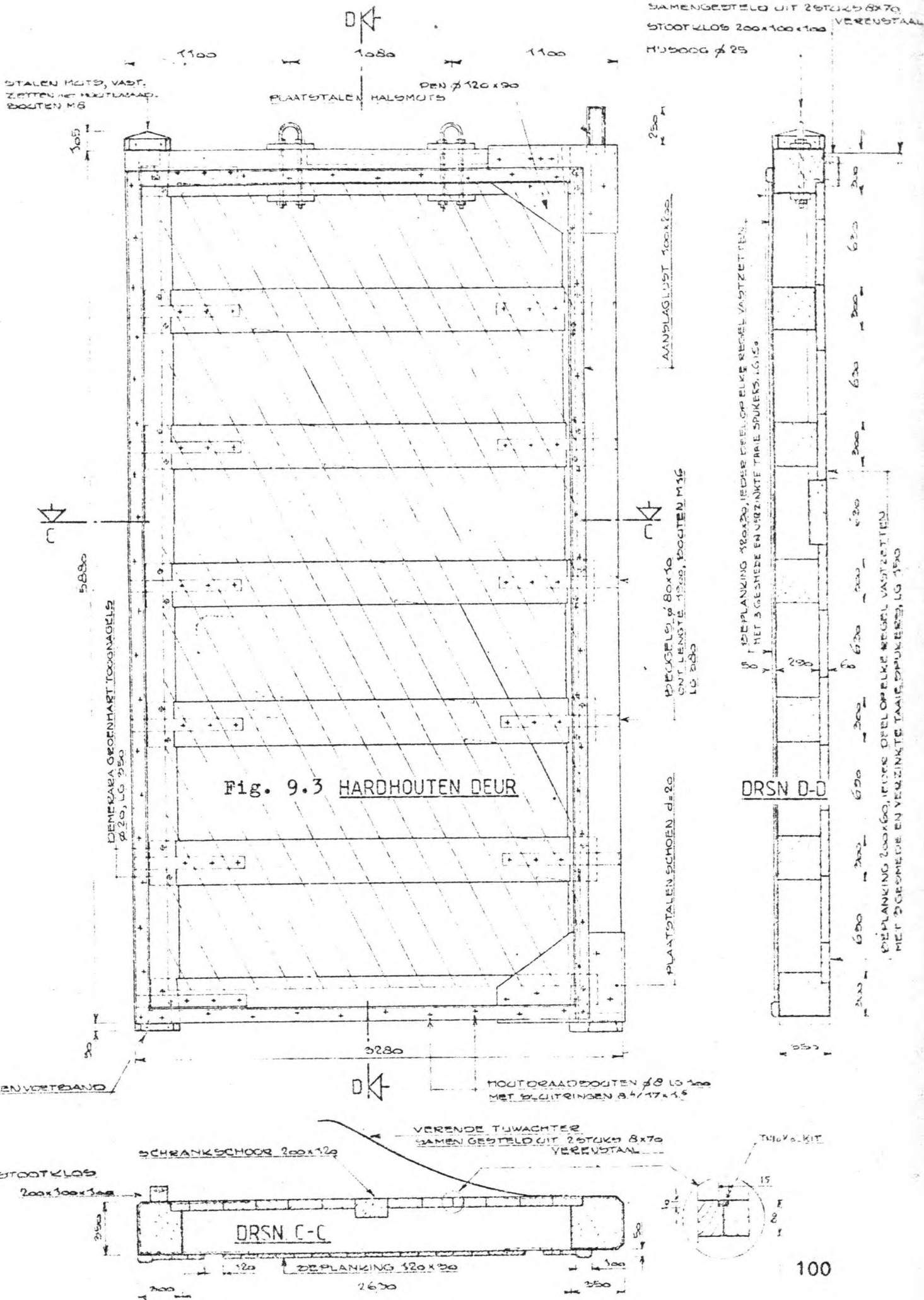
$$\text{waterdruk (6,4 m.)} = 6,4 \times \rho \times g = 63 \text{ kN/m}^2.$$

$$\text{hoogte van een veld} = 0,93 \text{ m.}$$

$$\text{Oplegkracht van de regel} = \frac{1}{2} \cdot 63 \cdot 2,63 \cdot 0,93 = 77 \text{ kN.}$$

Met de toelaatbare schuifspanning  $\bar{\tau} = 3,6$  en een parabolisch verloop van de schuifspanning over de hoogte van de pen, vinden we voor de benodigde oppervlakte van de pendoorsnede:

$$\text{Opp.} = \frac{3}{2} \cdot \frac{\text{oplegkracht}}{\text{toel.sch.sp.}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{77 \cdot 10^3}{3,6} = 32 \cdot 10^3 \text{ mm}^2.$$



De toegepaste oppervlakte bedraagt:  $300 \times 110 =$   
 $33 \cdot 10^3 \text{ mm}^2.$

Moment op de regel.

afstand h.o.h opleggingen = 3 m.

waterdruk (6,4 m.) =  $63 \text{ kN/m}^2.$

hoogte van een veld = 0,93 m.

Het belastend moment bedraagt (in het midden van de regel):

$$M_{\text{bel}} = \frac{1}{8} q l^2 = \frac{1}{8} \cdot (0,93 \cdot 63) \cdot 3^2 = 66 \text{ kN}.$$

Het benodigd weerstandsmoment voor de regelbalk volgt uit:

$$\bar{\sigma} = \frac{M}{W} \Rightarrow W = \frac{66 \cdot 10^{-3}}{50} = 1,34 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3.$$

Het toegepaste weerstandsmoment bedraagt (afmetingen regelbalk =  $290 \times 300 \text{ mm}^2$ ):

$$W_{\text{regel}} = \frac{1}{6} b h^2 = \frac{1}{6} \cdot 300 \cdot 290^2 = 4,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3,$$

hetgeen dus een grote marge met de benodigde waarde inhoudt.

Het blijkt dat afschuiving van de pen voor de regelbalk de maatgevende belastingsituatie is. In de volgende paragrafen zullen we probabilistische berekeningen uitvoeren voor zowel afschuiving van de pen als het buigend moment op de regel.

## 9.2.2 Probabilistische berekeningen voor de wachtdeur

### 9.2.2.1 Bezwijkkans afschuiving pen van de regel; Faalfunctie

Voor de nu volgende niveau-II berekening dienen we eerst de faalfunctie,  $Z$ , te bepalen, gedefiniëerd als het verschil tussen sterkte en belasting:

$$Z = R - S = \text{sterkte} - \text{belasting.}$$

De vergelijking  $Z = 0$  geeft de faalgrens aan, de overgang van functioneren van het onderdeel naar bezwijken.

$Z < 0$  geeft aan dat de sterkte overtroffen wordt door de belasting en dus dat het constructiedeel bezwijkt.

Voor de afschuiving van de pen van de regel drukken we de belasting en sterkte uit in de schuifspanning in de betreffende doorsnede.  $R$ , de sterkte, is dan de maximale schuifspanning die nog door de houtdoorsnede opgenomen kan worden;  $S$ , de belasting, is de schuifspanning die op de doorsnede wordt uitgeoefend door de waterdruk-belasting.

$$R = \text{opneembare schuifsp.} = \tau,$$

$$S = \frac{(\text{druk per m}^2) \cdot \text{veldhoogte} \cdot \text{balklengte}}{(2 \cdot \text{opleggingen}) \cdot (\text{oppervl. dsn.})} \cdot \frac{3}{2} =$$

$$\frac{3}{2} \cdot \frac{q \cdot 0,93 \cdot 2,63}{2 \cdot A},$$

$$Z = R - S = \tau - \frac{3}{2} \cdot \frac{q \cdot 0,93 \cdot 2,63}{2 \cdot A}.$$

Hierbij zij nog opgemerkt dat de waarden voor de veldhoogte en de balklengte zo weinig zullen variëren dat de deterministische grootte gehanteerd kan worden.

In de formule voor  $Z$  moeten we nu de druk,  $q$ , nog te vervangen door het waterstandsverschil over de deur,  $(H_{\text{buiten}} - h_{\text{binnen}})$ .

Het resultaat is:

$$Z = \tau - \frac{18058 \cdot (H - h)}{A} \quad (\text{N/mm}^2).$$



Voor het gemiddelde van  $Z$  vinden we, door de gemiddelde waarde van elke variabele in te vullen:

$$\mu(Z) = 11,8 - \frac{18058 \cdot (2,59 - 0)}{33000} = 10,4 \text{ N/mm}^2.$$

9.2.2.2 Bezwijkkans afschuiving pen; gemiddelde waarde, eerste orde - tweede moment methode

Bij de gemiddelde waarde - eerste orde-tweede moment methode, die we nu zullen gebruiken, wordt de bezwijkgrens,  $Z = 0$ , benaderd door een rechte, rakend aan de werkelijke bezwijkgrens. Dit is weergegeven in de volgende figuur, voor het geval dat  $Z$  beschreven wordt door twee variabelen.

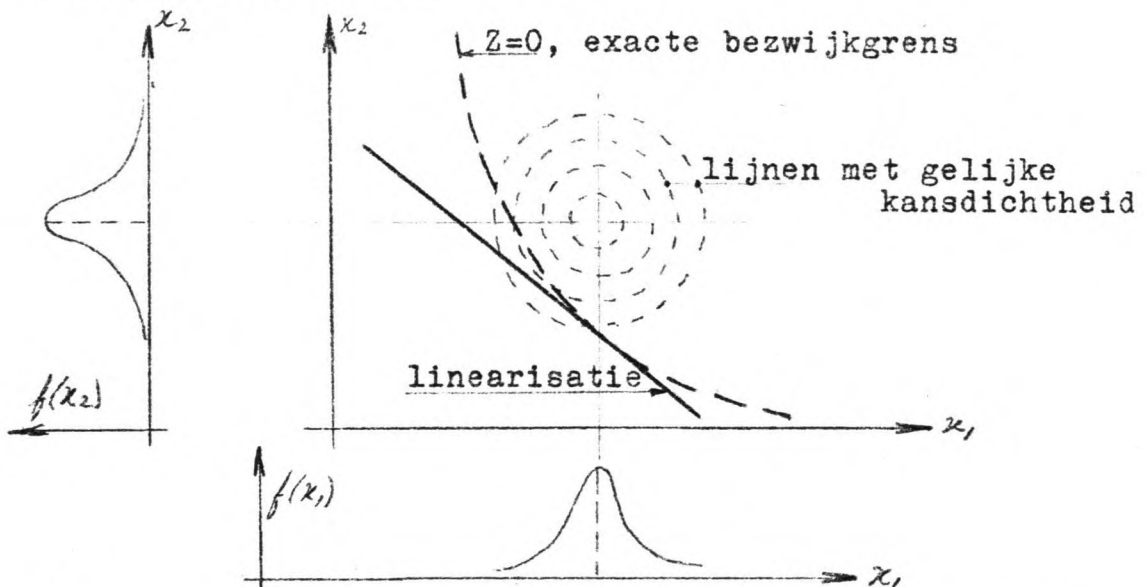


Fig. 9.4, Gemiddelde waarde-eerste orde-tweede moment benadering voor de bezwijkgrens  $Z = 0$ .

Er wordt echter geen aandacht besteed aan de keuze van het punt waarin de benaderende rechte raakt aan de werkelijke bezwijkgrens. We zullen later zien dat dit onnauwkeurigheden met zich brengt, die ondervangen kunnen worden door het raakpunt te kiezen dat de grootste kansdichtheid heeft. Dit wordt gedaan bij de verfijnde niveau-II methode, in de volgende paragraaf.

Voor de eerste orde - tweede moment methode bepalen we nu eerst de partiële afgeleiden van Z naar iedere variabele.

$$\frac{\delta Z}{\delta \tau} = 1 ,$$

$$\frac{\delta Z}{\delta h} = \frac{18058}{A} ,$$

$$\frac{\delta Z}{\delta H} = - \frac{18058}{A} ,$$

$$\frac{\delta Z}{\delta A} = 18058 \cdot \left( \frac{H}{A^2} - \frac{h}{A^2} \right) .$$

Invullen van de gemiddelde waarde van elke variabele,

$$u(\tau) = 11,8 \text{ N/mm}^2,$$

$$u(H) = 2,59 \text{ m. + NAP},$$

$$u(h) = 0 \text{ m. t.o.v. NAP},$$

$$u(A) = 33000 \text{ mm}^2,$$

in de uitdrukkingen voor de partiële afgeleiden levert:

$$\frac{\delta Z}{\delta \tau} = 1 ,$$

$$\frac{\delta Z}{\delta h} = 0,547 ,$$

$$\frac{\delta Z}{\delta H} = -0,547 ,$$

$$\frac{\delta Z}{\delta A} = 43 \cdot 10^{-6} .$$

Ter bepaling van de standaard afwijking van de faalfunctie Z, stellen we nu de volgende tabel op, (zie ook probabilistiek-dictaat, lit. 1):

$x_i$	$\frac{\delta Z}{\delta x_i}$	$s_{x_i}$	$\left(\frac{\delta Z}{\delta x_i} \cdot s_{x_i}\right)^2$	$\alpha_i^2$	$\alpha_i$
$\tau$	1	1,8	3,24	0,89	0,94
H	-0,547	1,1	0,36	0,1	-0,31
h	0,547	0,3	0,027	0,007	0,09
A	$43 \cdot 10^{-6}$	800	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-4}$	0,02
			$\Sigma \left(\frac{\delta Z}{\delta x_i} \cdot s_{x_i}\right)^2 = 3,63$	$\Sigma \alpha_i^2 = 1$	

Voor de standaard afwijking van de faalfunctie vinden we:

$$S(Z) = \sqrt{\sum \left( \frac{\delta Z}{\delta x_i} \cdot s_{x_i} \right)^2} = \sqrt{3,63} = 1,905 \text{ N/mm}^2.$$

We merken hierbij nog op dat de standaard afwijking van de sterkte,  $S$ , hierin een groot aandeel heeft;  $\alpha_i^2$  is 0,89, hetgeen betekent dat de standaard afwijking van  $Z$  voor 89 % bepaald wordt door deze variabele.

De invloed van de binnenwaterstand en de oppervlakte van de doorsnede op de variatie in  $Z$  is echter klein; respectievelijk 0,7 en 0,03 %.

Tot slot van deze paragraaf bepalen we de betrouwbaarheidsindex  $B$  voor de faalfunctie, uit de relatie:

$$\mu(Z) - \beta \cdot S(Z) = 0 \quad \Rightarrow \quad \beta = \frac{\mu}{S} = \frac{10,4}{1,905} = 5,46.$$

Met behulp van de tabel voor de normale verdeling kunnen we nu de bezwijkkans van de pen bepalen:

$$P(\text{bezwijken pen}) = \underline{0,25 \cdot 10^{-7}}.$$

### 9.2.2.3 Bezwijken, afschuiving pen; verfijnde methode

Bij de verfijnde niveau-II berekening wordt de linearisatie van de bezwijkgrens uitgevoerd om het punt van de bezwijkgrens met de grootste kansdichtheid, zoals in figuur 9.5 is aangegeven.

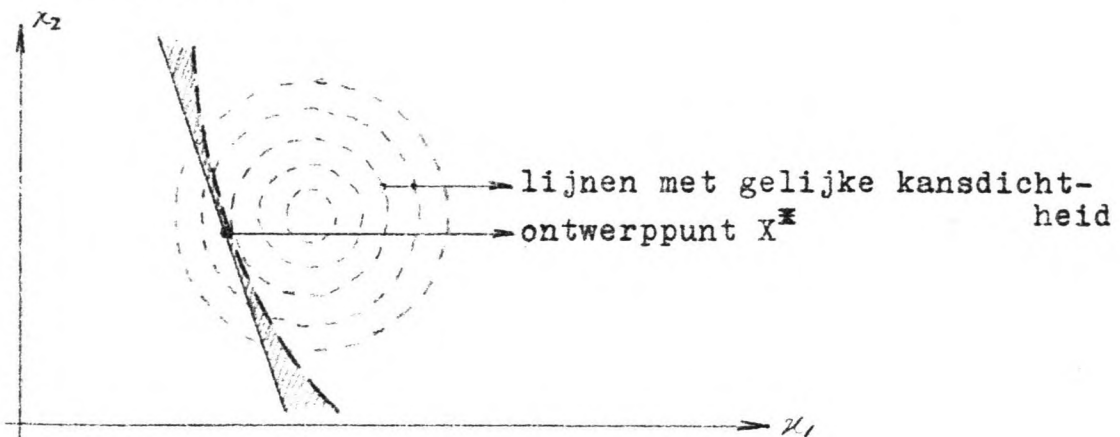


Fig. 9.5, Verfijnde niveau-II berekening.

Dit heeft tot gevolg dat de verwaarlozing, in de figuur het gearceerde deel tussen de bezwijkgrens en de linearisatie, een kleine kansdichtheid heeft. We verkrijgen dus een nauwkeuriger benadering van de bezwijkkans.

Voor de berekening houden we het schema aan dat gepresenteerd is in het b3-dictaat (lit. 1), hier weer-gegeven op bijlage 16. De eerste 5 stappen van dit schema zijn reeds uitgevoerd in de voorgaande paragraaf; we gaan verder met stap 6, de berekening van een eerste benade-ring voor het ontwerp punt  $X^{\#}$ , met grote kansdichtheid.

6)  $X_i^{\#} = \mu_i - \alpha_i \cdot \beta \cdot S_i$  geeft:

$$\tau^{\#} = 11,8 - 0,94 \cdot 5,46 \cdot 1,8 = 2,56 \text{ N/mm}^2,$$

$$H^{\#} = 2,59 - (-0,31) \cdot 5,46 \cdot 1,1 = 4,45 \text{ m},$$

$$h^{\#} = 0 - 0,09 \cdot 5,46 \cdot 0,3 = -0,15 \text{ m},$$

$$A^{\#} = 33000 - 0,02 \cdot 5,46 \cdot 800 = 32913 \text{ mm}^2.$$

We keren nu terug naar stap 3, het berekenen van de partiële afgeleiden van Z in het ontwerp punt, om door middel van iteratie een stabiele waarde voor  $X^{\#}$  te vinden.

3)  $\left(\frac{\delta Z}{\delta x_i}\right)_{x_i=X_i^{\#}}$  geeft:

$$\frac{\delta Z}{\delta \tau} = 1,$$

$$\frac{\delta Z}{\delta H} = -\frac{18058}{A} = -\frac{18058}{32913} = -0,549,$$

$$\frac{\delta Z}{\delta h} = +\frac{18058}{A} = +\frac{18058}{32913} = +0,549,$$

$$\frac{\delta Z}{\delta A} = \frac{18058}{A^2} \cdot (H - h) = 0,05 \cdot 10^{-3}$$

4/5) $x_i$	$\frac{\delta Z}{\delta x_i}$	$S_{x_i}$	$\left(\frac{\delta Z}{\delta x_i} \cdot S_{x_i}\right)^2$	$\alpha_i^2$	$\alpha_i$
$\tau$	1	1,8	3,24	0,89	0,94
H	-0,549	1,1	0,36	0,1	-0,31
h	0,549	0,3	0,027	0,007	0,09
A	$5 \cdot 10^{-5}$	800	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-4}$	0,02

$$\Sigma \left(\frac{\delta Z}{\delta x_i} \cdot S_{x_i}\right)^2 = 3,63$$

$$6) X_1^{\bar{x}} = \mu_1 - \alpha_1 \cdot \beta \cdot S_1 :$$

$$\tau^{\bar{x}} = 11,8 - 0,94 \cdot 5,46 \cdot 1,8 = 2,56 \text{ N/mm}^2,$$

$$H^{\bar{x}} = 2,59 - (-0,31) \cdot 5,46 \cdot 1,1 = 4,45 \text{ m},$$

$$h^{\bar{x}} = 0 - 0,09 \cdot 5,46 \cdot 0,3 = -0,15 \text{ m},$$

$$A^{\bar{x}} = 33000 - 0,02 \cdot 5,46 \cdot 800 = 32913 \text{ mm}^2.$$

We zien dat dit dezelfde waarden zijn die we eerder onder punt 6) vonden;  $X^{\bar{x}}$  is stabiel, we vervolgen met punt 7).

$$7) \text{ Bereken } \beta = \frac{Z(X^{\bar{x}}) + \sum \frac{Z}{x_i} (\mu - X^{\bar{x}})}{S(Z)},$$

$$Z(X^{\bar{x}}) = \tau^{\bar{x}} - \frac{18058}{A^{\bar{x}}} \cdot (H^{\bar{x}} - h^{\bar{x}}) = 2,56 - \frac{18058}{32913} (4,45 + 0,15) \\ = 0,036 \text{ N/mm}^2,$$

$$\sum \frac{\delta Z}{\delta x_i} (\mu - X^{\bar{x}}) : \frac{\delta Z}{\delta \tau} (\mu - \tau^{\bar{x}}) = 1 \cdot (11,8 - 2,56) = 9,24$$

$$\frac{\delta Z}{\delta H} (\mu - H^{\bar{x}}) = -0,549 \cdot (2,59 - 4,45) = 1,02$$

$$\frac{\delta Z}{\delta h} (\mu - h^{\bar{x}}) = 0,549 \cdot (0 - (-0,15)) = 0,08$$

$$\frac{\delta Z}{\delta A} (\mu - A^{\bar{x}}) = 5 \cdot 10^{-5} \cdot (33000 - 32913) = 0$$

$$\sum \frac{\delta Z}{\delta x_i} (\mu - X^{\bar{x}}) = 10,34 ,$$

Substitutie geeft:

$$\beta = \frac{0,036 + 10,34}{\sqrt{3,63}} = 5,446.$$

We zien dat de gevonden waarde voor  $\beta$  ook stabiel is (net hadden we  $\beta = 5,46$ ), zodat hierna geen extra iteratiestap meer nodig is.

Voor de bezwijkkans vinden we nagenoeg dezelfde waarde als in de vorige paragraaf,  $P = 0,25 \cdot 10^{-7}$ . Kennelijk was de daar uitgevoerde linearisatie bij toeval al dicht bij het ontwerppunt.

9.2.2.4 Bezwijkkans afschuiving pen; benaderende kansdichtheids-  
functie

Tot nu toe hebben we voor elke variabele een gemiddelde waarde en een standaard afwijking ingevoerd in de berekeningen. Bij de bepaling van de standaard afwijking voor de waterstand op de Westerschelde, zagen we reeds dat dit een vereenvoudiging inhield; de extreme-waarde verdeling werd vervangen door een normale verdeling. We zullen nu de werkelijke overschrijdingsfrequentielijn voor de Westerscheldewaterstand, zoals die in bijlage 15 gegeven is, gebruiken in de probabilistische berekening. Voor de overige variabelen handhaven we de normale verdeling; het is aannemelijk dat dit voor deze variabelen redelijk overeenstemt met de werkelijkheid.

Volgens het b3-dictaat (lit. 1) en het TNO-rapport (lit. 20) kunnen we de werkelijke verdeling van de overschrijdingsfrequentie van een variabele benaderen door een normale verdeling, met een zodanig gekozen gemiddelde en standaard afwijking, dat zowel de overschrijdingskans,  $F(X^{\#})$ , als de kansdichtheid,  $f(X^{\#})$ , in het ontwerp punt juist worden weergegeven. Onderstaande figuur illustreert dit.

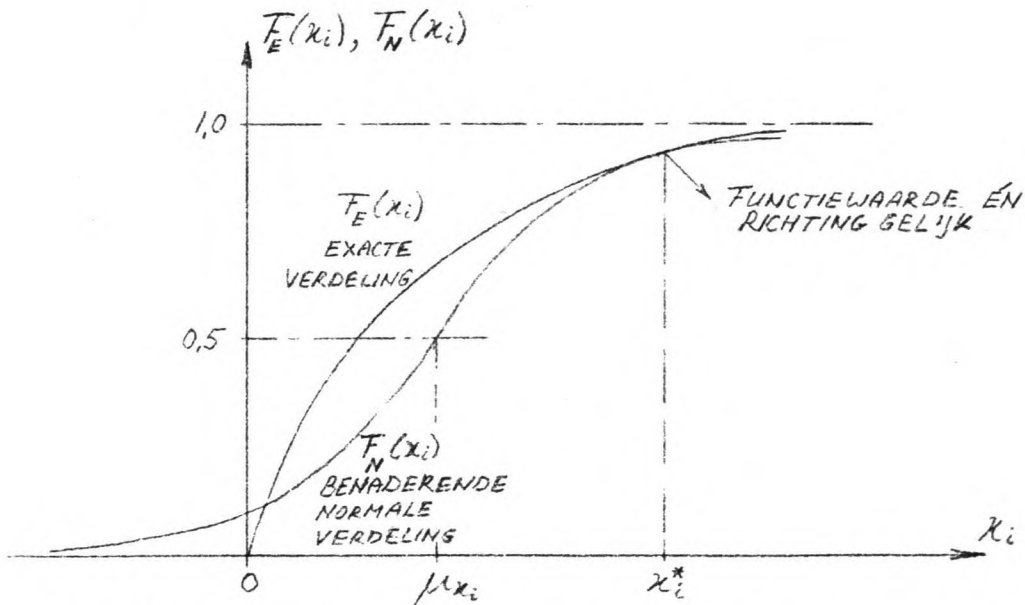


Fig. 9.6, Benaderende normale verdeling.

Er geldt voor de benaderende verdeling:

$$F_{\text{standaard normaal}}^{-1} \left\{ F(X^{\#}) \right\} = \beta .$$

Voor  $X^{\#} = H^{\#} = 4,45$  m. vinden we uit de overschrijdingsfrequentielijn van bijlage 15:  $F(4,45) = 1,5 \cdot 10^{-3}$ .

Uit de tabel voor de standaard normale verdeling (bijl. 2)

volgt nu:  $F_{\text{stand. norm.}}^{-1}(1,5 \cdot 10^{-3}) = \beta = -1,05$ .

Verder volgt uit  $f_{\text{norm.}}(X^{\#}) = \frac{1}{S} \cdot f_{\text{stand. norm.}}(\beta)$

de standaard afwijking van de benaderende verdeling:

$$S = \frac{f_{\text{stand. norm.}}(-1,05)}{f(4,45)} = \frac{(1/\sqrt{2\pi}) \cdot (1/1) \cdot \exp(-\xi^2/2)}{0,4} = \\ = \frac{(1/\sqrt{2\pi}) \cdot \exp(-\xi^2/2)}{0,4} = \underline{1,73 \text{ m.}}$$

(hierbij is  $f(4,45)$  afgeleid uit de overschrijdingsfrequentielijn van bijlage 15).

Voor het gemiddelde van de benaderende verdeling vinden we:

$$\mu = 4,45 - 1,05 \cdot S ,$$

$$\mu = 4,45 - 1,05 \cdot 1,73 = \underline{2,63 \text{ m.}}$$

We verkrijgen nu voor de faalfunctie Z:

$$Z(\bar{X}) = \bar{Z} - \frac{18058}{A^{\bar{X}}} (H^{\bar{X}} - h^{\bar{X}}) = 2,6 - \frac{18058}{32913} (2,63 + 0,15) = 1,07 \text{ N/mm}^2.$$

Voor de partiële afgeleiden vinden we:

$$\frac{\delta Z}{\delta \bar{Z}} = 1,$$

$$\frac{\delta Z}{\delta H} = \frac{-18058}{A} = -\frac{18058}{32913} = -0,56,$$

$$\frac{\delta Z}{\delta h} = \frac{18058}{A} = 0,56,$$

$$\frac{\delta Z}{\delta A} = \frac{18058}{A^2} (H - h) = \frac{18058}{32913^2} (2,63 + 0,15) = 5 \cdot 10^{-5}.$$

We stellen weer de bekende tabel op ter bepaling van de standaard afwijking van Z:

$x_i$	$\frac{\delta Z}{\delta x_i}$	$S_{x_i}$	$(\frac{\delta Z}{\delta x_i} \cdot S_{x_i})^2$
.	1	1,8	3,24
H	-0,56	1,73	0,94
h	0,56	0,3	0,028
A	$5 \cdot 10^{-5}$	800	$1,6 \cdot 10^{-3}$
			4,21

Voor de standaard afwijking van de faalfunctie vinden we:  $S(Z) = \sqrt{4,21} = 2,05$ .

We bepalen tenslotte de betrouwbaarheidsindex B:

$$\frac{\delta Z}{\delta H} (\mu - \bar{X}) = -0,56 (2,63 - 4,45) = 1,02$$

$$\beta = \frac{Z(\bar{X}) + \sum (\delta Z / \delta x_i) (\mu - \bar{X})}{S(Z)} = \frac{1,07 + 10,34}{2,05} = 5,57.$$

We zien dat de afwijking met de waarden uit de voorgaande paragrafen niet zeer groot is ( $\beta = 5,45$ ). Daarom volstaan we hier met deze berekening; officieel zouden nog enige iteraties uitgevoerd moeten worden,



steeds met de benaderende kansdichtheidsfunctie, tot de waarde van  $\beta$  volledig stabiel is. Voor ons doel is de bereikte nauwkeurigheid voldoende.

$$\beta = 5,57 = P(\text{bezwijken pen}) = \underline{0,15 \cdot 10^{-7} \text{ per jaar.}}$$

Tot slot van deze serie berekeningen zij nog opgemerkt dat steeds de afschuifsterkte van het hout het grootste aandeel heeft in de standaard afwijking van de faalfunctie (ca. 90 %). Aangezien we geen gegevens hadden omtrent de standaard afwijking en het gemiddelde van deze afschuifsterkte, hebben we deze waarden afgeleid uit die voor de buigsterkte van het hout. Nu is gebleken dat deze waarden een grote invloed op de einduitkomst hebben zou het aanbeveling verdienen over meer nauwkeurige gegevens te beschikken. Hier ligt een groot terrein voor verdere studie en materiaalproeven open.

### 9.2.2 Bezwijkkans van de regel t.g.v. het buigend moment

In de paragraaf "berekeningen Rijkswaterstaat" hebben we reeds gezien dat de marge tussen toelaatbare buigspanning en de optredende waarde bij de ontwerpbelasting groter is dan voor het afschuivingsgevel. We verwachten dan ook dat we hier een grotere veiligheid tegen bezwijken zullen vinden dan in de voorgaande paragraaf.

We schematiseren de regel tot een ligger op twee steunpunten, met een lengte van 3 m, belast door een gelijkmatig verdeelde druk. Voor het maximale moment geldt:  $M_{\max.} = 1/8 q l^2$ , waarin  $q$  de belasting is, veroorzaakt door het waterstandsverschil over de deur, werkend op een veld met een hoogte van 0,93 m. Zo vinden we voor het maximale moment in de regel:

$$\begin{aligned} M_{\max.} &= 1/8 q l^2 = 1/8 (\rho \cdot g \cdot 0,93 \cdot (H-h)) l^2 \\ &= 1/8 \cdot (9155 (H-h)) l^2 = 1,14 (H-h) l^2 \quad (\text{kNm}). \end{aligned}$$

De hierdoor veroorzaakte buigspanning in de regel bedraagt:  $\max. = M_{\max.} / W_{\text{regel}} = 1,14 (H-h) l^2 / W_{\text{regel}}$ . Bovenstaande uitdrukking geeft de belasting-term voor het opstellen van de faalfunctie,  $Z$ .

De sterkte-term voor de faalfunctie wordt gegeven door de opneembare buigspanning van de regel. Deze zullen we weergeven door een gemiddelde waarde en de standaard afwijking, zoals die reeds eerder bepaald zijn.

Ook voor de waterstanden ter weerszijden van de deur zullen we de kentallen van de normale verdeling gebruiken in de navolgende beschouwing. Voor de regel-lengte,  $l$ , en het weerstandsmoment,  $W_{\text{regel}}$ , zullen we de deterministische waarde invoeren; de variatie-coëfficiënt van deze variabelen zal klein zijn, en dus ook de invloed op de standaard afwijking van de faalfunctie. Voor de lengte voeren we in:  $l = 3 \text{ m}$ ; voor het weerstandsmoment:  $W_{\text{regel}} = 1/6 b h^2 = 1/6 \cdot 0,3 \cdot 0,29^2 = 4,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ .

We kunnen nu voor dit mechanisme de bezwijkfunctie opstellen:

$$Z = \text{sterkte} - \text{belasting} = \sigma - 1,14 (H-h) l^2 / W_{\text{regel}}$$

$$= \sigma - 1,14 (H-h) 3^2 / 4,2 = \sigma - 2,44 (H-h) ,$$

$Z = \sigma - 2,44 (H-h)$	$(\text{N/mm}^2)$ .
---------------------------	---------------------

We presenteren nogmaals de gemiddelde waarde en de standaard afwijking van de variabelen:

$\mu(H) = 2,59 \text{ m.} + \text{NAP.}$	$s(H) = 1,1 \text{ m.}$
$\mu(h) = 0 \text{ m. tov. NAP.}$	$s(h) = 0,3 \text{ m.}$
$\mu(\sigma) = 100 \text{ N/mm}^2.$	$s(\sigma) = 15 \text{ N/mm}^2.$

Voor de gemiddelde waarde van de faalfunctie vinden we:

$$Z = \sigma - 2,44 (H-h) = 100 - 2,44 \cdot (2,59 - 0) = 93,8 \text{ N/mm}^2.$$

We bepalen de partiële afgeleiden van de faalfunctie naar iedere variabele:

$$\frac{\delta Z}{\delta \sigma} = 1 ,$$

$$\frac{\delta Z}{\delta H} = -2,44 ,$$

$$\frac{\delta Z}{\delta h} = 2,44 .$$

Ter bepaling van de standaard afwijking van Z stellen we de tabel op:

$x_i$	$\frac{\delta Z}{\delta x_i}$	$s_{x_i}$	$(\frac{\delta Z}{\delta x_i} \cdot s_{x_i})^2$
$\sigma$	1	15	225
H	-2,44	1,1	7,2
h	2,44	0,3	0,5

$$(\frac{\delta Z}{\delta x_i} \cdot s_{x_i})^2 = 232,7$$

Er volgt:  $s(Z) = \sqrt{232,7} = 15,25 \text{ N/mm}^2$ , en we vinden voor de betrouwbaarheidsindex:  $\beta = \mu(Z) / s(Z) = 93,8 / 15,25$   
 $\Rightarrow \beta = 6,15$ .

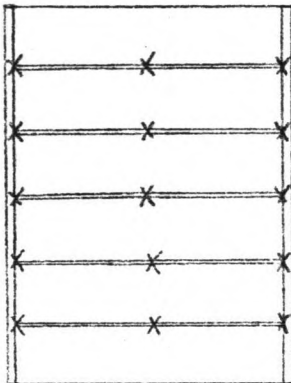
Door deze waarde op te zoeken in de tabel voor de normale verdeling op bijlage 2, vinden we voor de bezwijkkans ten gevolge van het buigend moment in de regel:

$$P(\text{buig.mom. regel}) = 0,8 \cdot 10^{-9} \text{ per jaar.}$$

We zien dat deze bezwijkkans inderdaad kleiner is dan de in de vorige paragraaf gevonden waarde ( $0,15 \cdot 10^{-7}$ ). Om deze reden heeft het dan ook weinig zin de kans op het bezwijken t.g.v. het buigend moment op de regel meer nauwkeurig te bepalen; de kans dat de deur bezwijkt ten gevolge hiervan is relatief klein, zoals in het volgende zal blijken.

### 9.2.3 Bezwijkkans van de deur t.g.v. waterdruk

In het voorgaande zijn de kansen op het bezwijken van enkele onderdelen van de deur bepaald. Het bezwijken van de deur treedt op als één van deze onderdelen bezwijkt; wanneer een regel bezwijkt zal ook de rest van de deur de belasting niet meer kunnen opnemen. De deur vormt dus een serie-systeem; figuur 9.7 illustreert dit.



x\_15 bezwijkmechanismen.

Fig. 9.7, Wachtdeur, opgebouwd uit 5 regels.

Het systeem zal bezwijken als één van de onderdelen faalt. Dit kan een pen zijn die op afschuiving bezwijkt, of een regel die bezwijkt door het buigend moment. We vinden voor de totale kans op het bezwijken van de deur ten gevolge van de waterdruk:

$$\begin{aligned} P(\text{deur bezwijkt}) &= P(\text{één pen bezwijkt}) + P(\text{één regel bezwijkt}) \\ &= 2 \cdot 5 \cdot (0,15 \cdot 10^{-7}) + 5 \cdot 0,8 \cdot 10^{-9} \end{aligned}$$

Het uiteindelijke resultaat luidt:

$$P(\text{deur bezwijkt}) = \underline{1,5 \cdot 10^{-7}} \text{ per jaar.}$$

### 9.3 Kans op bezwijken van de schuif t.g.v. waterdruk

#### 9.3.1 Berekeningen Rijkswaterstaat

Het ontwerp van de schuif, zoals dat gemaakt is door Rijkswaterstaat, is weergegeven op de volgende bladzijde. Bij de nu volgende berekeningen beschouwen we een veld van 1 m hoogte van de schuif. Evenals voor de wachtdeur is de ontwerpwaterstand aan Westerscheldezijde 6,40 m.+NAP. en aan Zoommeerzijde NAP. De toelaatbare spanningen voor het azobé zijn:

$$\begin{aligned} \text{buigspanning} & \bar{\quad} = 50 \text{ N/mm}^2, \\ \text{afschuiving} & \bar{\quad} = 3,6 \text{ N/mm}^2. \end{aligned}$$

#### - Buigend moment op de schuif.

lengte, h.o.h. opleggingen = 3,15 m.

waterdruk per  $\text{m}^2 = \rho \cdot g \cdot H = 1,0045 \cdot 9,8 \cdot 6,4 = 63 \text{ kN}$ .

Belastend buigend moment =  $1/8 q l^2 = 1/8 \cdot 63 \cdot 3,15^2$

$$M = 78 \text{ kNm}.$$

Het benodigd weerstandsmoment voor de schuif volgt uit:

$$W = M / \bar{\quad} = 78 \cdot 10^{-3} / 50 = 1,56 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3.$$

Het in de schuif toegepaste weerstandsmoment bedraagt:

$$W = 1/6 b h^2 = 1/6 \cdot 1 \cdot 0,24^2 = 9,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^1.$$

We zien dat er een ruime extra veiligheid is toegepast;

$$W_{\text{toegepast}} / W_{\text{benodigd}} = 9,6 / 1,56 = 6,15.$$

De verwachting is dan ook dat de veiligheid tegen bezwijken van de schuif door dit mechanisme groot zal zijn, In de volgende paragraaf zal dit onderzocht worden.

#### - Afschuiving nabij oplegging van de schuif.

lengte van oplegging tot oplegging = 2,95 m.

Dwarskracht =  $\frac{1}{2} q l = \frac{1}{2} \cdot 63 \cdot 2,95 = 93 \text{ kN}$ .

De toelaatbare schuifspanning bedraagt  $3,6 \text{ N/mm}^2$ , zodat we voor de benodigde oppervlakte vinden:

$$\text{Oppervlakte} = 93 \cdot 10^{-3} \cdot 3 / 3,6 \cdot 2 = 0,039 \text{ m}^2/\text{m}^1.$$

De toegepaste oppervlakte bedraagt  $0,24 \text{ m}^2/\text{m}^1$ , zodat we ook hier een vrij grote extra veiligheid vinden:

$$0,039 / 0,24 = 6,2.$$

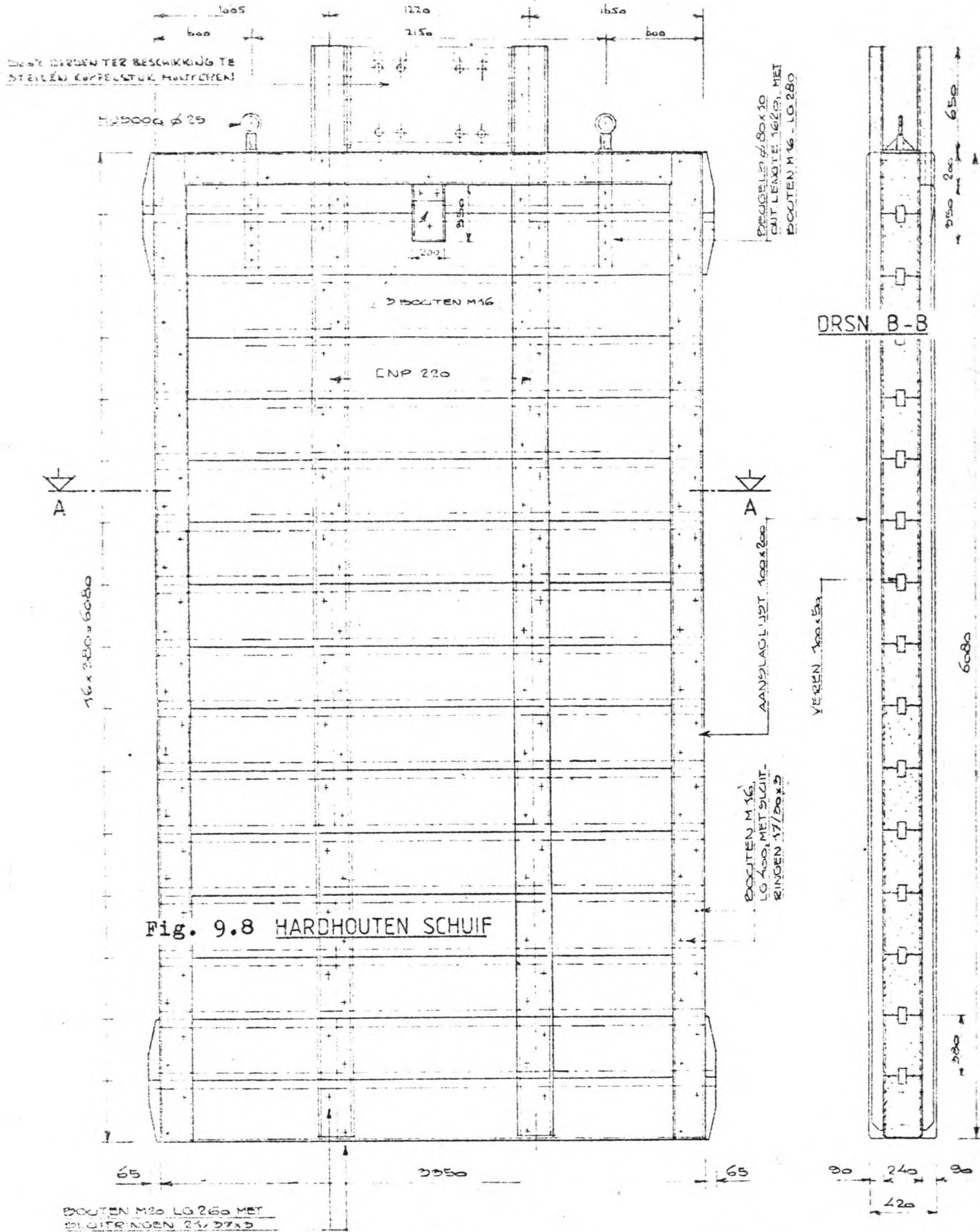


Fig. 9.8 HARDHOUTEN SCHUIF

9.3.2 Probabilistische berekeningen voor het buigend moment op de schuif

We onderscheiden twee mechanismen van bezwijken van de schuif; het buigend moment in het midden van de schuif en afschuiving nabij de opleggingen. Afschuiving wordt in de volgende paragraaf behandeld, hier gaan we in op de kans van bezwijken van de schuif ten gevolge van het buigend moment. We zullen dit doen door middel van een probabilistische berekening op niveau-II.

We stellen eerst de faalfunctie Z op. De sterkte-term hiervan is weer de buigsterkte van het azobé,  $\sigma$ . De belasting-term wordt gegeven door de uitdrukking:  $1/8 q l^2 / W$ , waarin  $q = \rho g (H-h)$ ; de lengte l wordt deterministisch gesteld op 3,15 m en het weerstandsmoment, eveneens deterministisch, op  $W = 9,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^1$ . Het resultaat is:

$$Z = \sigma - 1,27 \cdot (H - h) \quad (\text{N/mm}^2).$$

De gemiddelde waarde en standaard afwijking van de verschillende variabelen zijn:

$$\begin{aligned} u(\sigma) &= 100 \text{ N/mm}^2, & s(\sigma) &= 15 \text{ N/mm}^2, \\ u(H) &= 2,59 \text{ m.} + \text{NAP}, & s(H) &= 1,1 \text{ m}, \\ u(h) &= 0 \text{ m.} \text{ tov. NAP}, & s(h) &= 0,3 \text{ m}. \end{aligned}$$

Door substitutie van deze waarden in de uitdrukking voor Z, vinden we voor het gemiddelde van Z:

$$Z = \sigma - 1,27 \cdot (H-h) = 100 - 1,27 \cdot 2,59 = 96,7 \text{ N/mm}^2.$$

Voor de partiële afgeleiden vinden we:

$$\frac{\delta Z}{\delta \sigma} = 1, \quad \frac{\delta Z}{\delta H} = -1,27, \quad \frac{\delta Z}{\delta h} = 1,27.$$

We stellen de bekende tabel op:

$x_i$	$\frac{\delta Z}{\delta x_i}$	$s(x_i)$	$(\frac{\delta Z}{\delta x_i} \cdot s_{x_i})^2$	$\alpha_i^2$	$\alpha_i$
$\sigma$	1	15	225	0,99	0,995
H	-1,27	1,1	1,95	0,009	-0,093
h	1,27	0,3	0,15	0,001	0,026
			+		
			$\Sigma = 227,1$		



Voor de standaard afwijking van de faalfunctie wordt gevonden:  $s(Z) = \sqrt{227,1} = 15 \text{ N/mm}^2$ . We merken op dat dit gelijk is aan de standaard afwijking van de sterkte,  $\sigma$ , hetgeen niet verwonderlijk is, want  $s(Z)$  wordt voor 99 % bepaald door  $s(\sigma)$ , ( $\alpha_\sigma^2 = 0,99$ ).

Bepaling van de betrouwbaarheidsindex en raadpleging van de tabel voor de normale verdeling geeft:  $\beta = u(Z) / s(Z) = 96,7 / 15 = 6,45$ ,

$P$  (bezwijken tgv. buigend moment)  $\cong 10^{-10}$  per jaar.

- Verfijnde niveau-II berekening.

De eerste benadering voor het ontwerppunt is:

$$X^{\bar{x}} = u_i - \alpha_i \beta s_i$$

$$\sigma^{\bar{x}} = 100 - 0,995 \cdot 6,45 \cdot 15 = 3,7 \text{ N/mm}^2,$$

$$H^{\bar{x}} = 2,59 + 0,093 \cdot 6,45 \cdot 1,1 = 3,25 \text{ m},$$

$$h^{\bar{x}} = 0 - 0,026 \cdot 6,45 \cdot 0,3 = -0,05 \text{ m}.$$

De partiële afgeleiden veranderen niet ten opzichte van de vorige beschouwing. Ook de tabel, zoals die op de vorige bladzijde is gegeven, verandert niet voor dit geval. De oplossing is dus na deze stap al stabiel.

We berekenen de waarde voor de faalfunctie in het ontwerppunt:

$$Z(X^{\bar{x}}) = \sigma^{\bar{x}} - 1,27 \cdot (H^{\bar{x}} - h^{\bar{x}}) = 3,7 - 1,27 (3,25 + 0,05) = -0,49 \text{ N/mm}^2.$$

Om de betrouwbaarheidsindex te kunnen bepalen, berekenen we:

$$\frac{\delta Z}{\delta \sigma} (u(\sigma) - \sigma^{\bar{x}}) = 1 (100 - 3,7) = 96,3$$

$$\frac{\delta Z}{\delta H} (u(H) - H^{\bar{x}}) = -1,27 (2,59 - 3,25) = 0,84$$

$$\frac{\delta Z}{\delta h} (u(h) - h^{\bar{x}}) = 1,27 (0 + 0,05) = 0,06 +$$

$$\Sigma = 97,2$$

$$\beta = \frac{Z(X^{\bar{x}}) + \Sigma \frac{Z}{x_i} (u_i - X_i^{\bar{x}})}{s(Z)} = \frac{-0,49 + 97,2}{\sqrt{227,1}} = 6,4$$

Het resultaat is gelijk aan dat van de voorgaande berekening:  $P$ (bezwijken tgv. moment)  $\cong 10^{-10}$  per jaar.

9.3.3 Probabilistische berekeningen voor afschuiving van de schuif

De faalfunctie luidt voor dit geval:

$$Z = \text{sterkte} - \text{belasting} = \tau - 3/2 \cdot \frac{1}{2} q l / A,$$

met  $q = g \cdot \rho \cdot (H - h) = 9,84 \cdot (H - h) \text{ kN/m}^2$ ,  
 $l = 2,95 \text{ m}$  (deterministisch),  
 $A = 0,24 \text{ m}^2/\text{m}^1$  (deterministisch).

Invullen van deze waarden geeft:

$$Z = \tau - 0,09 (H - h) \quad (\text{N/mm}^2)$$

Het gemiddelde van Z bedraagt:

$$Z = 11,8 - 0,09 \cdot 2,59 = 11,6 \text{ N/mm}^2.$$

De partiële afgeleiden van Z naar de variabelen zijn:

$$\frac{\delta Z}{\delta \tau} = 1, \quad \frac{\delta Z}{\delta H} = -0,09, \quad \frac{\delta Z}{\delta h} = 0,09.$$

De tabel ter bepaling van de standaard afwijking van Z:

$x_i$	$\frac{\delta Z}{\delta x_i}$	$s(x_i)$	$(\frac{Z}{x_i} \cdot s_{x_i})^2$
$\tau$	1	1,8	3,24
H	-0,09	1,1	0,01
h	0,09	0,3	0,0007
			+
			$\Sigma = 3,25$

Voor de standaard afwijking van de faalfunctie vinden we:  $s(Z) = \sqrt{3,25} = 1,8 \text{ N/mm}^2$ .

De betrouwbaarheidsindex volgt uit:  $\beta = \mu(Z) / s(Z) = 11,6 / 1,8 = 6,55$  en voor de bezwijkkans volgens dit mechanisme vinden we via de tabel voor de normale verdeling:

$$P(\text{bezwijken door afschuiving, } 1 \text{ m}^1) < 10^{-10} \text{ per jaar}$$

(ca.  $10^{-11}$ ).

Gezien het feit dat de gevonden kans zeer klein is, en dus een klein aandeel heeft in de totale bezwijkkans voor de schuif, en de berekening niet erg gevoelig zal zijn voor verfijning, volstaan we hiermee.

#### 9.3.4 Bezwijkkans van de schuif, ten gevolge van waterdruk

In de voorgaande hebben we de kans bepaald dat een veld van 1 m. hoog van de schuif bezwijkt ten gevolge van afschuiving of buigend moment. De schuif is echter 5,5 m. hoog, zodat hiermee niet volstaan kan worden.

Alhoewel de situatie hier minder duidelijk dan bij de wachtdeur, zullen we ook de schuif opgebouwd denken uit 5 delen, waarbij het bezwijken van één deel het bezwijken van de gehele schuif tot gevolg heeft (serie-systeem).

We vinden voor de totale kans op bezwijken van de schuif, ten gevolge van waterdruk:

$$\begin{aligned} P(\text{bezwijken schuif, waterdruk}) &= \\ & P(\text{afschuiving van 1 veld}) + P(\text{buigend moment} \\ & \hspace{15em} \text{1 veld}) \\ & = 2 \times 5 \times 10^{-11} + 5 \times 10^{-10} = 6 \cdot 10^{-10} \text{ per jaar.} \\ P(\text{bezwijken van de schuif, ten gevolge van waterdruk}) & \\ & = \underline{6 \cdot 10^{-10} \text{ per jaar.}} \end{aligned}$$

## 9.4 Bezwijken van de hefschuif door golfklappen

### 9.4.1 Algemeen

Door Rijkswaterstaat is de belastingssituatie die veroorzaakt kan worden door een golfklap op de schuif niet beschouwd. Er wordt aangenomen dat de ontwerpbelasting van 6,4 m. waterdruk zo groot is, dat deze niet overschreden zal worden door de belasting veroorzaakt door een golfklap.

Bovendien wordt het optreden van een golfklap niet waarschijnlijk geacht, om een drietal redenen. In de eerste plaats is de schuif, gerekend vanaf de Westerschelde, diep in de koker geplaatst, zodat een eventuele golf moeilijk tot de schuif doordringt. Verder is de koker smal, hetgeen zal leiden tot verstoring van de golf. Tenslotte is het kokerplafond laag gelegen, hetgeen de kans op het optreden van een golfklap verkleint. Bovendien is de ongunstige combinatie van grote waterdruk én een golfklap, door het lage plafond, niet mogelijk.

In de volgende paragrafen zullen we eerst ingaan op de kans dat een golf optreedt die een golfklap kan veroorzaken. Daarna bekijken we de belasting die in deze situatie op kan treden. Tenslotte trachten we een uitspraak te doen omtrent de kans dat de schuif bezwijkt ten gevolge van de belasting door een golfklap.

#### 9.4.2 Het optreden van gevaarlijke golven

Doordat de sluisokers smal zijn (3,45 m.) en de schuif ver in de koker is geplaatst (33 m.) kunnen slechts golven uit een klein windrichtingsinterval tot de schuif doordringen en eventueel een golfklap veroorzaken. Onderstaande figuur schetst de situatie.

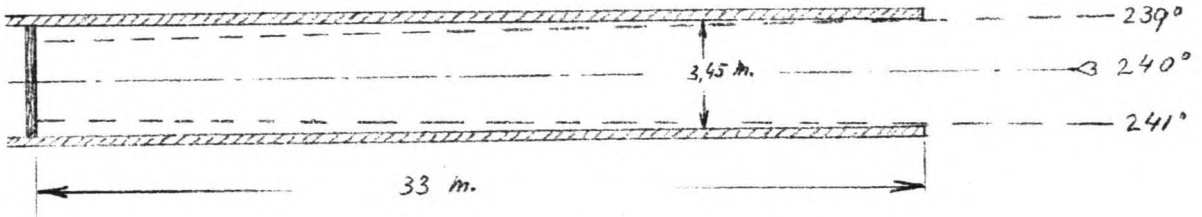


Fig. 9.9, Een golfklap op de schuif kan slechts veroorzaakt worden door golven uit een beperkt windrichtings-interval.

Wanneer we verder nog rekening houden met refractie, diffractie en reflectie van de golven, voordat ze de schuif bereiken, is het aannemelijk te stellen dat alleen de golven die minder dan  $1^\circ$  afwijken van de as van de koker een golfklap zouden kunnen veroorzaken.

Figuur 9.10 geeft de ligging van de spuisluis aan; de as van de sluis ligt op  $240^\circ$  t.o.v. noord.

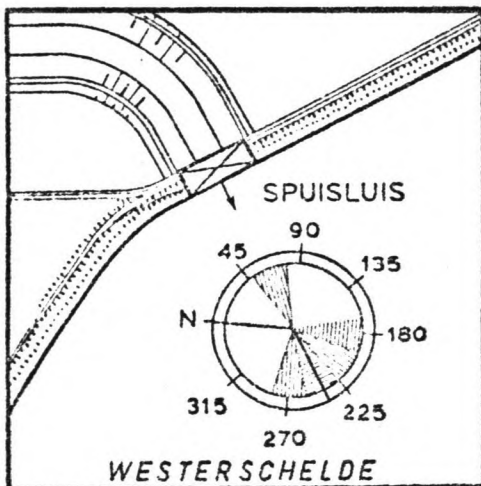


Fig. 9.10, Ligging van de spuisluis.

In de Rijkswaterstaat-notitie DDWT 81.223 (lit. 18) zijn de overschrijdingsfrequenties van significante golfhoogten gegeven voor de windrichtingssector  $225^{\circ}$ - $255^{\circ}$  ( $= 30^{\circ}$ ), hier weergegeven op bijlage 17. Door te stellen dat de wind (en dus de golven) gelijkmatig verdeeld is over het genoemde  $30^{\circ}$ -interval, kunnen we voor de frequentie van optreden van golven die een golfklap kunnen veroorzaken ( $2^{\circ}$ -interval)  $2/30$  van de waarde van bijlage 17 aanhouden.

### 9.4.3 Het optreden van een golfklap

Door het Waterloopkundig laboratorium is onderzoek gedaan naar golfklappen op de schuif in de Oosterschelde-caisson (lit. 19). We zullen hier gebruik maken van de resultaten van dit onderzoek.

In figuur 9.11 is weergegeven hoe het proces van de golfklap verloopt.

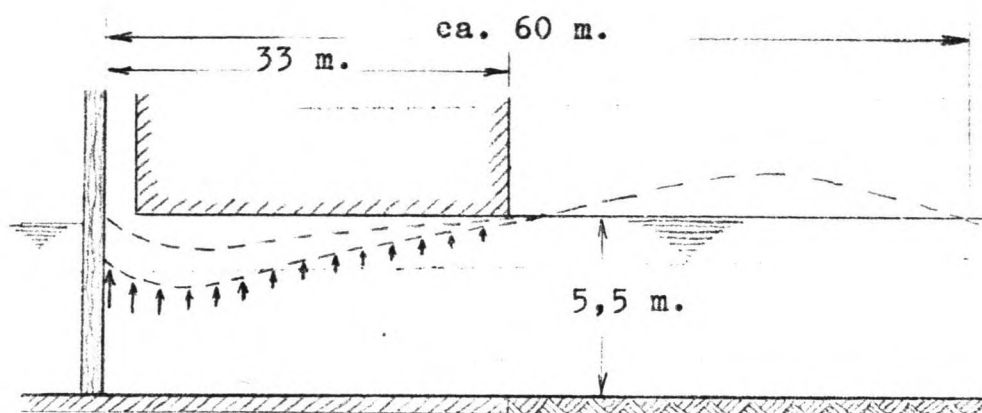


Fig. 9.11, Golfklap op de hefschuif.

We zien dat de inkomende golf een grote lengte moet hebben om een golfklap te kunnen veroorzaken; een kortere golf zal wel de koker 'inlopen', maar geen klap veroorzaken. De golflengte van een gevaarlijke golf zal orde van grootte 60 m. moeten zijn.

Volgens het  $f_{11}^a$ -dictaat (lit. 19) is het verband tussen golflengte en periode

$$\text{voor diep water: } \lambda_0 = 1,56 T^2$$

$$\text{en voor ondiep water: } \lambda = \sqrt{g a} T,$$

waarin:  $\lambda$  = golflengte (m),

$T$  = periode (sec),

$g$  = zwaartekrachtsversnelling (m/sec<sup>2</sup>),

$a$  = waterdiepte (m).

In dit geval hebben we te maken met een tussenliggende waterdiepte ( $\lambda/20 < a < \lambda/4$ ), zodat voor de periode een waarde gevonden wordt:  $T = 6,2 \text{ à } 8,2 \text{ sec.}$

In de eerdergenoemde Rijkswaterstaat-notitie (lit. 18) wordt voor de optredende golven een periode van 3 (-voor lagere waterstanden) tot 5 sec aangegeven. Dit duidt erop dat de golf die een golfklap zou kunnen veroorzaken een grote uitzondering zal zijn en dus met een (zeer) kleine kans optreedt.



#### 9.4.4 Belasting ten gevolge van golfklap

Alhoewel we uit de vorige paragrafen al gezien hebben dat de kans op het optreden van een golfklap (erg) klein is, zullen we toch wat aandacht besteden aan de belasting die erdoor kan worden veroorzaakt.

Uit de resultaten van modelproeven voor de caissonschiif in de Oosterschelde (lit. 21) blijkt dat in een vergelijkbare constructie, weliswaar met ongunstiger golfaanval-omstandigheden, golfklappen optreden met een druk van ca.  $25 \text{ kN/m}^2$  (tabel 9 en 10 van genoemd rapport). Wel moet hierbij opgemerkt worden dat de bufferbreedte, die een sterk reducerende invloed heeft op de belasting, in het geval van het Oosterschelde-caisson ca. 10 maal zo breed was.

We kunnen concluderen dat de belasting op de schuif, ten gevolge van een golfklap, in dezelfde orde van grootte zal zijn als de belasting bij de ontwerp-waterdruk van  $64 \text{ kN/m}^2$ , of kleiner.

#### 9.4.5 Kans op bezwijken van de schuif door golfklap

Op grond van de overwegingen gepresenteerd in de voorgaande paragrafen, zal de kans op bezwijken van de schuif, ten gevolge van een golfklap, zeer klein zijn. De kans dat er een golfklap op de schuif optreedt schatten we in de orde van grootte:  $P(\text{golfklap}) \approx 10^{-5}$  per jaar. De kans dat de schuif bezwijkt ten gevolge van de dan optredende belasting ligt in de orde van grootte  $10^{-8}$ . Voor de totale kans vinden we:

$$P(\text{schuif bezwijkt door golfklap}) \approx 10^{-13} \text{ per jaar.}$$

## 9.5 Bezwijken van deur of schuif ten gevolge van trillingen

### 9.5.1 Algemeen

Wanneer de deur of de schuif zich in een stroming bevindt kunnen er trillingsverschijnselen optreden, waardoor de constructie dynamisch belast kan worden. In ons geval geldt zowel voor de deur als voor de schuif dat dit verschijnsel niet op kan treden wanneer het systeem normaal functioneert; de schuiven en de deuren zijn dan óf geheel geopend, óf geheel gesloten. (Het debiet door de sluis wordt geregeld door het aantal geopende schuiven, niet door het stroomprofiel te verkleinen met behulp van de schuif.) Dit houdt in dat er alleen stroming om de deur- of schuifconstructie optreedt wanneer er bijzondere gebeurtenissen hebben plaatsgevonden.

In de volgende paragrafen zullen we eerst de kans op het optreden van dergelijke omstandigheden nagaan, daarna kijken we naar de dan optredende belastingen op de deur en de schuif. Uiteindelijk bepalen we de kans dat deur of schuif bezwijken door deze trillingsverschijnselen.

### 9.5.2 Trillingsverschijnselen bij de schuif

De stroming langs de schuif, die trillingen kan veroorzaken, kan alleen optreden wanneer de schuif slechts gedeeltelijk is gezakt én de deur open staat. De gebeurtenissen die hiertoe kunnen leiden zijn weergegeven in de foutenboom op de volgende bladzijde, waarin ook de kans op het optreden van deze deelgebeurtenissen is gegeven. Uit de foutenboom kan de kans op het optreden van stroming langs de schuif afgeleid worden.

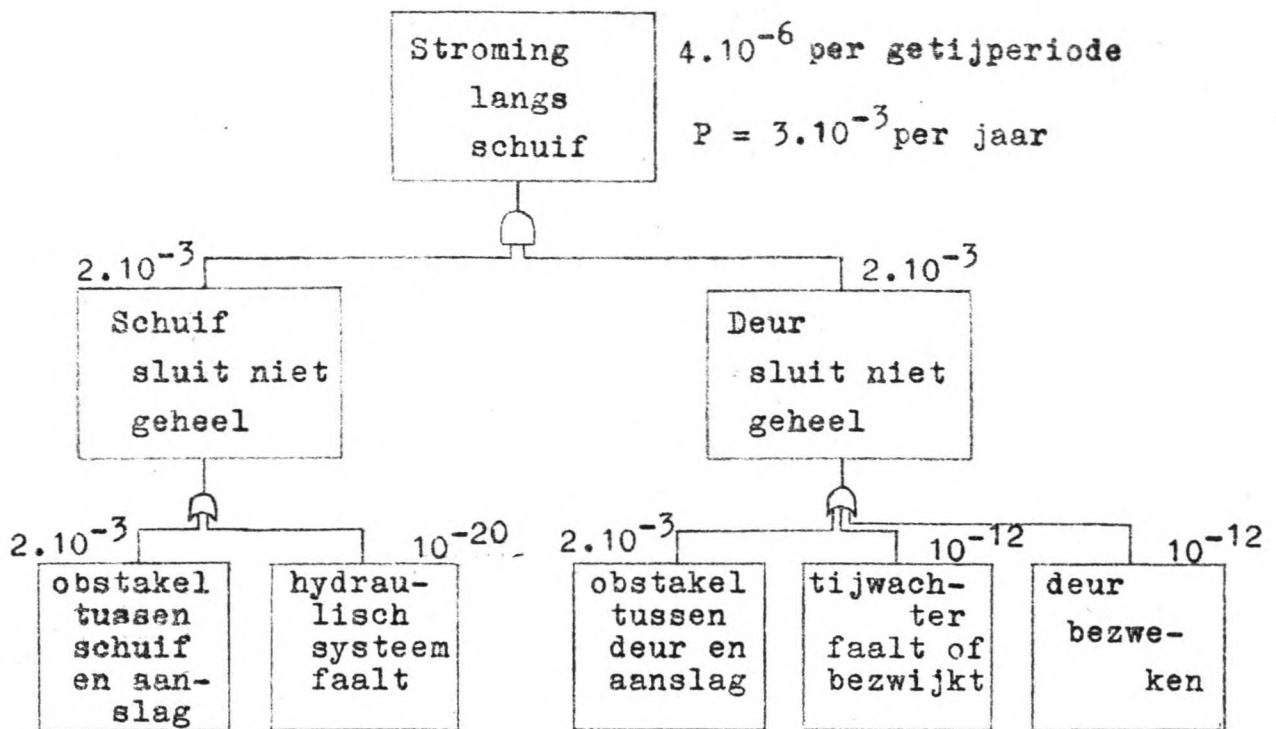


Fig. 9.12, Foutenboom voor het optreden van stroming langs de hefschuif. (frequenties in keren per getijperiode)

Hierbij zij nog opgemerkt dat de kans op falen van het hydraulisch systeem zeer klein is, omdat we de situatie beschouwen dat de schuif wel zakt, maar niet tot op de bodem.

Een tweede opmerking is dat ook de situatie is beschouwd dat deur en schuif slechts een klein beetje open staan (door obstakel). De vraag is of in deze situatie de stroming langs de schuif sterk genoeg zal zijn om trillingsverschijnselen te veroorzaken. De hier gegeven kans is dus nog aan de veilige kant.

Globaal kunnen we stellen dat de situatie van stroming langs de schuif optreedt met een kans van  $10^{-3}$  per jaar.

Wat betreft de belasting die onder deze omstandigheden op de schuif worden uitgeoefend geeft Kolkman (lit. 22) aan dat deze 20 à 30 % hoger kan zijn dan de belasting in het statische geval, mits bepaalde voorzorgen zijn genomen. Deze voorzorgen bestaan uit:

- Door de vormgeving voorkomen dat er teruggekoppelde instabiele trillingen ontstaan.
- Zorgen dat de eigenfrequenties van de schuif hoog liggen ten opzichte van de frequenties van de optredende turbulenties.
- Zorgen dat de stroom goed gedefinieerd is, zodat er geen instabiele loslaatverschijnselen ontstaan.
- Zorgen dat de onderdelen waarin speling zit in één richting worden belast.

Kolkman geeft in lit. 23 aan welke vormgevingen erg gevoelig zijn voor teruggekoppelde trillingen; We mogen stellen dat dit bij de spuisluisschuif mee zal vallen. Ook wat betreft de andere genoemde aspecten is de schuif goed gedimensioneerd, zodat de extra belasting ten gevolge van dynamische effecten ca. 20 à 30 % van de statische belasting zal bedragen.

Door middel van een zeer beknopte probabilistische berekening zullen we een uitspraak doen omtrent de kans dat de schuif bezwijkt wanneer er trillingen optreden. Reeds eerder hebben we gezien dat volgens de deterministische berekeningen een veiligheidscoëfficiënt  $\gamma = 6$  is gehanteerd. De onderstaande figuur geeft een beeld van de gehanteerde waarden bij die berekening.

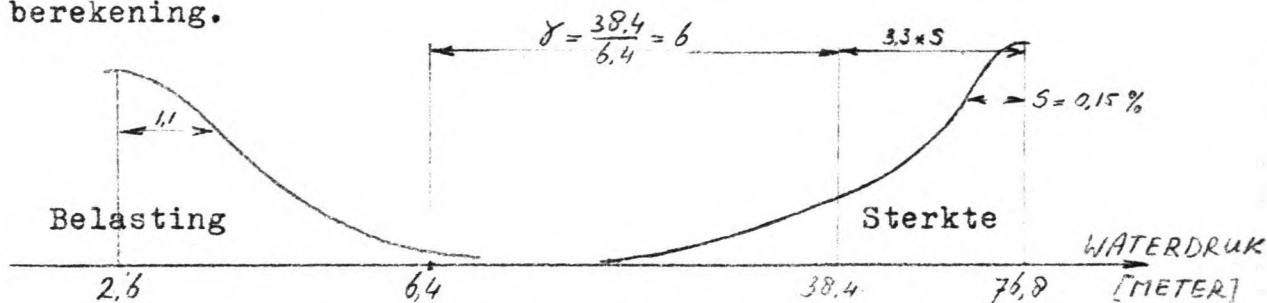


Fig. 9.13, Veiligheid van de schuif bij statische belasting.

In de figuur zijn ook enige waarden weergegeven die bij de probabilistische sterkteberekening (voor het statische geval) zijn gebruikt.

We kunnen nu voor het nieuwe geval eenzelfde figuur opstellen en daaruit de bezwijkkans berekenen.

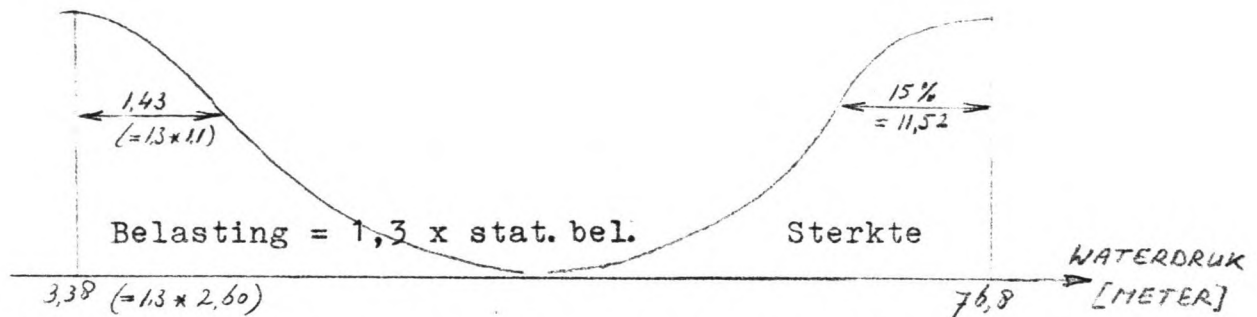


Fig. 9.14, Veiligheid van de schuif bij dynamische belasting (= 1,3 x statische belasting).

Uit de figuur kunnen we de waarden voor sterkte en belasting invullen in de faalfunctie:

$$Z = \text{sterkte} - \text{belasting} = R - S.$$

Voor de gemiddelde waarde van Z vinden we dan:

$$\mu(Z) = \mu(R) - \mu(S) = 76,8 - 3,4 = 73,4 \text{ m.}$$

We kunnen nu de tabel opstellen waarmee we de standaardafwijking van Z kunnen bepalen:

$x_i$	$s(x_i)$	$\frac{\delta Z}{\delta x_i}$	$(\frac{\delta Z}{\delta x_i} \cdot s(x_i))^2$
R	11,52	1	132,71
S	1,43	-1	2,04
$\Sigma =$			134,75

We vinden voor de standaard afwijking van de faalfunctie:

$$s(Z) = \sqrt{134,7} = 11,6 \text{ m.}$$

De betrouwbaarheidcoëfficiënt heeft de waarde:

$$\beta = u(Z) / s(Z) = 73,4 / 11,6 = 6,3$$

Door deze waarde op te zoeken in de tabel voor de normale verdeling op bijlage 2 vinden we voor de bezwijkkans:

$$P = 0,5 \cdot 10^{-9} \text{ per jaar.}$$

Voor de totale kans dat de schuif bezwijkt ten gevolge van trillingsverschijnselen vinden we:

$$\begin{aligned}
 P(\text{schuif bezwijkt door trillingen}) &= \\
 &P(\text{schuif bezwijkt trillingen}) \times P(\text{trillingen}) \\
 &= 5 \cdot 10^{-10} \times 10^{-3} = \underline{5 \cdot 10^{-13}} \text{ per jaar.}
 \end{aligned}$$

### 9.5.3 Trillingsverschijnselen bij de deur.

Zoals we in de foutenboom van figuur 9.12 hebben gezien wordt de kans dat de schuif bloot staat aan trillings-effecten vrijwel geheel bepaald door de gebeurtenis dat er een obstakel tussen deur en aanslag en tussen schuif en bodem zit. Dit zal ook het geval zijn voor de situatie waarin de wachtdeur door trillingen wordt belast. We zullen hiervoor dus dezelfde kans kunnen aanhouden:  $P(\text{stroming langs deur}) = 10^{-3}$  per jaar.

We voeren dezelfde beknopte probabilistische berekening uit als in de voorgaande paragraaf, om de kans te bepalen dat de deur bezwijkt ten gevolge van de trillingsverschijnselen. De onderstaande figuren illustreren belasting, sterkte en veiligheid in de statisch belaste en de dynamisch belaste toestand van de deur.

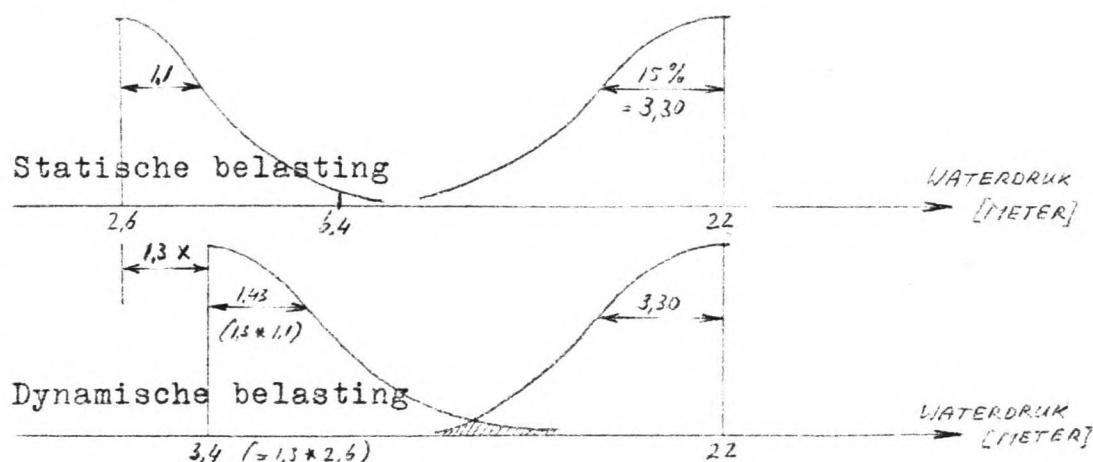


Fig. 9.15, Veiligheid van de deur bij statische en dynamische belasting.

Voor het gemiddelde van de faalfunctie vinden we:

$$\mu(Z) = \mu(R) - \mu(S) = 22 - 3,4 = 18,6 \text{ m.}$$

Voor de standaard afwijking:

$$s(Z) = \sqrt{s(R)^2 + s(S)^2} = \sqrt{3,3^2 + 1,43^2} = \sqrt{12,93} = 3,6 \text{ m.}$$

Hieruit volgt voor de betrouwbaarheidsindex:

$$\beta = u(Z) / s(Z) = 18,6 / 3,6 = 5,2$$

hetgeen een bezwijkkans betekent van  $10^{-7}$  per jaar.

Gecombineerd met de kans op het optreden van een stroming langs de deur ( $10^{-3}$ ) verkrijgen we voor de totale kans op bezwijken van de wachtdeur ten gevolge van trillingen:

$$P(\text{bezwijken van deur door trillingen}) = 10^{-10} \text{ per jaar.}$$

## 9.6 Bezwijken van deur of schuif ten gevolge van ijsbelasting

### 9.6.1 Algemeen

Reeds op het eerste gezicht kunnen we zeggen dat de constructie niet gevoelig is voor ijsbelastingen. De schuif en de deur liggen -zowel vanaf de Westerschelde als vanaf het Zoommeer gerekend- ca 30 m. in de koker, die slechts 3,45 m. breed is. Dit heeft tot gevolg dat kruierend ijs, dat een grote belasting kan uitoefenen, de deur- en schuifconstructie niet kan bereiken. Het is ook niet mogelijk dat het ijs door een waterstroom tegen de deur of schuif wordt aangedrukt; immers, als er een waterstroom is staan deur zowel als schuif open. Bovendien zal nooit de combinatie van een grote waterdruk en ijsbelasting kunnen optreden; Wanneer de waterstand hoog is, zal de koker onbereikbaar zijn voor het (drijvende) ijs. We mogen dus stellen dat de kans op het bezwijken van deur of schuif ten gevolge van ijsdruk verwaarloosbaar is.

Er is nog wel een ander aspect dat onze aandacht verdient; de kans dat de schuif kapotgetrokken wordt, terwijl hij vastgevroren zit in een ijslaag. Hierop wordt in de volgende paragrafen dieper ingegaan.



### 9.6.2 Het optreden van lage watertemperaturen

In de jaarboeken der waterhoogten, watertemperaturen en windgegevens (lit. 24) zijn de watertemperaturen weergegeven van het Westerschelde-water bij Bath, voor de jaren 1957-1979.

Uit deze waarnemingenreeks selecteren we de jaarminima en construeren hiervoor de extreme-waarde verdeling. Dit doen we door de waarnemingen te rangschikken naar grootte en de overschrijdingsfrequentie te bepalen. Het resultaat hiervan is weergegeven op bijlage 18. Daarna zetten we de watertemperatuur uit tegen de onderschrijdingsfrequentie, op Gumbel-papier (zie Seyhan, lit. 25) en op papier met een andere kansverdeling langs de horizontale as (zie bijlagen 19 en 20). De verwachting is dat op het Gumbel-papier bij interpolatie een bij benadering rechte lijn zou ontstaan, waaruit we door extrapolatie de vóórkommens-kans van lage tot zeer lage watertemperaturen zouden kunnen bepalen. Het verkregen resultaat is echter geen rechte; Toch kunnen we uit de beide figuren van bijlage 19 en 20 de kans op een lage watertemperatuur -zij het met enige voorzichtigheid- bepalen.

### 9.6.3 Bevriezingstemperatuur van het water

Aan één zijde van de schuif bevindt zich het relatief zoute Westerscheldewater, aan de andere zijde het zoete Zoommeerwater. Het chloridegehalte van het water dat de schuif omringt is ca. 4500 mg/ltr. Uit de grafiek op bijlage 21 blijkt dat de bevriezingstemperatuur van water met een dergelijk chloridegehalte ca.  $-0,2^{\circ}\text{C}$  is.

#### 9.6.4 Gevolgen van ijsvorming

Op de volgende bladzijde is een gebeurtenissenboom weergegeven met de mogelijke gevolgen van het optreden van een lage watertemperatuur. In het navolgende zullen we proberen de kans op het optreden van de verschillende gebeurtenissen te kwantificeren.

Het optreden van de begingebuurtenis "watertemperatuur lager dan  $-0,2^{\circ}\text{C}$ " kunnen we vinden met behulp van de eerder geconstrueerde onderschrijdingsfrequentie-verdelingen op de bijlagen 19 en 20. De kans dat deze gebeurtenis optreedt is ongeveer  $1/7$  per jaar.

De tweede en derde gebeurtenis uit de boom, "ijsvorming" en "ijs breekt niet bij bewegen van de schuif", zijn lastiger te kwantificeren. We beschouwen de kans dat er een ijslaag ontstaat, die zo sterk is dat de schuif er niet zondermeer uit losgetrokken kan worden. Het ontstaan van een dergelijke ijslaag is afhankelijk van een aantal factoren:

- watertemperatuur,
- golven,
- omgevingtemperatuur,
- ijskwaliteit; verontreinigingen, sterkte,

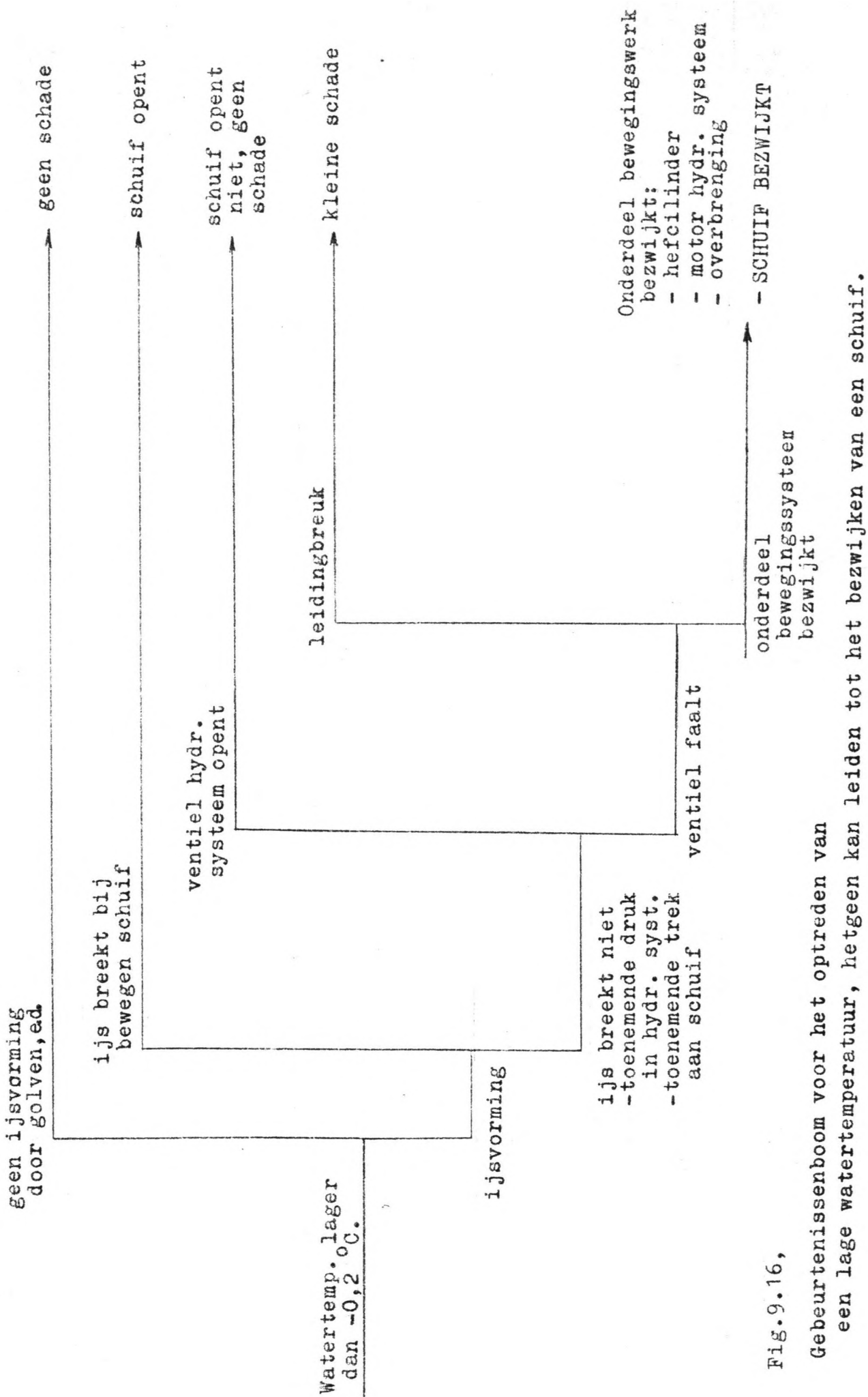
Bij het ontwerp van de schuif en het bewegingsysteem is er uitgegaan van een ijsbelasting van 15 ton.

Hiervoor is gerekend met een schuifsterkte van het ijs van  $11 \text{ kg/cm}^2$ , en een laagdikte van het ijs van 3 cm.

$$\left( \frac{2}{3} \cdot \text{omtrek} \cdot \text{dikte} \cdot \tau_{\text{ijs}} = \frac{2}{3} \cdot 6,9 \cdot 10^2 \cdot 3 \cdot 11 = 15000 \text{ kg.} \right)$$

De sterkte van het ijs kan volgens het STUVO-rapport (lit.25) variëren van 0 tot  $22 \text{ kg/cm}^2$ , zodat aan de hand van deze berekening geen uitspraak te doen is omtrent de kans van optreden van een ijslaag met een bepaalde sterkte.

Ook ten aanzien van de dikte van de ijslaag, die met een bepaalde kans optreedt bij een bepaalde watertemperatuur, is moeilijk een uitspraak te doen.



Watertemp. lager dan -0,2 °C.

Fig. 9.16,

Gebeurtenissenboom voor het optreden van een lage watertemperatuur, hetgeen kan leiden tot het bezwijken van een schuif.

De laagdikte is mede-afhankelijk van de duur van de vorstperiode. Bovendien zal het kunstwerk zelf veel warmte vasthouden, waardoor het ijs in de buurt hiervan dunner zal zijn dan het open ijs. (Dit effect is bekend van schaatstochten, waarbij het ijs onder bruggen vaak dun en gevaarlijk is.) Ook wordt de schuif regelmatig bewogen, wat een snelle aangroei van het ijs tegengaat.

Deze overwegingen beschouwend, stellen we arbitrair dat het water een temperatuur lager dan  $-3^{\circ}\text{C}$  moet hebben voordat er zich een ijslaag vormt die de kracht van 15 ton op de schuif kan veroorzaken. Deze temperatuur wordt volgens de bijlagen 19 en 20 onderschreden met een kans van  $1/5000$  per jaar.

#### 9.6.5 Veiligheidsventiel hydraulisch systeem faalt bij vorst

Wanneer de schuif vastgevroren zit in een sterke ijslaag zal allereerst het veiligheidsventiel van het hydraulisch systeem aangesproken worden, bij toenemende oliedruk. De kans van falen van het ventiel is, volgens de KEMA (zie bijlage 22),  $10^{-5}$  per vraag.

Gecombineerd met de kans op het optreden van de ijslaag, verkrijgen we een kans:

$$P(\text{ventiel faalt door ijs}) = 1/5000 \times 10^{-5} = 2 \cdot 10^{-8} \text{ /vraag.}$$

Het aantal malen dat de schuif aangesproken wordt tijdens een vorstperiode is afhankelijk van de duur en van het lozingsprogramma van de sluis. Voor de duur van de vorstperiode schatten we ca. 2 weken. Wat betreft het programma is het niet waarschijnlijk dat er tijdens een dergelijke periode veel geloosd zal worden, de meeste neerslag blijft in de vorm van sneeuw op het land achter. We nemen aan dat er gemiddeld met 1 koker gespuid wordt, het aantal malen dat 1 van de 6 kokers aangesproken wordt is dan:  $2$  (weken)  $\times$   $7$  (dagen)  $\times$   $2$  (spuiperiodes/dag)  $\times$   $1/6$  van het aantal kokers = 5 maal. Het resultaat is:  
 $P(\text{ventiel faalt door ijs}) = 10^{-8}$  per jaar.

#### 9.6.6 Gevolgen van falend ventiel; Bezwijkkans schuif

Als de gebeurtenis "veiligheidsventiel faalt door ijs" is opgetreden, zijn er nog vele mogelijke gevolgen. Onderstaand worden deze genoemd, waarbij van boven naar onder de waarschijnlijkheid van optreden afneemt:

- motor valt uit (KEMA -  $10^{-5}$ /uur),
- hefcilinder lek of breuk (KEMA -  $10^{-7}$ /uur),
- leiding lek of breuk (KEMA -  $10^{-9}$ /uur),
- bevestiging hefcilinder-schuif bezwijkt,
- bevestiging zuigerstang-betonconstructie bezwijkt
- schuif bezwijkt.

We kunnen concluderen dat de gebeurtenis "schuif bezwijkt ten gevolge van vastvriezen" met een zeer kleine kans optreedt.

In de eerste plaats is de kans op het optreden van de omstandigheden die tot de gebeurtenis kunnen leiden

$$P(\text{falend ventiel, ijs}) = 10^{-8} \text{ per jaar.}$$

De kans dat onder deze omstandigheden de schuif eerder bezwijkt dan de andere onderdelen schatten we, op grond van het voorgaande, op  $10^{-2}$ , hetgeen resulteert in:

$$P(\text{schuif bezwijkt door vastvriezen}) = \underline{10^{-10}} \text{ per jaar.}$$

9.7 Bezwijken van deur of schuif ten gevolge van falende opleggingen

De opleggingen van de deur en de schuif worden gevormd door de betonconstructie. Wanneer deze opleggingen falen zal dit direct leiden tot het bezwijken van de deur en de schuif.

De oplegging kan falen doordat de betonconstructie geheel of gedeeltelijk bezwijkt. Bij diverse berekeningen is gebleken dat een betonconstructie, ontworpen volgens de huidige voorschriften, een bezwijkkans heeft van ca.  $10^{-8}$  per jaar (zie o.a. lit. 27). Ook voor de spuisluisconstructie kunnen we deze kans aanhouden.

De kans op het bezwijken van een deur of schuif ten gevolge van een falende oplegging kunnen we hieraan gelijk stellen:

$$P(\text{schuif of deur bezwijkt t.g.v. falende oplegging}) = \underline{10^{-8}} \text{ per jaar.}$$

## 10 Besturing/beheer van de spuisluis faalt

### 10.1 Automatische besturing faalt

#### 10.1.1 Algemeen

De automatische bediening van de sluis verloopt als volgt:

- waterstandsmeting Zoommeer,
- bepaling van het aantal te openen schuiven, door middel van computer Kreekraksluizen,
- waterstandsmeting Westerschelde,
- beslissing "schuiven open", door computer, net voor het laagwater op de Westerschelde,
- signaal "schuiven open" naar spuisluis, via vaste verbinding.

Deze automatische bediening kan door verschillende oorzaken gestoord worden. In dit verband zijn echter alleen die storingen van belang, die tot gevolg hebben dat er een aantal schuiven van de sluis open blijven staan, tijdens het hoogwater op de Westerschelde. In de volgende paragrafen zullen we voor elke component van de automatische besturing de kans bepalen op een dergelijke storing.

#### 10.1.2 Computerstoring en falen van het computerprogramma

De spuisluis zal, zoals gezegd, bestuurd worden door de computer die ook het schutproces bij de Kreekraksluizen regelt. Deze computer is geplaatst in het bedieningsgebouw van de Kreekraksluizen en is reeds 8 jaar in bedrijf. In de eerste jaren van het gebruik waren de ervaringen met de computer niet gunstig. Dit was vooral te wijten aan de volgende oorzaken:

- fouten in het computerprogramma,
- omgevingstemperatuur niet goed,

- verontreiniging van de computer door koolstof-stof van andere apparatuur.

Deze storingen zijn echter aan te merken als "kinderziektes" en na plaatsing van de computer in een aparte ruimte met air-conditioning en vervanging van enige onderdelen die erg gevoelig bleken voor temperatuurwisselingen, zijn er nauwelijks problemen opgetreden. Uiteraard waren na enige tijd ook de problemen met het computerprogramma verholpen.

Wanneer de spuisluis door de computer bediend gaat worden zullen er in het, dan voor het eerst gebruikte, lozings-computerprogramma weer nieuwe fouten zitten. Alhoewel het programma terdege getest zal worden met behulp van een simulatiepaneel (nagaan of het programma adequaat reageert op (willekeurig) ingevoerde waarden) is de kans op de aanwezigheid van fouten wel aanwezig. Toch zullen we deze kans in onze beschouwing kunnen verwaarlozen; wanneer het programma in de beginperiode faalt zal het Zoommeer nog niet verzoet zijn. Het binnendringen van zout Westerschelde-water veroorzaakt dan geen ongewenste topgebeurtenis. Pas wanneer het Zoommeer zich heeft aangepast aan de nieuwe hydrologische gegevens (en zoet is) zal falen van het programma opgenomen moeten worden in de foutenboom. De kans dat het programma na deze periode nog fouten vertoont zal echter verwaarloosbaar zijn.

De kans op uitvallen van de computer, zoals die nu functioneert voor de Kreekraksluizen, en dus in de toekomst zal functioneren voor de Bathse spuisluis, bedraagt ca.  $10^{-3}$  per jaar, volgens opgave van Rijkswaterstaat. Hierbij is de kans op het uitvallen van de stroomvoorziening niet inbegrepen.

De stroomvoorziening van de computer vindt plaats vanuit het net, met een accu-systeem als noodvoorziening. De kans op het uitvallen van de netvoeding is ca. éénmaal per 2 jaar, zoals uit lit. 28 is af te leiden.



De gemiddelde duur van een storing van de netvoeding bedraagt ca. 1,5 uur. De kans dat er een storing optreedt die langer duurt dan 12 uur (de capaciteit van het accu-systeem) zal erg klein zijn. We mogen stellen dat deze kans verwaarloosbaar is ten opzichte van de storingskans van de computer ( $10^{-3}$ ).

Concluderend kunnen we de kans op het optreden van een computerstoring of een fout in het computerprogramma stellen op  $10^{-3}$  per jaar.

### 10.1.3 Waterstandsmeting faalt

De waterstandsmeting vindt plaats met behulp van borrelbuisen; door een in het water opgehangen buis worden luchtbellen naar beneden geblazen en uit de daarvoor benodigde druk kan de waterstand worden afgeleid. Voor het binnendringen van een hoeveelheid water vanaf de Westerschelde op het Zoommeer, is vooral de meting van de waterstand op de Westerschelde van belang; wanneer het getij boven de waterstand op het Zoommeer stijgt, moeten de schuiven gesloten worden.

Uit de ervaring van de storings- en onderhoudsdienst van Rijkswaterstaat in de provincie Zeeland hebben we met de nodige voorzichtigheid -frequentistische gegevens omtrent het falen waren niet beschikbaar- een faalkans van éénmaal in de 2 à 3 jaar af kunnen leiden. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat dit falen dan vaak bestaat uit het geleidelijk aangeven van een onjuiste waterstand, veroorzaakt door aangroei en verontreiniging van de borrelbuis. Aangezien een waterstandsmeting die minder dan 40 à 50 cm. afwijkt nog geen gevolgen zal hebben op het al of niet sluiten van de schuiven, dienen we in de foutenboom een kleinere kans te hanteren.

Doordat bekend is dat de borrelbuizen gevoelig zijn voor aangroei e.d. worden ze regelmatig nagezien. Voor de kans op falen van de waterstandsmeter stellen we dat dit optreedt wanneer de monteur faalt bij de controle en de borrelbuis wél reparatie of schoonmaak nodig had. Voor het falen van de monteur kunnen we, volgens informatie van de KEMA, een kans van  $10^{-3}$  per keer aanhouden. De kans op het falen van de waterstandsmeter wordt:  $1/2 \text{ à } 1/3 \times 10^{-3} \approx \underline{0,5 \cdot 10^{-3}}$  per jaar.

De waterstandsmeting kan ook falen doordat de verbinding van de borrelbuis naar de computer faalt. De PTT geeft in een brochure (lit. 28) een faalkans van  $2 \cdot 10^{-5}$  voor een vaste telefoonverbinding. Voor de faalkans van de verbinding van de borrelbuis naar de computer houden we dezelfde kans aan. We zien dat deze kans klein is ten opzichte van de faalkans van de borrelbuis.

Resultierend vinden we voor de faalkans van de waterstandsmeting:

$$P(\text{waterstandsmeting faalt}) \approx \underline{0,5 \cdot 10^{-3}} \text{ per jaar.}$$

#### 10.1.4 Verbinding computer - spuisluis faalt

In de vorige paragraaf is reeds een faalkans van  $2 \cdot 10^{-5}$  genoemd, voor een vaste telefoonverbinding. Het is niet aannemelijk dat de faalkans van de verbinding van de computer naar de spuisluis veel groter zal zijn; de afstand is klein en de verbinding zal eenvoudig kunnen zijn.

Wanneer we de kans van  $2 \cdot 10^{-5}$  aanhouden, zien we dat het aandeel van het falen van de verbinding computer-spuisluis in de kans op het falen van de automatische bediening relatief klein is, zodat veel aandacht voor het bepalen van deze kans verder overbodig is:  $P(\text{verbinding comp.-spuisluis faalt}) \approx \underline{2 \cdot 10^{-5}}/\text{jaar.}$

## 10.2 Geen adequate reactie op storing

### 10.2.1 Algemeen

Wanneer het spuisluis-systeem niet naar behoren functioneert dient er een waarschuwingssignaal aan te komen in het bedieningsgebouw van de Kreekraksluizen, waarop de daar aanwezige sluiswachter dient te reageren.

Het is nog niet bekend hoe dit faal-waarschuwingssysteem eruit zal zien of hoe het zal werken. Waarschijnlijk gaat er bij een storing in het spuisluissysteem een lampje branden op een apart controle-paneel in de bedieningsruimte van de Kreekraksluizen. Op de wachtdeuren zal geen storingsmelder aangebracht worden, op de schuiven wel. Wanneer de schuif niet reageert op een signaal tot dalen of heffen komt hiervan een melding.

Een ander soort storing treedt op wanneer de computer-die het spuisluisprogramma stuurt- faalt. Deze computer bestuurt ook het schutproces van de Kreekraksluizen en een storing ervan zal dan ook direct opgemerkt worden door de sluiswachter.

In de volgende paragrafen zullen we deze beide storingen, en de reactie erop, behandelen; daarna proberen we de kans te bepalen op het uitblijven van een adequate reactie.

### 10.2.2 Reactie op het falen van een schuif

Wanneer er een storings-signaal binnenkomt weet de sluiswachter niet wat er aan de hand is. Hij dient de storing te melden aan de storingsdienst, of aan een monteur als de storing buiten normale werktijden optreedt.

Wanneer de storing het niet dalen van één of meerdere schuiven inhoudt -een gebeurtenis die, getuige de foutenboom, grote gevolgen kan hebben- zal dit pas gemeld worden ná de kentering van laag- naar hoogwater.

Immers, volgens de normale procedure sluiten eerst de wachtdeuren -op het tij- en worden daarna de schuiven neergelaten.

Een schuif kan alleen gesloten worden wanneer het verval over de schuif minder is dan 50 cm. Dit betekent dat de schuif binnen ca. 30 minuten na de kentering van het tij gesloten moet zijn. Het zal duidelijk zijn dat dit een zeer korte tijd is om te reageren. We gaan na wat er gedurende deze tijd allemaal moet gebeuren, en schatten daarbij de tijd die de diverse processen in beslag nemen:

- schuif sluit ná kentering	3 min.
- sluiswachter merkt storings signaal op	2 min.
- sluiswachter belt chef storingsdienst	3 min.
- chef storingsdienst waarschuwt monteur	2 min.
- monteur beëindigt bezigheden en vertrekt	5 min.
- rijstijd monteur	10 min.
- opzoeken storing: Kreekrakgebouw of spuisluis	5 min. +
Totaal:	25 min.

De hier geschatte tijden zijn nog aan de korte kant; omdat de ernst van de situatie niet bekend is zal er niet snel gereageerd worden. Het is duidelijk dat de monteur nauwelijks tijd zal hebben om ervoor te zorgen dat de falende schuif gedurende dát hoogwater nog dicht is.

De kans op het niet-verhelpen van deze storing binnen een half uur, schatten we slechts weinig kleiner dan 1:

$$P(\text{storing niet verholpen}) = 1 \text{ per keer.}$$

### 10.2.3 Reactie op het falen van de computer

Wanneer de computer uitvalt zal de sluiswachter het zeker merken, want ook het schutproces van de Kreekraksluizen ligt dan stil. De sluiswachter dient nu een monteur te waarschuwen en het schutproces van de Kreekraksluizen met de hand te bedienen. Hij zal het op dat moment dus extra druk krijgen.

Voor de spuisluis kunnen we in deze situatie verschillende gevallen onderscheiden. Wanneer de computer vlak vóór het hoogwater faalt is de kans zeer groot dat de spuisluis tijdens de kentering niet bediend zal worden; de sluiswachter zal het zeer druk hebben met de handbediening van de schutsluizen, het bellen van een monteur en het aanpassen aan de situatie. De kans dat hij daarbij de spuisluis vergeet is naar mijn mening groot. Te meer omdat de spuisluis niet behoort tot zijn dagelijkse zorg en hij ook de verantwoordelijkheid ervoor minder zal voelen.

Wanneer de computer tijdens het hoogwater faalt, als de schuiven reeds gesloten zijn, kunnen we er tamelijk zeker van zijn dat de schuiven zullen functioneren bij het vólgend hoogwater. Immers, de schuiven moeten met de hand omhoog gezet worden om tijdens het laagwater te spuien. Als dat is gebeurd, is de kans dat men ze voor het volgend hoogwater vergeet te sluiten klein. Ook hier geldt echter weer dat deze werkzaamheden niet tot de normale routine van de sluiswachter behoren, zodat de kans op vergeten zeker aanwezig is.

Het kan ook zo zijn dat de computerstoring, opgetreden tijdens hoogwater, reeds verholpen is vóór het volgend hoogwater. In dat geval hoeft er niet gevreesd te worden voor binnendringend Westerscheldewater.

Wanneer de computer tijdens het laagwater faalt gelden de bovengenoemde overwegingen in meer- of mindere mate, afhankelijk van de tijdsduur vóór het volgend hoogwater.

Het is erg moeilijk de grootte van de kans aan te geven op het niet-adequaat reageren na een computerstoring, met als gevolg dat er tijdens het volgend hoogwater enige schuiven open blijven staan. Het feit dat de sluiswachter veel van z'n aandacht aan andere zaken dient te wijden en de spuisluis voor hem een bijkomende zaak zal zijn, moet m.i. zwaar wegen bij het afschatten van deze kans.

Op grond hiervan, en van de eerder beschreven overwegingen, schatten we deze kans op  $10^{-1}$  per keer.

## 11 Hydraulisch bewegingssysteem faalt

### 11.1 Algemeen

Het schema van het hydraulisch systeem is gegeven in figuur 11.1, op de volgende bladzijde. Hierbij zij opgemerkt dat het hydraulisch systeem van elke schuif volledig onafhankelijk is van dat van de andere schuiven. Slechts het oliereservoir vormt onderdeel van elk van de hydraulische systemen.

De olie wordt gepompt door een electromotor, die gevoed wordt vanuit het net en, in geval van stroomstoring, door een accu-systeem. Het zal echter blijken dat dit voor het nu beschouwde geval niet van belang is; de schuif kan ook zakken zonder dat de pomp werkt. De motor pompt de olie altijd in dezelfde richting, het zakken of heffen van de schuif vindt plaats door middel van een schakelaar, die reageert op een electrisch signaal. Deze schakelaar verandert het stroomcircuit zodanig, dat de schuif zakt, dan wel daalt.

In de volgende paragraaf gaan we in op de kans dat de schuif niet zakt, als er wel een signaal daartoe komt.

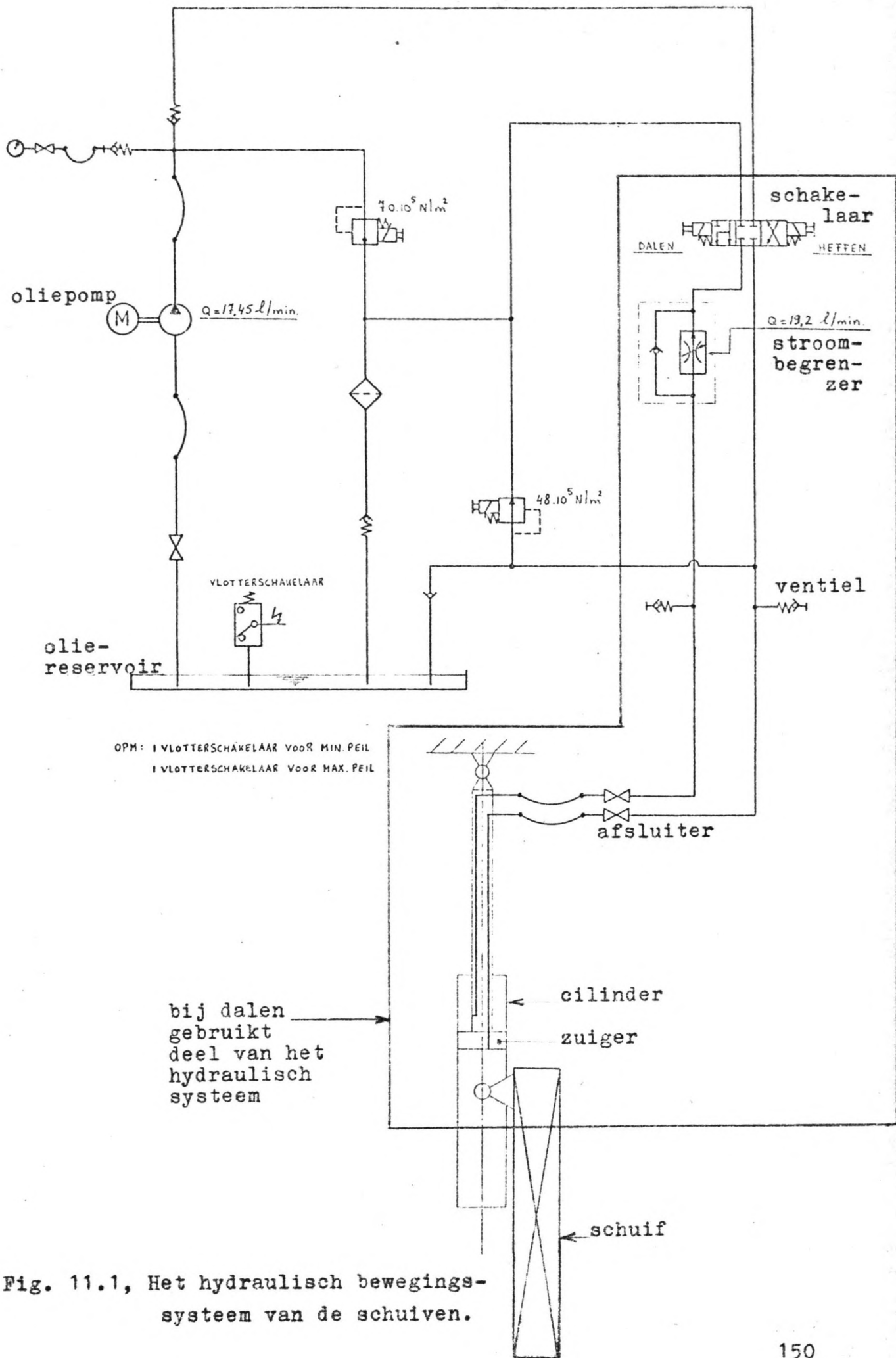


Fig. 11.1, Het hydraulisch bewegings-systeem van de schuiven.



11.2 Falen van het hydraulisch systeem, bij sluiten van de schuif

Bij een nadere beschouwing van het hydraulisch systeem zien we dat voor het sluiten van de schuif slechts het deel nodig is, dat is weergegeven in onderstaande figuur.

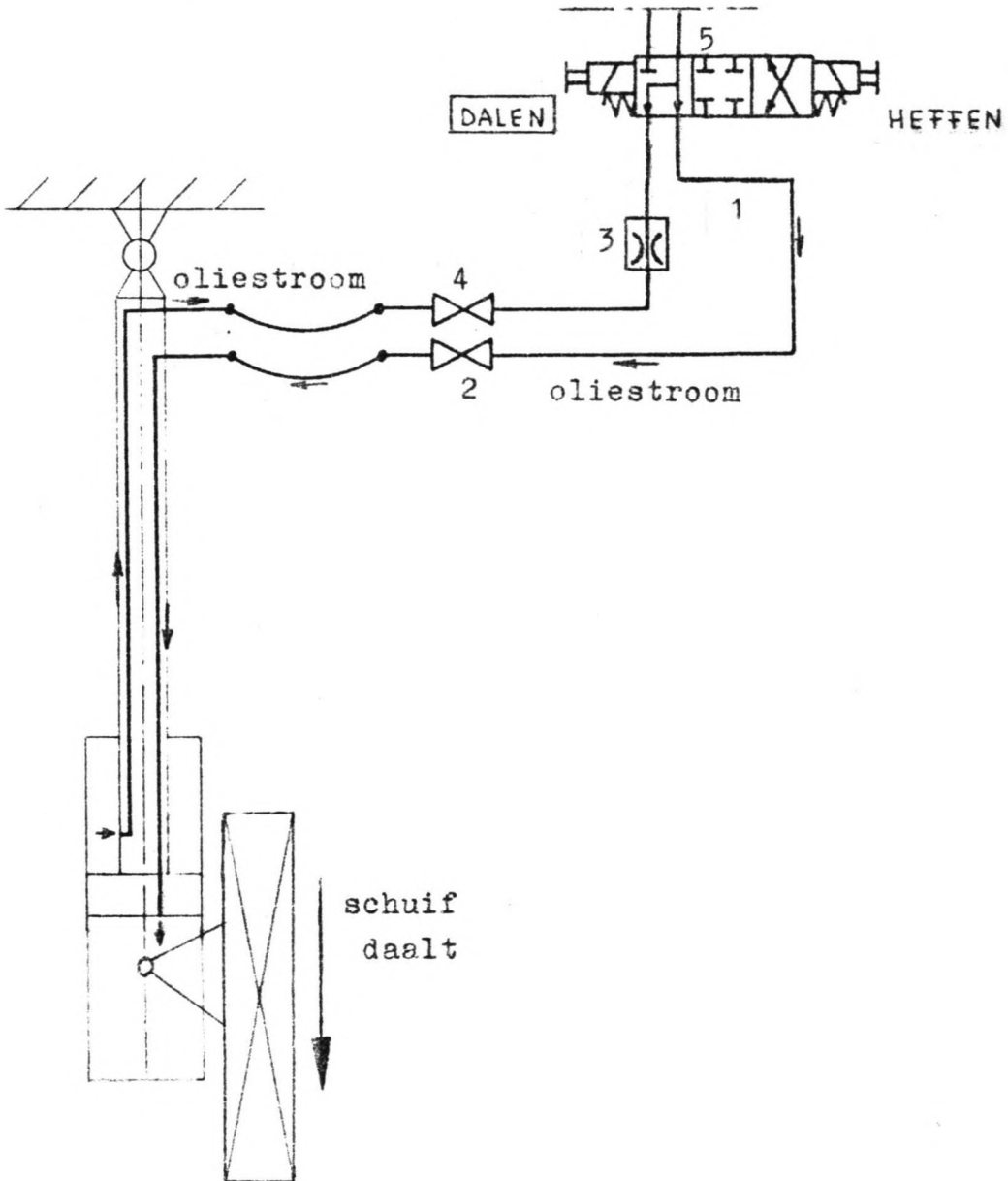


Fig. 11.2, Het deel van het hydraulisch systeem, dat nodig is voor het zakken van de schuif. (De nummers corresponderen met de gebeurtenissen uit de foutenboom van fig. 11.3.)

Wanneer de schuif gesloten dient te worden, wordt de schakelaar in de stand gezet, zoals in figuur 11.2 weergegeven. De schuif is verbonden aan de cilinder van het hydraulisch systeem; bij het dalen van de schuif beweegt deze mee, de zuiger staat stil. Wanneer de schuif zakt wordt de ruimte onder de zuiger, in de cilinder, groter en er zal daar dus olie aangezogen worden. De ruimte boven de zuiger wordt kleiner, hier wordt de olie weggedrukt.

In de figuur zien we dat deze beide ruimten door de leidingen en de schakelaar in de stand "dalen" direct met elkaar verbonden zijn. De schuif zal zodoende door z'n eigen gewicht sluiten; hierbij is dus geen extra oliedruk, pomp of stroom nodig.

In de onderstaande foutenboom voor het hydraulisch systeem is aangegeven door welke oorzaken de schuif kan weigeren te sluiten.

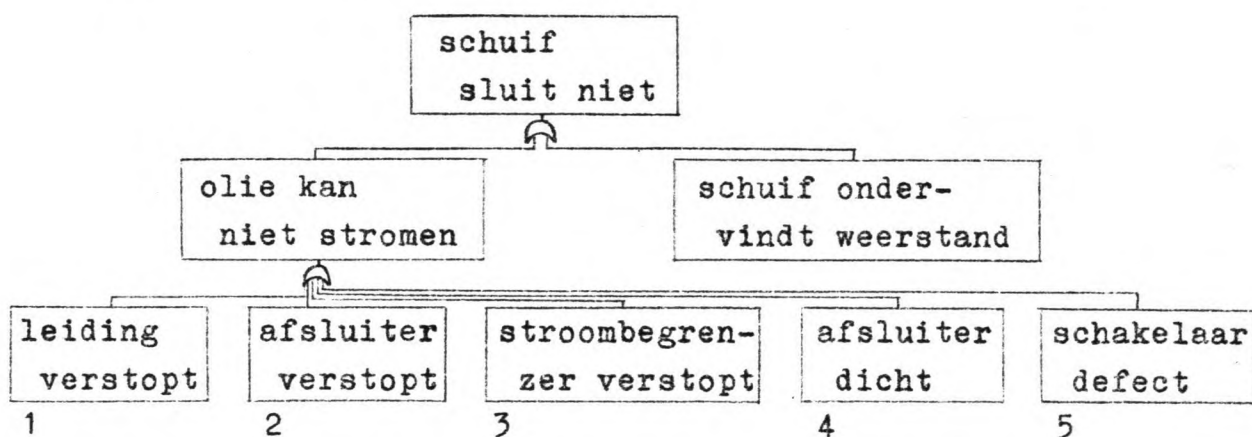


Fig. 11.3, Foutenboom voor het niet-sluiten van de schuif.

We zullen eerst de deelgebeurtenissen kort beschrijven en proberen de kans van optreden te geven.

1,2,3. Bij normaal onderhoud van het hydraulisch systeem zijn dit gebeurtenissen met een zeer kleine kans van optreden. Bovendien zal de situatie geleidelijk, door dichtslibben, zijn ontstaan, zodat reeds eerder opgemerkt kan worden dat die schuif

langzamer sluit dan de andere. (Een plotselinge verstopping is onmogelijk door de filters in het systeem.)

Volgens opgave van de KEMA is de kans op een verstopte afsluiter  $3 \cdot 10^{-7}$  per uur. Voor het aantal uren moeten we dan de tijd berekenen dat de olie stroomt, dus dat de schuif beweegt. We zullen zien dat dit een verwaarloosbare kans geeft ten opzichte van het falen van de schakelklep (5).

4. De gebeurtenis dat de afsluiter nog dicht staat kan alleen voorkomen wanneer een monteur of sluiswachter de afsluiter na een reparatie of controle vergeten is te openen. De frequentie waarmee reparaties of controles uitgevoerd worden, waarbij het nodig is de afsluiter te sluiten, zal klein zijn; we schatten dit op  $10^{-1}$  per jaar. De kans dat de monteur de afsluiter vergeet open te zetten, na de reparatie, bedraagt ca.  $10^{-3}$  per keer.

De totale kans op deze gebeurtenis is dan  $10^{-4}$  per jaar.

5. Schakelaar werkt niet; De KEMA geeft voor deze faalkans een waarde van  $10^{-4}$  per vraag. Om dit om te rekenen naar een kans op jaarbasis, moeten we een aanname doen omtrent de frequentie waarmee de schuiven bewogen worden. We stellen dat er per getij door 2 à 3 kokers wordt geloosd, dus dat gemiddeld  $2,5/6$  van de totale sluiscapaciteit gebruikt wordt. De schakelaar van één schuif wordt dan gemiddeld  $4 \times 2,5/6$  maal per dag aangesproken ( $2 \times$  op,  $2 \times$  neer = 4 bewegingen per dag); per jaar betekent dit ca. 600 maal. De faalkans van de schakelaar is dus per jaar  $6 \cdot 10^{-2}$ . De helft hiervan is om de schuif te openen, zodat de faalkans voor het sluiten van de schuif bedraagt:  
ca.  $3 \cdot 10^{-2}$  per jaar.

We kunnen met deze waarden de foutenboom van figuur 11.3 kwantificeren; de gebeurtenis "olie kan niet stromen" treedt op met een kans:

1. leiding verstopt	$P < 10^{-6}$
2. afsluiter verstopt	$P < 10^{-6}$
3. stroombegrenzer verstopt	$P < 10^{-6}$
4. afsluiter staat dicht	$P \cong 10^{-4}$
5. schakelaar faalt	$P \cong 3 \cdot 10^{-2}$
	<u>                  </u> +
	$3,01 \cdot 10^{-2}$

Resultierend vinden we voor de kans op het niet-sluiten van de schuif, ten gevolge van een falend hydraulisch systeem:  $3 \cdot 10^{-2}$  per jaar.

Tot slot van dit hoofdstuk dienen we nog aandacht te besteden aan de mogelijkheid van een leidingbreuk in het hydraulisch systeem. De kans op het optreden van een leidingbreuk is volgens de KEMA (zie bijlage 22) voor hogedrukslang  $4 \cdot 10^{-5}$  per uur, voor pijpleiding  $10^{-9}$  per uur.

De druk in de leidingen zal niet hoog oplopen, wanneer de schuif geheven staat (wél als de schuif geheven wordt, b.v. door vastvriezen). Dit verkleint de kans op het optreden van een leidingbreuk.

Wanneer er wel een leidingbreuk mocht optreden, terwijl de schuif geheven staat, zal de oliedruk in de leidingen wegvallen en de schuif snel naar beneden vallen. Alhoewel de schuif met een grote klap zal neerkomen, is het niet waarschijnlijk dat deze zal bezwijken.

De kans dat de schuif faalt, ten gevolge van een leidingbreuk in het hydraulisch systeem, is zodanig klein, dat het geen substantiële bijdrage zal leveren aan de totale kans op het falen van de schuif. We zullen deze gebeurtenis dan ook niet verder in de beschouwing meenemen.

## 12 Wachtdeur faalt

### 12.1 Algemeen

Het principe en de werking van de wachtdeur zijn reeds beschreven in hoofdstuk 3. We zullen nu proberen de faalkans van het wachtdeur-systeem te bepalen.

Ondanks het feit dat er in het verleden veel wachtdeuren zijn toegepast in suatiesluizen, zijn er nauwelijks gegevens omtrent het falen ervan bekend. Om toch een idee te krijgen van de bedrijfszekerheid van de deuren heb ik contact gehad met de reparatie- en onderhoudsdienst van Rijkswaterstaat in de provincie Zeeland, en met de zeven Zeeuwse waterschappen; in het bijzonder met het waterschap van Noord- en Zuid Beveland, Walcheren en Tholen. Uit de hierdoor verkregen informatie, die dus grotendeels op ervaring berust, is een schatting gemaakt van de faalkans van de deur, zoals in de volgende paragrafen beschreven.

### 12.2 Obstakel tussen deur en aanslag

Wanneer er voorwerpen op de sluisbodem liggen of in de sluis drijven is de kans aanwezig dat deze voorwerpen tussen de deur en de aanslag geraken, waardoor de deur niet zal sluiten.

Voor een representatieve sluis in het waterschap Walcheren verkregen we de volgende cijfers:

- gemiddeld 100 sluisgangen per jaar,
  - 2 kokers met elk 3 wachtdeuren, dus 6 deuren,
  - ca. 3 maal per jaar een obstakel tuseen deur en aanslag.
- We kunnen hieruit een faalkans afleiden per deur en per sluisgang:  $3 / (6 \times 100) = 5 \cdot 10^{-3}$ .

We kunnen dit herleiden tot een kans op jaarbasis door de reeds eerder gedane aanname dat de spuisluis Bath gemiddeld door 2,5 kokers zal spuien.

Gemiddeld vinden er dan per jaar  $2,5 \times 730$  (getijden) = 1825 deur-sluitingen plaats. Dit betekent voor de frequentie waarmee er een obstakel tussen de deur zit:  $1825 \times 5 \cdot 10^{-3} = 9$  maal per jaar.

Voor het optreden van de ongewenste topgebeurtenis heeft dit echter nauwelijks invloed. Immers, voordat de ongewenste topgebeurtenis optreedt dienen twee kokers gedurende één hoogwater open te staan, dit betekent een doorstroomopening van ca  $38 \text{ m}^2$ . Uit de onderstaande figuur zal duidelijk zijn dat de doorstroomopening ten gevolge van een obstakel tussen deur en aanslag zoveel kleiner is, dat de binnendringende hoeveelheid water geen ongewenste topgebeurtenis kan veroorzaken.

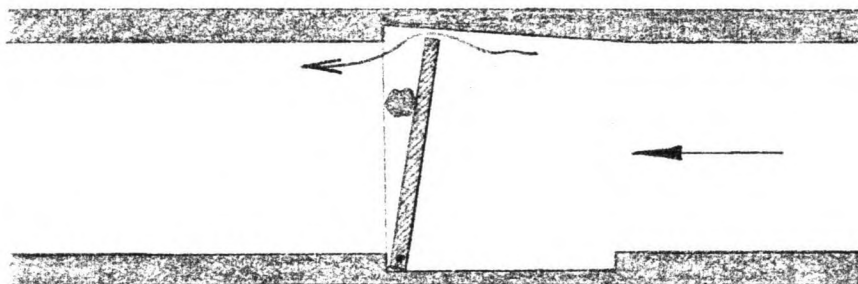


Fig. 12.1, Het debiet door de koker, bij een obstakel tussen deur en aanslag is slechts klein.

Resultierend kunnen we zeggen dat de kans op het optreden van de ongewenste topgebeurtenis ten gevolge van een obstakel tussen deur en aanslag verwaarloosbaar is. De bepaalde frequentie, waarmee de deur gedeeltelijk open blijft staan, is wel belangrijk voor het optreden van trillingsverschijnselen op de deur en de schuif. In de betreffende paragraaf is gebruik gemaakt van dit resultaat.

### 12.3 Tijwachter faalt

De tijwachter bestaat, zoals reeds eerder beschreven, uit een veer en een stootklos, zoals weergegeven in figuur 12.2

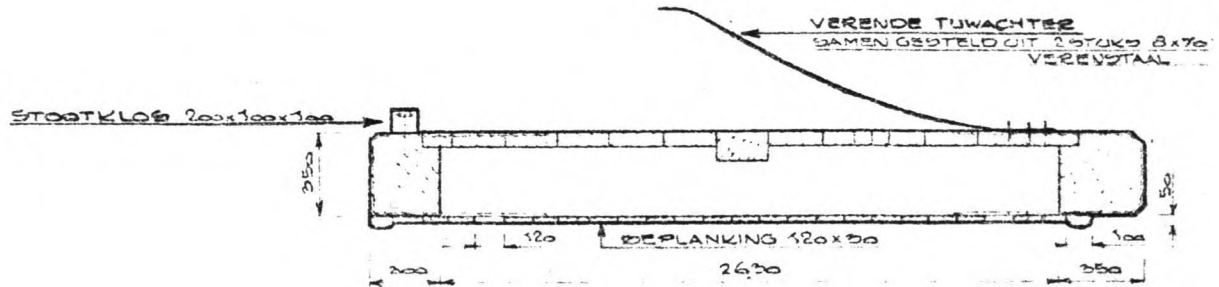


Fig. 12.2, Tijwachter, bestaande uit veer en stootklos.

De veer dient de deur bij kentering van laag- naar hoogwater een eerste zetje te geven om te sluiten. De klos dient ervoor te voorkomen dat de deur te diep in de deurkas wordt gedrukt, terwijl er door de ontwerpers ook op wordt gerekend dat de deur, wanneer de veer faalt, door de klos zodanig aangestroomd wordt, dat hij toch sluit. Of dit laatste werkt lijkt mij dubieus; het zal met name afhangen van het onderhoud van de draaipunten van de deur en van stromingseffecten in de koker. Vooral dit laatste zal moeilijk in te schatten zijn.

De veer kan falen doordat hij breekt, of doordat de bevestiging aan de deur faalt. Voor beide effecten is het zeer moeilijk de optredenskans te bepalen. Het falen van de veer kan optreden door roesten van de bevestigingsbouten of van de veer zelf, en door bezwijken van het hout van de deur, hetgeen veroorzaakt kan worden door een slechte houtkwaliteit, of aangetast hout. Voor de totale faalkans van de veer nemen we arbitrair een waarde aan van  $10^{-8}$  per jaar (= bezwijkkans beton).

Voor het falen van de stootklos houden we, eveneens arbitrair, een waarde aan van  $10^{-1}$ . Met deze waarden zou de totale kans voor het falen van de tijwachter  $10^{-9}$  per jaar bedragen; bij gebrek aan betere gegevens zullen we deze waarde in de verdere beschouwing hanteren.

#### 12.4 Vastvriezen van de deur

We kunnen ons voorstellen dat, bij zeer lage temperaturen, de wachtdeur in de deurkas vastvriest. Wanneer het hoogwater voorbij is, dient de veer de deur uit de kas te duwen; wanneer er een dikke ijslaag is ontstaan tussen de deur en de betonwand is de kans aanwezig dat dit ijs sterker is dan de veer en de deur open blijft.

Door de veer te beschouwen als een ingeklemde ligger, met de maten overeenkomstig figuur 12.1, is eenvoudig te berekenen dat de veer met een kracht van ca. 500 N de deur uit de kas wil drukken.

Voor de trekvastheid van ijs vinden we in het STUVO-rapport (lit. 25) waarden van 0 tot  $21 \text{ kg/cm}^2$ . Wanneer we de gemiddelde waarde van  $10 \text{ kg/cm}^2$  aanhouden en veronderstellen dat de deur over de gehele breedte is vastgevroren, kunnen we de ijsdikte berekenen waarbij het ijs sterker is dan de veer. Het blijkt dat hiervoor een ijslaag dikker dan ca. 3 cm nodig is.

Bij de vraag met welke kans een dergelijke ijslaag optreedt, dienen we naast de overwegingen genoemd in paragraaf 9.6, te bedenken dat de ijslaag zich vast moet hechten aan de (relatief warme) betonwand en hiervoor niet meer dan 6 uur (duur hoogwaterperiode) de tijd heeft. Wanneer we hiervoor, arbitrair, een watertemp. van ca.  $-6^\circ\text{C}$  aanhouden, vinden we, via de onderschrijdingsfrequentielijn voor de watertemperatuur van bijlage 19, een kans van orde-grootte  $10^{-6}$  per jaar. Deze kans zullen we hanteren in de foutenboom.



13 Geen maatregelen genomen nadat één koker gefaald heeft

### 13.1 Algemeen

Wanneer er één koker gefaald heeft en is blijven openstaan gedurende het hoogwater op de Westerschelde, zodat er zout water in het spuikanaal is binnengedrongen, is het van belang dat er tijdens het daaropvolgend laagwater maatregelen genomen worden. Deze maatregelen kunnen bestaan uit het opheffen van de storing, of het lozen door 5 à 6 kokers gedurende het laagwater, zodat de zouttong teruggedrongen wordt. Wanneer geen van deze maatregelen wordt genomen zal tijdens het volgend hoogwater de ongewenste topgebeurtenis optreden.

We gaan nu na wat de oorzaken kunnen zijn van het niet-nemen van maatregelen en hoe groot de kans daarop is.

Zoals in de foutenboom op de volgende bladzijde is aangegeven, zijn er drie hoofdoorzaken:

- falende koker niet opgemerkt,
- beheer faalt,
- maatregelen niet mogelijk.

We kunnen nu reeds stellen dat de kans op de derde oorzaak klein zal zijn ten opzichte van de andere. Zoals ook in de foutenboom te zien is moeten er vier ongunstige gebeurtenissen tegelijkertijd optreden, voordat dit optreedt. De kans op 'maatregelen niet mogelijk' is het product van de vier deelkansen, en zal dus verwaarloosbaar zijn. We zullen deze dan ook niet nader beschouwen.

In de volgende paragrafen gaan we in op de optredenskans van de beide andere mogelijke oorzaken.

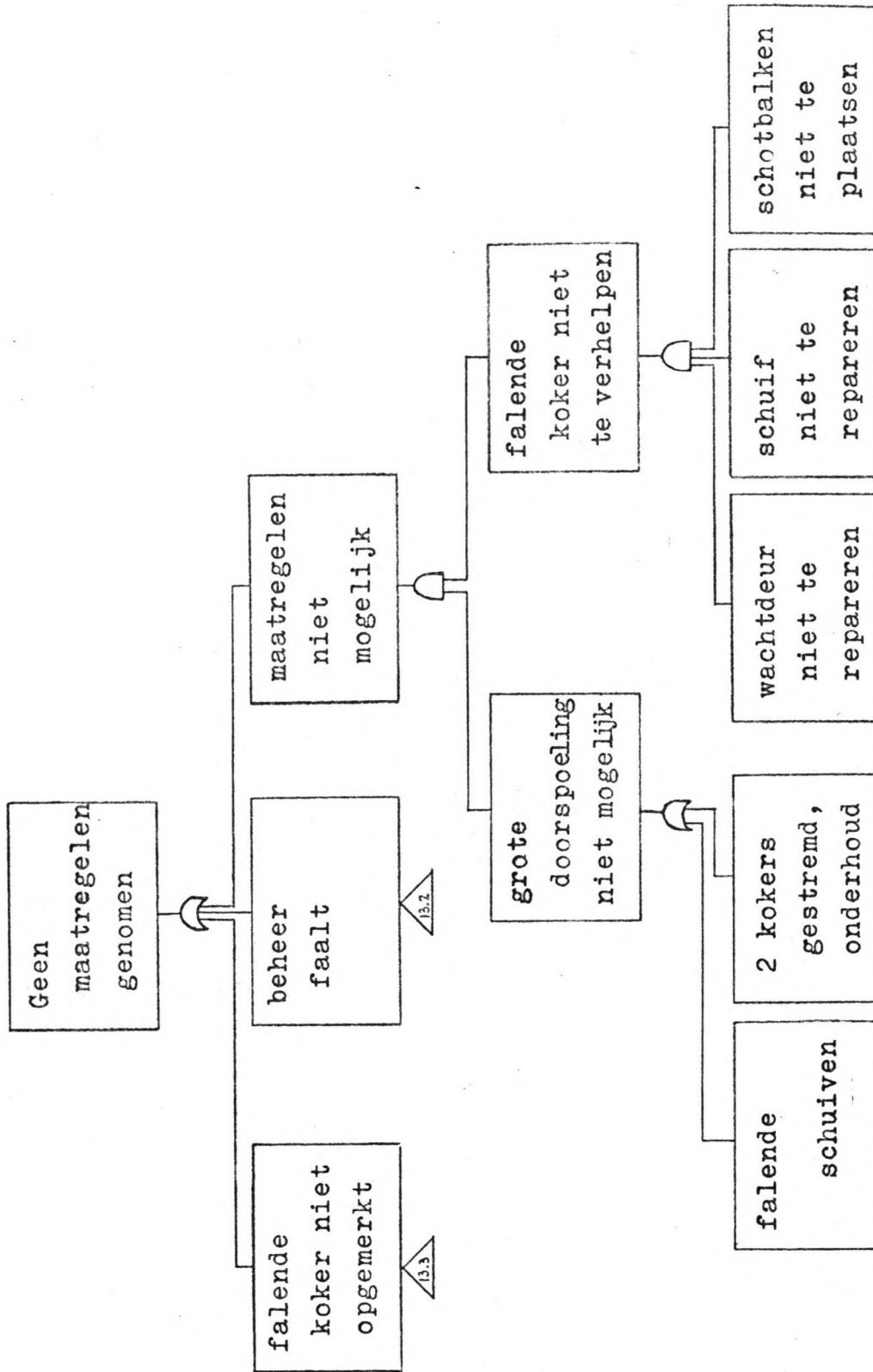


Fig. 13.1, Foutenboom voor het niet-nemen van maatregelen, nadat één koker heeft gefaald.

## 13.2 Beheer faalt

Wanneer er wel een signaal 'schuif niet gesloten' aankomt bij de sluiswachter van de Kreekraksluizen, kan er nog door verschillende oorzaken het niet-nemen van maatregelen optreden:

- sluiswachter faalt, geeft bericht niet door,
- telefoonverbinding faalt,
- monteur onbereikbaar,
- monteur strandt onderweg.

Voor het kwantificeren van de genoemde gebeurtenissen dienen we te bedenken dat het signaal direct bij de kentering van hoog- naar laagwater plaatsvindt, zodat er tot het volgend hoogwater ca. 12 uur de tijd is om te reageren. Dit heeft zeker een reducerende invloed op de kansen op de verschillende gebeurtenissen. We zullen nu de mogelijkheden kort behandelen en de optredenskans afschatten.

- Sluiswachter faalt, geeft bericht niet door. Wanneer er één koker heeft gefaald zal de sluiswachter zelf nauwelijks maatregelen kunnen nemen; hij dient een monteur te bellen. De kans dat hij dit vergeet kunnen we stellen op  $10^{-3}$  per keer (menselijke faalkans, KEMA). Echter, er is tijd om de fout te herstellen en de sluiswachter wordt om de 8 uur afgelost. Wel dienen we in gedachten te houden dat de eerste taak van de sluiswachter de Kreekraksluizen is en hij dus wat nonchalant kan zijn wat betreft de spuisluis. Op grond van deze overwegingen schatten we deze kans op  $10^{-5}$  per keer.
- Telefoonverbinding faalt. De PTT geeft hiervoor in de brochure van lit. 28 een kans van  $10^{-5}$ . Door de beschikbare tijdsduur en de mogelijkheid een andere monteur telefonisch te bereiken (die verbinding is mogelijk niet gestoord) kunnen we een wat kleinere kans hanteren:  $10^{-6}$  per keer.

- Monteur onbereikbaar. Er zijn 6 monteurs, gestationeerd in de buurt van de Schelde-Rijn verbinding. Ook buiten de normale werktijden heeft één van de monteurs dienst; hij dient dan dag en nacht bereikbaar te zijn en heeft daartoe ook de beschikking over een semafoon, zodat hij 'opgepiept' kan worden.

Verder kan de sluiswachter proberen een andere monteur te bereiken, wanneer de dienstdoende monteur niet bereikbaar is. Wanneer we verder nog de lange tijdsduur in gedachten houden, mogen we stellen dat deze kans verwaarloosbaar is.

- Monteur strandt onderweg. Oorzaken hiervan kunnen zijn: ziekte, ongeval, weersomstandigheden. In een groot deel van deze gevallen zal de monteur nog wel een bericht door kunnen geven van zijn verhindering.

Wanneer ziekte of ongeval zo ernstig is dat de monteur niet zélf een bericht door kan geven, zal allicht iemand anders de chef-onderhoud waarschuwen. Hij kan dan alsnog maatregelen nemen en een andere monteur sturen. Hiervoor is ruim de tijd.

We mogen stellen dat ook deze kans vaerwaarloosbaar is ten opzichte van het falen van de sluiswachter.

Met behulp van deze gegevens vinden we voor de kans op het falen van het beheer, bij het optreden van één open koker, een waarde van ca.  $10^{-5}$  per keer.

### 13.3 Falende koker niet opgemerkt

Wanneer de schuif niet zakt bij de kentering van het tij, dient er een signaal in het bedieningsgebouw van de Kreekraksluizen aan te komen. Omtrent het ontwerp van het faal-waarschuwingssysteem is nog weinig bekend, zodat het aangeven van een faalkans hiervoor moeilijk is. Het systeem zal bestaan uit elektronische componenten en actief moeten reageren op een falende schuif. Om toch een uitspraak te kunnen doen omtrent de kans op falen van dit systeem vergelijken we het met de volgende componenten en de bijbehorende faalkansen:  
 $P(\text{hydraulische pomp incl. motor faalt}) = 10^{-3}$  per vraag,  
 $P(\text{electrische schakelaar faalt}) = 10^{-4}$  per vraag.  
Voor het falen van het faal-waarschuwingssysteem houden we een kans aan van  $10^{-3}$  per vraag.

De falende koker kan ook niet worden opgemerkt door nalatigheid van de sluiswachter op de Kreekraksluizen. In de vorige paragraaf is hierover reeds iets gezegd. Daar ging het over het niet-doorgeven van de storing; de kans op het niet-opmerken zal wellicht iets groter zijn. Hierbij speelt voornamelijk het feit dat het letten op de werking van de spuisluis buiten de normale dagelijks werkzaamheden van de sluiswachter valt. Hij heeft met de spuisluis alleen iets te maken bij bijzondere omstandigheden. Wanneer er b.v. een half jaar of langer niets aan de hand is geweest met de spuisluis zal de sluiswachter niet erg attent meer zijn op eventuele storingsmeldingen. De tijdsduur en de wisseling van sluiswachter zijn aspecten die de kans op het niet-opmerken van het signaal verkleinen. We houden, arbitrair, een kans aan van  $10^{-4}$  per keer.

Voor de totale kans op het niet-opmerken van een falende koker hanteren we een waarde van  $10^{-3}$ /keer.

### 13.4 Kans op niet-nemen van maatregelen bij één falende koker

In onderstaande figuur is de kop van de eerder gegeven foutenboom nog eens weergegeven. We kunnen nu, met de waarden uit de vorige paragrafen, de boom kwantificeren.

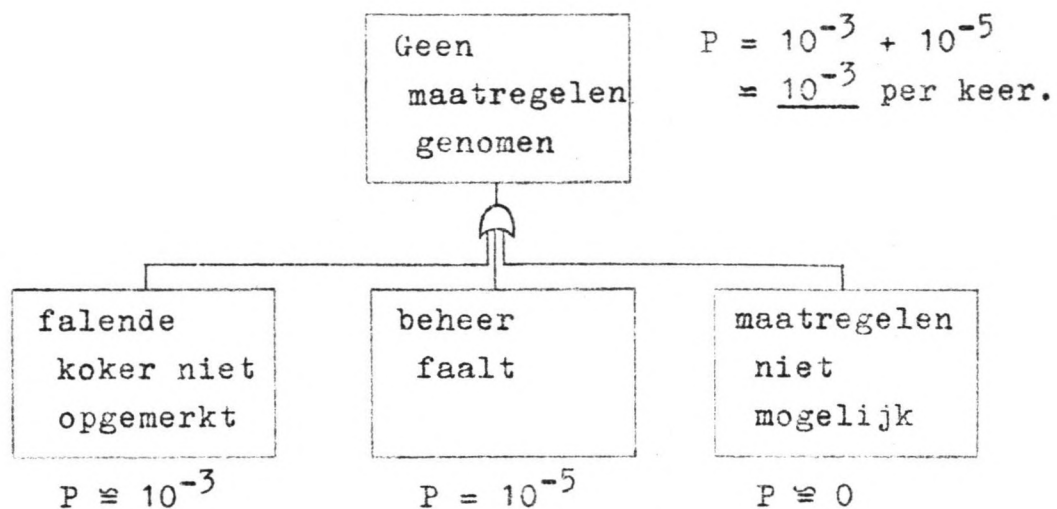


Fig. 13.2, Kop van de foutenboom voor het niet-nemen van maatregelen bij één falende koker, gekwantificeerd.

14      Debiet via de overgangsconstructie damlichaam -  
          spuisluisconstructie

14.1    Kwel in de normale situatie

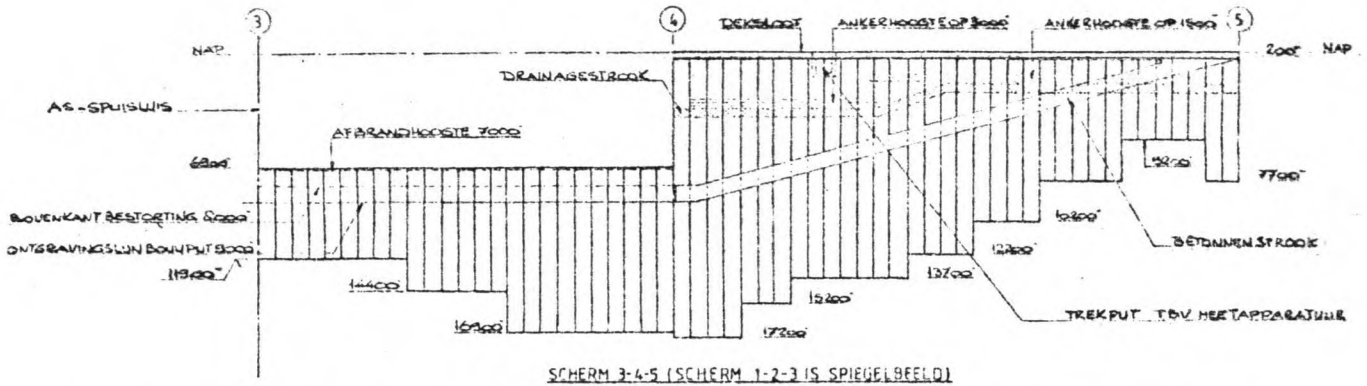
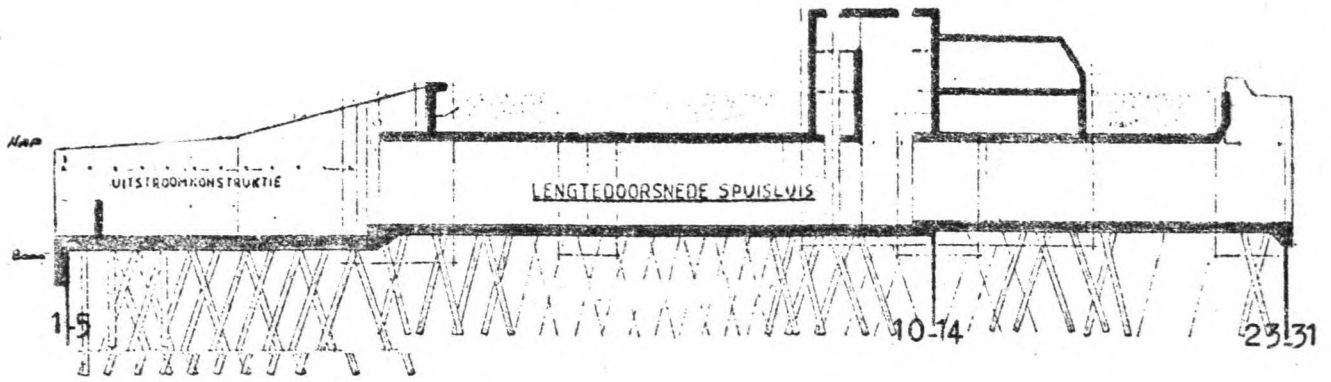
Kwel is de waterstroom onder en langs de spuisluisconstructie, als gevolg van het verschil in waterstand ter weerszijden van de spuisluis. Teneinde deze waterstroom te beperken zijn er, als extra weerstand en ter verlenging van de kwelweg, drie damwandschermen naast en onder de sluis aangebracht. De figuur op de volgende bladzijde illustreert dit.

We zullen ons in deze paragraaf beperken tot het geval dat de damwandschermen intact zijn en er geen verkorte kwelweg optreedt door lekkages in de betonconstructie, de voegen e.d. Deze aspecten komen in de volgende paragrafen aan de orde.

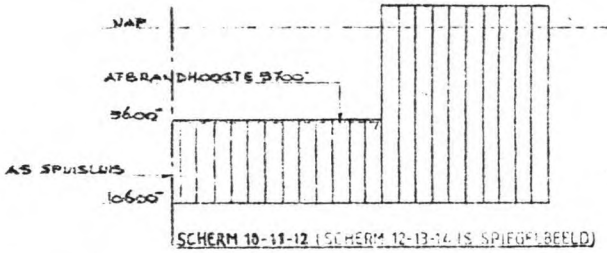
De damwandschermen zijn door Rijkswaterstaat gedimensioneerd op een ontwerpwaterstand van 6,4 m. + NAP op de Westerschelde en een Zoommeerpeil van NAP. Bij de berekening is verder uitgegaan van een stationaire toestand van de grondwaterstroming. We zullen zien dat deze benadering verschillende veiligheden in zich bergt.

In de eerste plaats is er op de Westerschelde een getijbeweging, met een periode van ca. 12 uur. Het hoogwater duurt dus slechts 6 uur, hetgeen veel te kort is om invloed te kunnen hebben op de -zeer traag reagerende- grondwaterstroming. Dit betekent dat de ontwerpwaterstand voor de grondwaterstroming pas optreedt wanneer het gemiddelde peil op de Westerschelde gelijk is aan 6,4 m.<sup>†</sup>, gedurende langere tijd.

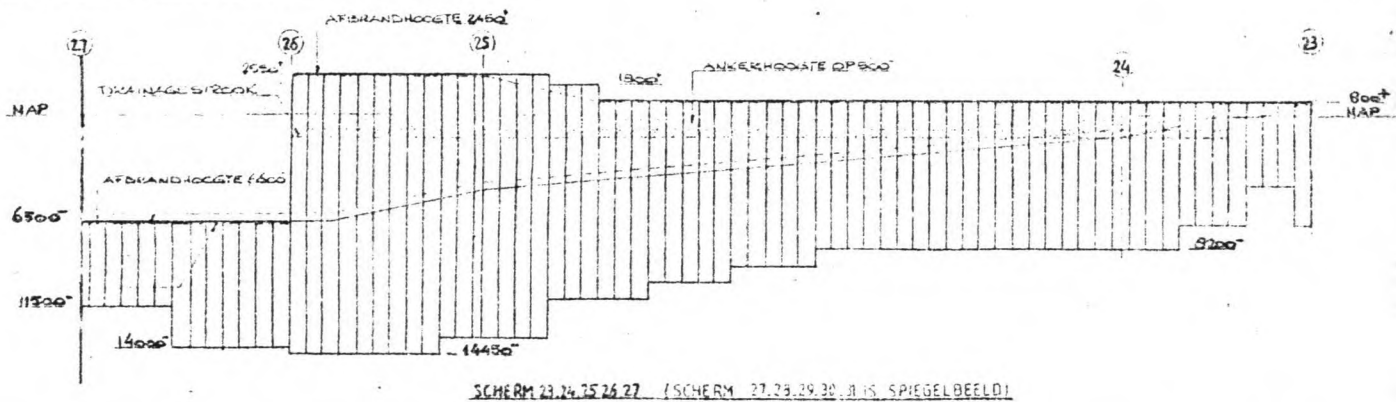
Om te bepalen hoe groot de overschrijdingsfrequentie van de ontwerpwaterstand is, bedenken we dat de hoogwaterstand op de Westerschelde opgebouwd is uit een astronomisch deel, en een deel veroorzaakt door windinvloeden op de Noordzee en de Westerschelde.



PROFIEL	BZ 12		BZ 26		BZ 17		BZ 12				
AANTAL DOUBB. PLANKEN	3	6	10	4	3	7	4	4	5	8	2
LENGTE PLANKEN	3000	7500	10000	17000	19000	15000	12000	10000	7500	3000	7500



PROFIEL	BZ 12	
AANTAL DOUBB. PLANKEN	25/2	10
LENGTE PLANKEN	3000	12000



PROFIEL	BZ 12		BZ 26		BZ 17		BZ 12			BZ 17		BZ 12			
AANTAL DOUBB. PLANKEN	11/2	3	3	3	4	3	3	3	3	3	17	3	4	3	1
LENGTE PLANKEN	5000	7500	17000	6000	15000	13000	12000	11000	10000	3000	3000	2000	7500	3000	7500

Fig. 14.1, Damwandschermen ter beperking van achter- en onderloopsheid.



Een hoge gemiddelde waterstand zal optreden tijdens een stormperiode met wind uit de richting west tot noord. De duur van de hoge waterstand zal nagenoeg gelijk zijn aan de duur van de stormperiode; dit kan variëren van minder dan 1 tot ca. 8 dagen. De korter-durende stormen zullen dus nog nauwelijks invloed hebben op de grondwaterstroming; we zitten aan de veilige kant met de volgende redenering.

Het gemiddeld getij op de Westerschelde heeft een amplitude van 2,30 m. Wanneer er een gemiddelde waterstand optreedt van 6,4 m.<sup>+</sup>, zal de hoogte van het hoogwater (6,4 + 2,3 =) 8,7 m.<sup>+</sup> bedragen. Uit de door Rijkswaterstaat geconstrueerde hoogwater-overschrijdings-frequentielijn, weergegeven op bijlage 23, kunnen we afleiden dat de overschrijdingskans van deze waterstand ca.  $2 \cdot 10^{-7}$  bedraagt.

Buiten deze veiligheid van de ontwerpwaterstand zijn er ook bij het ontwerp zélf nog veiligheden ingebouwd. Zo is de formule van Lane toegepast met een ongunstige aanname voor de doorlatendheid van de grond. Verder wees een door het Laboratorium voor Grondmechanica uitgevoerde berekening uit dat volstaan zou kunnen worden met damwanden van ca. 2 m. lengte.

Tenslotte wordt, hoogstwaarschijnlijk, minstens één scherm 5 m. dieper doorgezet dan aangegeven op figuur 14.1, zoals aangegeven in figuur 14.2.

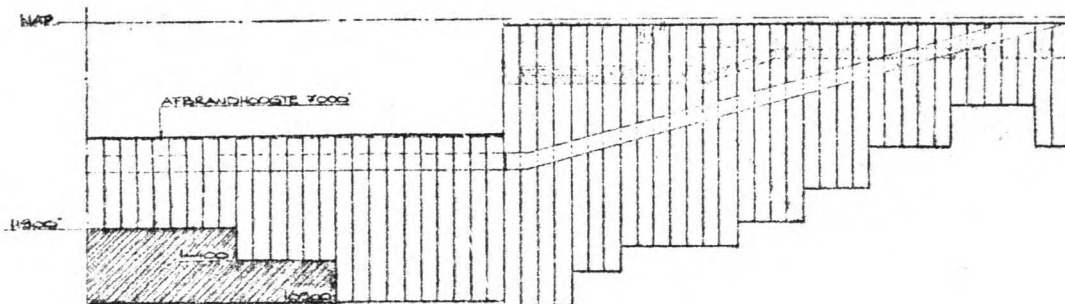


Fig. 14.2, Damwandscherm extra diep doorgezet.

Deze aanpassing houdt in dat met een kleine hoeveelheid extra damwandscherm, de veiligheid tegen het optreden van onder- en achterloopsheid verder wordt opgevoerd.

Ter bepaling van de kans op het optreden van de ongewenste topgebeurtenis ten gevolge van kwel, dienen we nog te bedenken dat bij het door Rijkswaterstaat aangehouden ontwerppeil (gemiddelde waterstand 6,4 m.<sup>+</sup>NAP.) volgens de berekeningen nog een aanvaardbare grondwaterstroming optreedt. Voor het optreden van de ongewenste topgebeurtenis is binnendringing van een grote hoeveelheid (ca.  $4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ ) zout water nodig.

Gezien de voorgaande overwegingen en de 'ontwerpkans' van  $2 \cdot 10^{-7}$ , mogen we concluderen dat de kans op de ongewenste topgebeurtenis, ten gevolge van kwel, bijzonder klein is. Bij kwantificeren denken we aan een kans kleiner dan  $10^{-12}$  per jaar (arbitrair).

## 14.2 Kwel bij opgetreden lekkages

### 14.2.1 Verkorte kwelwegen

Een verkorte kwelweg treedt op door lekkage in het waterkeringssysteem, bestaande uit de betonconstructie en de damwandschermen. De volgende figuur geeft een beeld van de eventueel optredende lekkages en de invloed daarvan op de (grond)waterstroom.

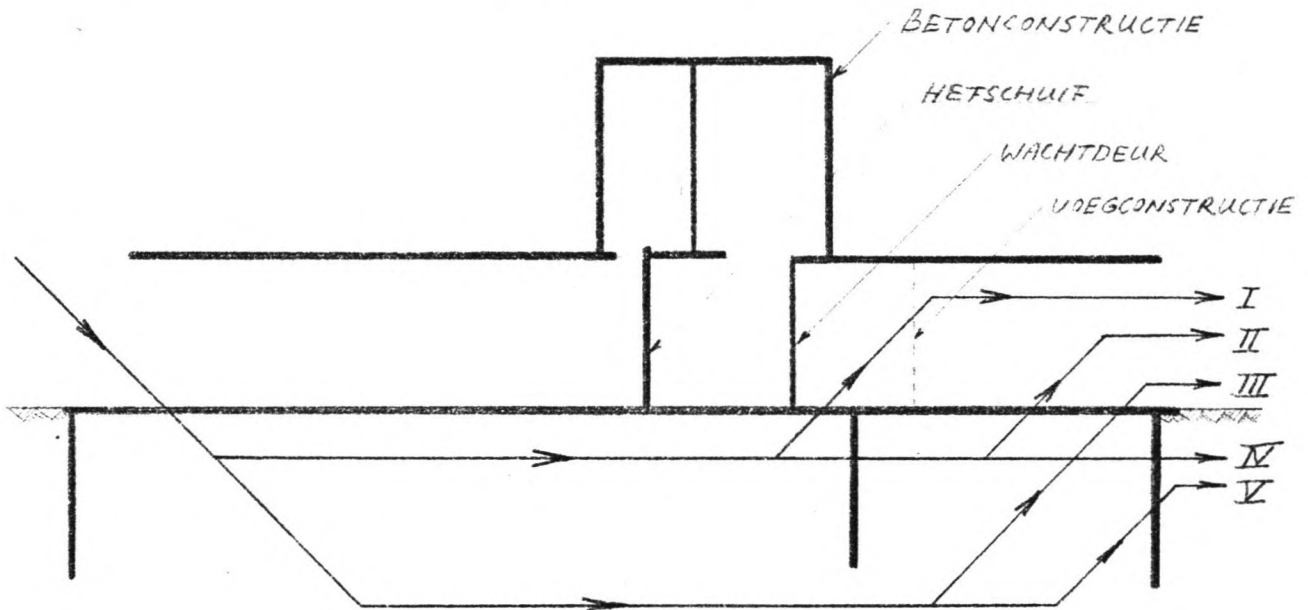


Fig. 14.3, Schematisatie van de verkorte kwelwegen, bij lekkage door de betonconstructie en/of de damwandschermen.

We behandelen de verschillende mogelijkheden:

- Kwelweg I treedt op bij een lek in de betonconstructie achter de deur en voor het tweede kwelscherm.
- Kwelweg II treedt op bij een lek in het tweede damwandscherm en in de betonconstructie tussen het tweede en derde damwandscherm.
- Kwelweg III treedt op bij een lek in de betonconstructie tussen scherm 2 en 3.
- Kwelweg IV treedt op bij lekken in scherm 2 en 3.
- Kwelweg V treedt op bij een lek in één van de damwandschermen.

#### 14.2.2 Lek in de beton- of voegconstructie

Een lek in de betonconstructie zou op kunnen treden door grindnesten in de beton, krimpscheuren of bezwijken van de constructie onder invloed van belastingen.

De eventueel optredende grindnesten zullen bij het ontkisten en de inspectie van de beton ontdekt worden. Bovendien moet er al zeer onzorgvuldig gestort en verdicht zijn, wil er een doorgaand grindnest optreden. Na ontdekking van het grindnest kan er alsnog geïnjecteerd worden, zodat de kans op lekkage door deze oorzaak verwaarloosbaar klein is.

Krimpscheuren in de beton zullen ook nog tijdens de bouwfase optreden en dus tijdig ontdekt en gerepareerd kunnen worden. Bovendien zijn de afmetingen van de vloer en de wanden van de spuisluisconstructie niet dermate groot dat dit veel aanleiding geeft tot het ontstaan van krimpscheuren. Geconstateerde scheuren kunnen worden gedicht door middel van injectie; ook voor dit verschijnsel vinden we dus een kleine kans van optreden

Scheuren in de betonconstructie, veroorzaakt doordat de sterkte overschreden wordt door de belasting, komen bij een betonconstructie, ontworpen volgens de huidige voorschriften, voor met een kans van ca.  $10^{-8}$  per jaar (zie o.a. lit. 26). We dienen hierbij nog te bedenken dat de scheuren die ontstaan door een buigend moment geen doórgaande scheuren zijn; de drukzone blijft gesloten. De door dwarskracht veroorzaakte scheuren kunnen wel doorgaand zijn, alhoewel ook hier vaak een moment in de betondoorsnede aanwezig zal zijn, waardoor de scheur dichtgedrukt kan worden. Concluderend kunnen we stellen dat de kans op een lek in de betonconstructie kleiner is dan  $10^{-8}$  per jaar.

De spuisluis is opgebouwd uit 5 moten, met elkaar verbonden door middel van voegconstructies. Ook hierdoor kan een lekkage ontstaan.

Een detail van de toegepaste voegconstructie, waarbij gebruik wordt gemaakt van een metaal/rubber profiel, is geschetst in onderstaande figuur.

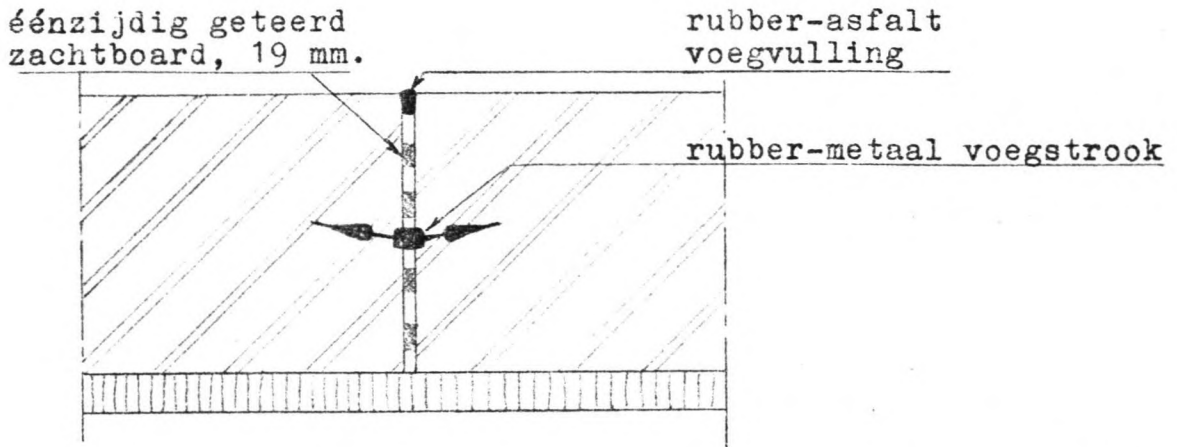


Fig. 14.4, Detail van de voegconstructie tussen de moten.

In het deel van de constructie dat de hoofd-waterkering verzorgt komt één voegconstructie voor. In de publicatie omtrent de faalkans van de tunnel onder de Noord (lit. 26) wordt voor de kans op lekkage door een voeg vermeld dat deze zeker niet groter zal zijn dan de kans op het bezwijken van de betonconstructie ( $10^{-8}$ ). Aangezien de bij de spuisluis toegepaste voegconstructie afwijkt van de constructie, zoals die bij de Noord-tunnel beschouwd is -daar was er de mogelijkheid van injectie van de voeg-, zal de kans in ons geval iets groter zijn. We hanteren dezelfde kans als geldt voor het bezwijken van de betonconstructie:  $P(\text{lekkage door voegconstructie}) = 10^{-8}/\text{jaar}$ .

### 14.2.3 Lek in damwandschermen of in de aansluiting damwand- - scherm - betonconstructie

In een damwandscherm kunnen lekkages optreden door:

- lekken in de sloten tussen de afzonderlijke planken,
- uit het slot lopen van damwandplanken bij het inbrengen.

De toegepaste damwand is van het type Belval, BZ 12. Het lekken van de sloten tussen de planken wordt tegengegaan door het aanbrengen van een bitumen-vulling in het slot, voor het inheien. Deze vulling zorgt voor een goede afdichting tussen de planken.

Wat betreft het uit het slot lopen van planken tijdens het inheien zijn gegevens verzameld door de zogenaamde damwandcommissie. In het door deze commissie gepubliceerde rapport (lit. 29) wordt het uit het slot lopen van een plank gerelateerd aan de grondslag, de inheidiepte, het weerstandsmoment van het gebruikte profiel en het plankgewicht. Voor de damwandschermen van de spuisluis gelden de volgende waarden:

inheidiepte  $L_i = 9 \text{ m}$ ,  
weerstandsmoment  $W = 1200 \text{ cm}^3/\text{m}^1$ ,  
conusweerstand: steeds  $< 20 \text{ N/mm}^2$ ,  
overwegend  $< 10 \text{ N/mm}^2$ .

Wanneer we deze waarden vergelijken met de verschillende voorstellen voor een veilige waarde van de  $L_i$ - $W$  combinatie, zoals die uit het damwandrapport zijn overgenomen op bijlage 24, zien we dat deze damwand ook aan de strengste eis voldoet. Ook als we de toe te passen damwand vergelijken met andere werken, zoals weergegeven op bijlage 25, zien we dat de gehanteerde waarden veilig zijn.

Verder kunnen we nog opmerken dat er eventueel controle op damwandlekkages mogelijk is. Aangezien ter plaatse zandgrond aanwezig is, kunnen de damwandplanken ingetrild worden. Het is dan mogelijk de planken na het

intrillen omhoog te trekken en het slot van de plank te controleren. Wanneer het slot niet beschadigd is kan de plank opnieuw worden ingetrild. De kans dat de plank dan alsnog uit het slot loopt is klein.

Op grond van de voorgaande overwegingen en ervan uitgaande dat de uitvoering zorgvuldig geschiedt, kunnen we de kans op het optreden van damwandlekkages als klein aanmerken. Een getalwaarde is hiervoor zeer moeilijk te geven en zal met name zeer veel afhangen van de controle bij het inbrengen van de planken.

Wat betreft de aansluiting van de damwandschermen aan de betonconstructie is extra aandacht bij het ontwerp en de uitvoering vereist. Doordat de constructie op palen gefundeerd wordt en dus nauwelijks zal zakken, en het damwandscherm door negatieve kleef wél wil zakken, moeten er maatregelen getroffen worden tegen het ontstaan van een spleet tussen scherm en damwand.

Bij het ontwerp van de spuisluis is dit gevaar onderkend en zijn er adequate maatregelen getroffen; er worden platte stalen ankers aan de damwand gelast, met een onderlinge afstand van 50 cm, en ingestort in de beton. Ook wordt de damwand zelf over een afstand van 10 cm. ingestort in de betonconstructie.

De kans op lekkages door het falen van deze aansluiting zal dus klein zijn; van dezelfde orde van grootte als het bezwijken van de betonconstructie.

#### 14.2.4 Debiet bij kwel door een lek

Zoals in de voorgaande paragrafen beschreven, zijn de kansen op het optreden van lekkages over het algemeen klein. Bovendien is het zo dat een eventueel optredend lek slechts een zeer lokale omstandigheid zal zijn.

Zo betekent het uit het slot lopen van een damwandplank wellicht een gat van ca. 5 m. lengte en een breedte variërend van 0 tot enkele tientallen centimeters; een oppervlakte van ca.  $1 \text{ m}^2$ . Een scheur in de betonconstructie zal weliswaar een grotere lengte kunnen hebben, maar de breedte zal beperkt blijven tot enkele millimeters. Voor het oppervlak zou dit betekenen:  $(25 \text{ m.} \times 0,01 \text{ m.}) = \text{ca. } 0,25 \text{ m}^2$ . Hetzelfde geldt voor een lek in de voegconstructie en voor de aansluiting van de damwand aan de betonconstructie.

Wanneer we de oppervlakte van een onverhoopt optredend lek vergelijken met het stroomprofiel van een open koker,  $(3,45 \times 5,5 =) 19 \text{ m}^2$ , zien we dat dit oppervlak klein is.

Bovendien zal er door een eventueel optredend lek een grotere grondwaterstroming optreden; ondanks de opgetreden lekkage zal de snelheid -en het debiet- van de stroming sterk beperkt worden door het korrelmedium. Hiervoor gelden alle overwegingen die genoemd zijn in paragraaf 14.1.

Wanneer we ook in de beschouwing betrekken dat de kans op het optreden van een lekkage van enige omvang klein is, kunnen we stellen dat voor het optreden van de ongewenste topgebeurtenis als gevolg hiervan een kans  $10^{-10}$  per jaar aangehouden kan worden (arbitrair).



15 Kans op de ongewenste topgebeurtenis, door  
binnendringend Westerscheldewater

15.1 Algemeen

In hoofdstuk 8 is de foutenboom voor het optreden van de ongewenste topgebeurtenis opgesteld. De boom was te splitsen in twee delen, waarvan we in de eerste plaats het optreden van de ongewenste topgebeurtenis als gevolg van binnendringend Westerscheldewater beschouwd.

In de hoofdstukken 9 t/m 14 zijn de kansen van optreden van de begingebourtenissen, welke kunnen leiden tot de topgebeurtenis, bepaald.

Met deze informatie kunnen we nu de foutenboom voor binnendringend Westerscheldewater kwantificeren. Dit doen we door de gevonden kansen in te vullen in de foutenboom en met behulp daarvan de kans op samengestelde gebeurtenissen te bepalen.

Hierbij worden de kansen van gebeurtenissen onder een 'en'-poort vermenigvuldigd, om de kans op de samengestelde gebeurtenis te bepalen. Als gebeurtenis (1.2) optreedt wanneer gebeurtenis (1) én gebeurtenis (2) optreedt, is de kans op gebeurtenis (1.2) gelijk aan kans (1) máál kans (2).

De kansen op gebeurtenissen onder een 'of'-poort dienen gesommeerd te worden teneinde de kans op de samengestelde gebeurtenis te bepalen. Als gebeurtenis (1.2) optreedt wanneer gebeurtenis (1) óf gebeurtenis (2) optreedt is de kans op (1.2) gelijk aan kans (1) plús kans (2).

Op deze wijze is de foutenboom van onder naar boven 'op te rollen'. Als laatste stap volgt dan de kans op het optreden van de ongewenste topgebeurtenis. In de volgende paragraaf wordt de gekwantificeerde foutenboom voor binnendringend Westerscheldewater gepre- teerd.

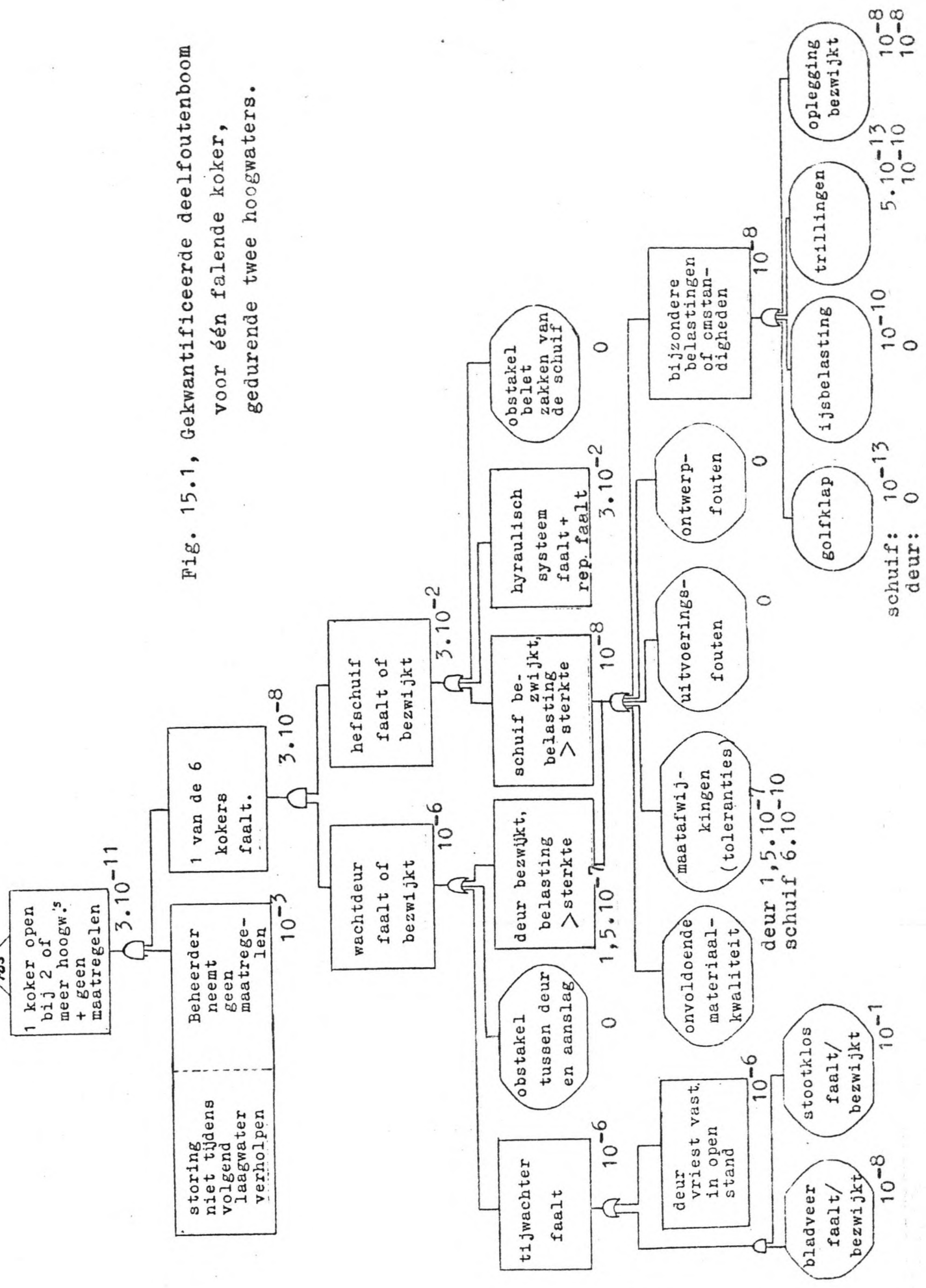
## 15.2 De gekwantificeerde foutenboom

In de figuren op de volgende bladzijden zijn de gekwantificeerde deelfoutenbomen en -hoofd foutenboom gepresenteerd. Aangezien we de foutenboom van onder naar boven kwantificeren, beginnen we met de deelfoutenbomen. In figuur 15.1 is de deelfoutenboom gegeven voor de situatie dat één koker gedurende meerdere hoogwaters open staat, in figuur 15.2 de deelfoutenboom voor een falende besturing van de schuiven.

In de figuren is onder de gebeurtenis aangegeven hoe groot de optredenskans is. Deze kansen zijn 'per jaar' of, in het geval van een falende reactie, 'per keer' gegeven. Wanneer in de figuur een kans '0' aangegeven is, betekent dit dat de optredenskans van de gebeurtenis verwaarloosbaar is ten opzichte van de andere gebeurtenis(sen) die hetzelfde gevolg hebben.

Bij de foutenboom van figuur 15.3 dient nog het volgende opgemerkt te worden. De kans dat twee wachtdeuren gelijktijdig falen is onderling afhankelijk. Bij de bepaling van de faalkans van een wachtdeur hebben we gezien dat het vastvriezen van een deur met een relatief grote kans optreedt. Wanneer nu één deur faalt door vastvriezen is het waarschijnlijk dat ook de tweede deur zal falen. In de foutenboom hebben we om deze reden voor het falen van twee deuren een kans van  $10^{-6}$  per jaar aangehouden. Dit is de kans op dusdanige omstandigheden dat de deuren vastvriezen (watertemperatuur lager dan  $-6^{\circ}\text{C}$ ).

Fig. 15.1, Gekwantificeerde deelfoutenboom voor één falende koker, gedurende twee hoogwaters.



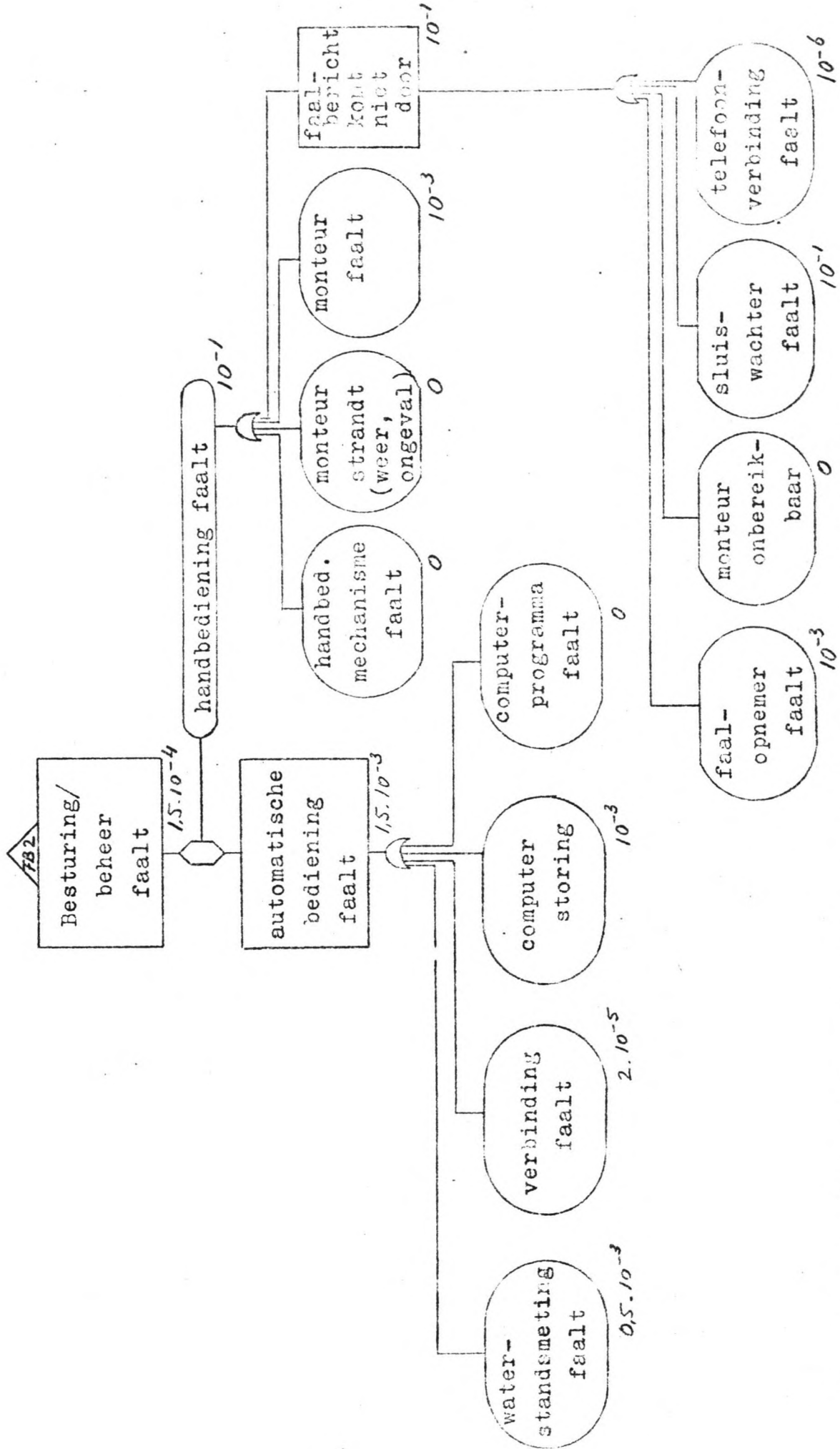


Fig. 15.2, Deelfoutenboom voor falen van de besturing van de schuiven; gekwantificeerd,



## 16 Gestremde spuisluis

### 16.1 Algemeen

Zoals in hoofdstuk 8 reeds opgemerkt, levert het opstellen van de foutenboom voor het optreden van de ongewenste topgebeurtenis door een gestremde spuisluis problemen op. Dit wordt veroorzaakt doordat de omvang (het aantal kokers) en de duur van de stremming hierbij een rol spelen. Bij het opstellen van de foutenboom, zoals die in paragraaf 8.3 gepresenteerd is, zijn deze problemen omzeild door omvang en duur buiten beschouwing te laten en alleen 'een stremming' als ongewenste gebeurtenis te hanteren.

Bij het kwantificeren van de foutenboom zou het beschouwen van duur en omvang van de stremming nog grotere problemen met zich brengen. In dat geval kunnen de gebeurtenissen die de topgebeurtenis kunnen veroorzaken niet discreet beschouwd worden. Gevallen als 'schades met een bepaalde reparatietijd' en 'falen van een deel van de fundering waardoor een bepaald aantal kokers gestremd is' zouden stochastisch beschreven dienen te worden. De kans op een dergelijke gebeurtenis zou dan ook gerelateerd moeten worden aan de duur en omvang. Het zal duidelijk zijn dat dit praktisch onuitvoerbaar is.

Wanneer we de resultaten van hoofdstuk 7 nog eens bekijken, zien we dat bij een stremming van een bepaald aantal kokers gedurende een bepaalde tijd de ongewenste topgebeurtenis met een bepaalde kans optreedt, afhankelijk van de hydrologische omstandigheden. Wanneer een klein aantal kokers gestremd is, treedt de topgebeurtenis met een kleine kans op, maar in enkele dagen. We kunnen echter opmerken dat de hydrologische omstandigheden in dat geval zo ongunstig zijn, dat ook zonder stremming van de spuisluis een hoog chloridegehalte op het Zoommeer optreedt. Figuur 16.1 illustreert dit.

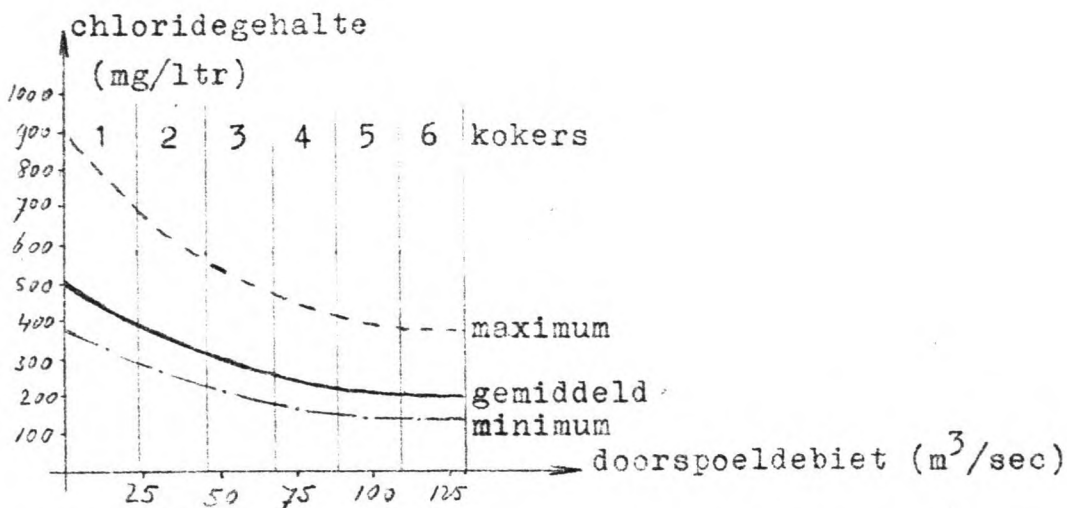


Fig. 16.1, Relatie tussen doorspoeldebiet door de spuisluis en het chloridegehalte van vak III van het Zoommeer.

Uit de figuur kunnen we opmaken dat het chloridegehalte nauwelijks gereduceerd wordt wanneer er in plaats van door 4 of 5 kokers door 3 of 4 kokers geloosd kan worden. Dit houdt in dat een stremming van 3 kokers of minder wel de ongewenste topgebeurtenis kan veroorzaken, maar de omstandigheden zijn in dat geval zo ongunstig dat ook zonder de stremming een ongewenste toestand (zij het niet de waarde van  $600 \text{ mgCl}^-/\text{ltr}$ ) zou optreden.

Wanneer een groter aantal kokers gestremd is zal het langer duren voordat de ongewenste gebeurtenis optreedt: bij 6 gestremde kokers. 25 dagen,

bij 5 gestremde kokers. 11 dagen,

bij 4 gestremde kokers. 7 dagen.

Deze tijdsperiode geeft de beheerder de gelegenheid maatregelen te nemen; De opgetreden stremming dient in oogen-schouw genomen te worden en de mogelijkheden tot ophef-fing ervan nagegaan. Het is zeer goed mogelijk dat de lozing door één of twee kokers snel hersteld kan worden -eventueel met extra (ook financiële) inspanning- om zo het oplopen van het chloridegehalte te voorkomen. Ook kan er gedacht worden aan het installeren van pompen, om om het meer nog enigszins door te kunnen spoelen.

De beslissing omtrent deze maatregelen zal voornamelijk een politieke zijn; het is het afwegen van de benodigde financiën tegen de ongunstige effecten van het optreden van een te hoog chloridegehalte op het Zoommeer.

Teneinde de kans af te schatten op het optreden van de situatie waarin deze overwegingen een rol gaan spelen, kwantificeren we de foutenboom voor het optreden van een gestremde spuisluis. We gaan hierbij uit van de foutenboom voor 'gestremde lozing' -zonder duur en omvang te beschouwen- zoals die gepresenteerd is in paragraaf 8.3. In de volgende paragrafen worden de optredensansen van de deelgebeurtenissen globaal bepaald, waarna in paragraaf 16.6 de gekwantificeerde foutenboom wordt gepresenteerd.



## 16.2 Schade aan damwandschermen

De grootste bedreigingen voor de damwandschermen zijn het optreden van een zodanige grondwaterstroming dat instabiliteit ontstaat en het optreden van diepe ontgrondingskuilen vóór de damwand. Verder kan er ook schade aan de damwanden optreden door ontwerp- of uitvoeringsfouten.

De kans op dusdanige fouten in het ontwerp of de uitvoering van de damwand dat deze schade zou oplopen is klein te veronderstellen. Ten dele is dit reeds behandeld in hoofdstuk 14; er is grote zorg besteed aan het ontwerp, zowel door Rijkswaterstaat als het LGM, en de uitvoering is controleerbaar. Bovendien zullen 'blunders' snel na ingebruikname van de spuisluis aan het licht komen. Het Zoommeer is dan nog gevuld met zout water, en de eventuele stremming zal dus nog geen ongewenste topgebeurtenis tot gevolg hebben.

Voor wat betreft de instabiliteit van de damwandschermen, veroorzaakt door grondwaterstroming, is in hoofdstuk 14 reeds betoogd dat een grondwaterstroming van enige betekenis slechts met een zeer kleine kans optreedt (orde  $10^{-10}$ ). Het is moeilijk te zeggen wanneer de grondwaterstroming de stabiliteit van de damwanden aan zal tasten; We houden hiervoor, arbitrair, ook de waarde van  $10^{-10}$  per jaar aan. Het zal blijken dat deze waarde nauwelijks invloed heeft op de totale kans op een stremming van de sluis.

Ontgrondingskuilen kunnen optreden wanneer de aanval op de bodembeschermingen te groot is, of wanneer de bodembescherming te kort is, zodat terugschrijdende erosie kan optreden. Aan de stromings-aanval op de bodembeschermingen, bij normaal functioneren van de spuisluis, is bij het ontwerp veel aandacht besteed. Er is een modelonderzoek gedaan door het Waterloopkundig Laboratorium, waarin ook de bodemverdedigingen zijn betrokken.

In het TNO-rapport "Faalkans-analyse van de Oosterschelde Stormvloedkering" (lit. 31) wordt, na het opstellen en kwantificeren van de op bijlage 26 weergegeven foutenboom, voor de daar toegepaste bodemverdediging een faalkans van  $10^{-7}$  à  $10^{-9}$  genoemd. Weliswaar zal aan de daar toegepaste bodembescherming meer aandacht besteed worden -zowel bij ontwerp als bij uitvoering- maar in het geval van de spuisluis is de aanval op de beschermingen beter gedefiniëerd (de spui-stroming) en dus beter in te schatten. Deze overwegingen doen ons besluiten een faalkans van  $10^{-8}$  per jaar te hanteren voor de bodembeschermingen, onder normale omstandigheden.

De kans op schade aan de damwanden ten gevolge hiervan zal nog een factor kleiner zijn. Buiten het falen van de bodembescherming is deze afhankelijk van o.a. plaats van de ontgrondingskuil, diepte en aanzethelling van de kuil en belastingtoestand van de damwand. Omdat de kuil niet opgemerkt zal worden en bij elke sluisgang dieper wordt, hanteren we voor de faalkans van de damwanden toch dezelfde waarde:

$$P(\text{damwandschade door ontgrondingen}) \approx 10^{-8} \text{ per jaar.}$$

Tenslotte dienen we voor de faalkans van de damwanden de situatie te beschouwen dat er een debiet vanaf de Westerschelde op het spuikanaal komt, door het falen van één of meer kokers van de spuisluis. Het Westerschelde-water stroomt dan met een snelheid van meer dan 4 m/sec uit de koker, op het ontvangbed aan de Zoommeerzijde van de sluis. Het ontvangbed is hierop niet gedimensioneerd en zal dan ook onmiddellijk falen. De kans dat dit gebeurt is af te leiden uit de in hoofdstuk 15 gekwantificeerde foutenboom:

$$P(\text{één koker open}) \approx 3 \cdot 10^{-8} \text{ per jaar.}$$

In dit geval is het echter direct bekend dat er een ontgroning heeft plaatsgevonden, zodat maatregelen genomen kunnen worden voordat de damwand bezwijkt.

Wanneer we veronderstellen dat de beheerder gemiddeld 2 van de 3 keer de ontgronding tijdig opmerkt en hersteld, verkrijgen we voor de faalkans van de damwand tengevolge van een falende koker:

$$P(\text{damwandschade door falende koker}) = 10^{-8} \text{ per jaar.}$$

Voor de totale kans op schade aan de damwand hanteren we op grond van deze beschouwingen:

$$P(\text{damwandschade}) = \underline{10^{-8}} \text{ per jaar.}$$

### 16.3 Fundering faalt

De fundering van de spuisluis bestaat uit betonnen heipalen, die reiken tot in de draagkrachtige laag op een diepte van 13 à 14 m.-NAP. De sluisconstructie is opgedeeld in vijf moten, die alle volledig onafhankelijk van elkaar hun belasting afdragen.

Falen van de fundering kan optreden wanneer de draagkracht wordt aangetast door erosie van de grond of doordat een extreme situatie optreedt, waarbij de belasting op de fundering groter is dan de sterkte. Ook kunnen er fouten zijn gemaakt bij ontwerp of uitvoering; hiervoor gelden grotendeels de opmerkingen die hieromtrent gemaakt zijn in de voorgaande paragraaf.

Erosie van de grond onder de sluis, waardoor het horizontale evenwicht in gevaar komt, zal optreden wanneer de damwanden falen. De kans hierop is in de vorige paragraaf behandeld en komt ook als zodanig in de foutenboom. We zullen hier niet verder op ingaan.

De situatie dat de draagkracht van de fundering overschreden wordt door de belasting beschouwen we met behulp van een beknopte probabilistische berekening. We doen dit voor de middelste moot van de spuisluis en gaan ervan uit dat voor de andere moten een overeenkomstig resultaat geldt. We presenteren nu eerst enkele gegevens, zoals die door Rijkswaterstaat zijn gehanteerd of blijken uit het ontwerp voor de constructie:

gemiddeld hoogwater: 2,59 m.+NAP,  
ontwerppeil: 6,40 m.+NAP,  
aantal palen moot 3: ca. 130,  
veiligheidscoëfficiënt: 2, t.o.v. gemiddelde sterkte,

Voor de belasting en sterkte van een gemiddelde paal kunnen we nu de figuur schetsen, zoals op de volgende bladzijde gepresenteerd. Hierbij is gebruik gemaakt van de informatie van het LGM, dat de standaard afwijking van de sterkte van één paal ca. 25 % zal bedragen.

Dit wordt ondersteund door een proef in redelijk homogene grond waarbij de verschillende sondeerwaarden ca. 20 % afweken (zie lit. 32).

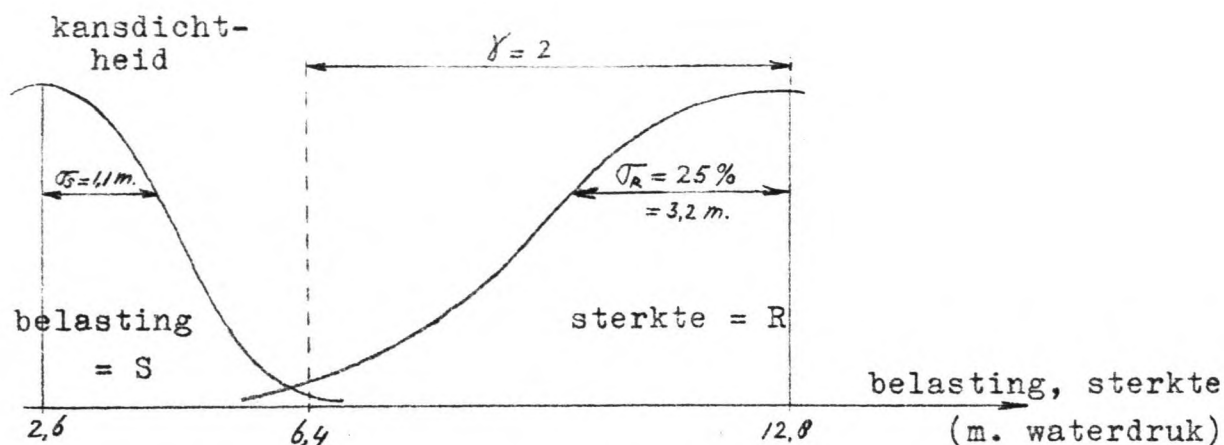


Fig. 16.2, Belasting- en sterktesituatie voor een gemiddelde paal van de spuisluisconstructie.

In de figuur is verder gebruik gemaakt van de in hoofdstuk 9 afgeleide standaard-afwijking voor de hoogwaterstand op de Westerschelde:  $\sigma_S = 1,1$  m.

De fundering onder de spuisluisconstructie bestaat echter uit ca. 130 palen, die een parallelsysteem vormen; wanneer één paal faalt kunnen zijn, wellicht sterkere, burens een deel van de belasting overnemen. Hiermee treedt echter het volgende probleem op. De draagkracht van een paal zal gecorreleerd zijn aan die van z'n buurman; wanneer een paal in slappe grondslag staat is het waarschijnlijk dat ook de paalernaast in slappe grondslag staat. Een paal die wat verder weg staat kan wél sterker zijn en eventueel een deel van de belasting overnemen. Dit is een geval van afnemende correlatie van de sterkte van de elementen van het systeem, zoals ook behandeld in hoofdstuk 4 van het b3-dictaat (lit. 1).

Om de standaard-afwijking van de sterkte van de totale fundering te bepalen, denken we de 130 palen vervangen door een aantal ongecorreleerde palen.

Hiertoe beschouwen we de onderstaande figuur, overgenomen uit lit. 32.

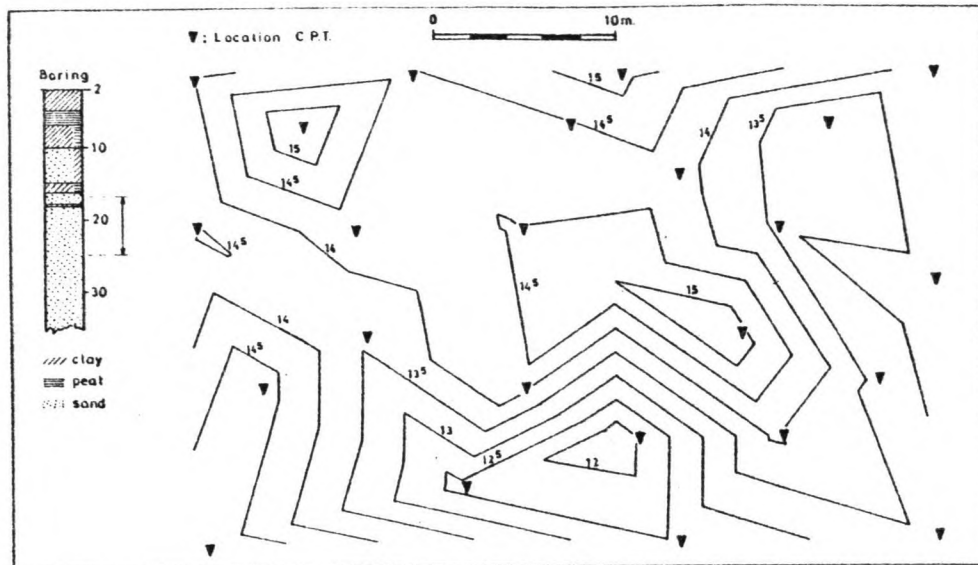


Fig. 8 Typical variation pattern of averaged cone resistances at slightly heterogeneous sites

Fig. 16.3, Variaties in de sondeerwaarden als functie van de plaats.

Uit deze figuur kunnen we, met de nodige voorzichtigheid, veronderstellen dat punten die meer dan 10 à 15 m. uit elkaar liggen nauwelijks gecorreleerd zijn. Wanneer we dit vertalen naar de fundering en daarbij alleen het onderscheid niet/wel-gecorreleerd maken, kunnen we stellen dat palen die verder dan 5 m. uit elkaar staan, niet gecorreleerd zijn.

Wanneer we nu de funderingsplattegrond, weergegeven op bijlage 27, bekijken, zien we dat er binnen een straal van 2,5 m. ca. 13 palen staan. Dit betekent dat we de 130 palen van de fundering vervangen kunnen denken door  $130/13 = 10$  ongecorreleerde palen. Het voordeel hiervan is dat we nu eenvoudig de standaardafwijking van het systeem kunnen bepalen. In het b3-dictaat vinden we voor een parallel-systeem bestaande uit  $n$  onafhankelijke elementen:  $V(R) = V(R_i)/\sqrt{n}$ .

We kunnen nu de variatiecoëfficiënt van de sterkte van de gehele fundering berekenen uit de variatiecoëfficiënt van de sterkte van één van de 10 equivalente palen:

$$V(\text{funderingssterkte}) = V(\text{paal})/\sqrt{n} = 0,25/\sqrt{10} = 0,08.$$

We kunnen nu voor de gehele fundering de figuur, zoals eerder gepresenteerd voor één paal, schetsen met het verband tussen sterkte en belasting.

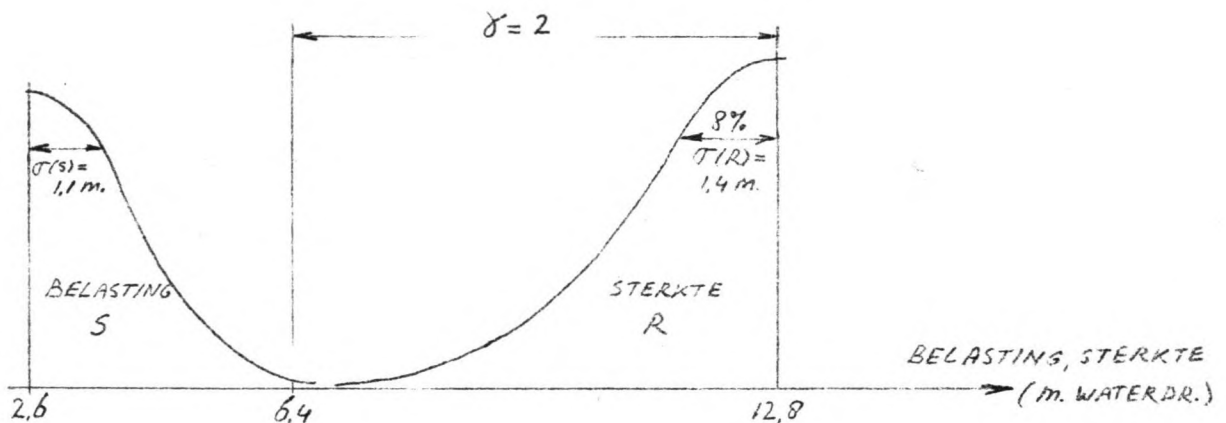


Fig. 16.4, Belasting en sterkte van de fundering van moot 3 van de spuisluisconstructie.

Met behulp van de waarden uit bovenstaande figuur kunnen we nu een probabilistische berekening uitvoeren. We bepalen eerst de faalfunctie  $Z$ , het verschil tussen sterkte en belasting:  $Z = R - S$ .

Voor de gemiddelde waarde van  $Z$  vinden we:

$$\mu(Z) = \mu(R) - \mu(S) = 12,8 - 2,6 = 10,2 \text{ m,}$$

en de standaard-afwijking van  $Z$  is:

$$\sigma(Z) = \sqrt{\sigma(R)^2 + \sigma(S)^2} = \sqrt{1,02^2 + 1,1^2} = 1,5 \text{ m.}$$

Met deze waarde bepalen we de betrouwbaarheidsindex

$$\beta = \mu(Z)/\sigma(Z) = 10,2/1,5 = 6,8.$$

Door deze waarde op te zoeken in een tabel voor de normale verdeling vinden we voor de bijbehorende kans:

$$P = 10^{-11}.$$

We zijn ons er terdege van bewust dat deze waarde niet overeen zal komen met de werkelijke faalkans van de fundering, daarvoor zijn teveel schattingen en aannamen gedaan en is de methode in z'n geheel te ruw. Het verkregen getal moet -met voorzichtigheid- gezien worden als een indicatie van de orde van grootte.

Als zodanig zullen we de gevonden faalkans hanteren in de foutenboom:

$P(\text{fundering faalt; belasting} > \text{sterkte}) \approx 10^{-11}$  per jaar.



#### 16.4 Het bezwijken van de betonconstructie

We zien in de foutenboom dat het bezwijken van de betonconstructie langs diverse paden kan leiden tot een stremming van de spuisluis, namelijk:

- wachtdeuren en schuiven functioneren niet meer,
- obstakels in de kokers,
- reparatietijd van de constructie.

De kans op een bezwijkende betonconstructie kan dus een groot aandeel hebben in de totale kans op de ongewenste topgebeurtenis.

Teneinde een waarde voor de bezwijkkans van de betonconstructie in de foutenboom te kunnen invullen raadplegen we de notitie inzake de waterkering bij de tunnel onder de Noord (lit. 27), waaruit we citeren:

"Berekeningen voor de Stormvloedkering Oosterschelde, de eerste waterbouwkundige konstruktie in Nederland die middels een probabilistische beschouwingwijze is gedimensioneerd, hebben aangetoond dat betonkonstrukties die volgens de deterministische methode zijn ontworpen, een bezwijkkans hebben in de orde van grootte van  $1 \times 10^{-5}$  à  $1 \times 10^{-7}$  gedurende de levensduur van 200 jaar. Bovendien is gebleken dat deze kans aanzienlijk gunstig beïnvloed kan worden door op beperkte schaal maatregelen te nemen die de sterkte gunstig beïnvloeden, zoals b.v.:

- a. een geringe verhoging van het wapeningspercentage en
- b. een geringe vergroting van de betondoorsnede."

In genoemde notitie zijn nog enkele rekenvoorbeelden gegeven, waarvan het resultaat een bezwijkkans van ca.  $10^{-8}$  per jaar geeft.

De in het citaat gegeven waarden per levensduur betekenen een gemiddelde bezwijkkans van  $5 \cdot 10^{-8}$  per jaar. Bij het kwantificeren van de foutenboom hanteren we een bezwijkkans voor de betonconstructie:  $10^{-8}$  per jaar.

## 16.5 Schuiven of deuren openen niet

Wanneer meerdere schuiven of deuren gedurende langere tijd niet geopend kunnen worden, kan dit leiden tot het optreden van de ongewenste topgebeurtenis. In deze paragraaf bepalen we de optredenskans van een dergelijke situatie.

Wanneer enkele deuren of schuiven onder normale bedrijfsomstandigheden falen, zal de storing binnen korte tijd, wellicht een getijperiode maar zeker binnen een dag, verholpen kunnen worden. Dit blijkt ook uit de beschouwing omtrent het beheer of de besturing van de sluis, gehouden in hoofdstuk 10. We kunnen stellen dat de optredenskans van een stremming die de ongewenste topgebeurtenis kan veroorzaken, onder normale omstandigheden verwaarloosbaar klein is.

Een oorzaak waardoor meerdere schuiven tegelijk kunnen falen is het vastvriezen van de schuiven in de geleidingen. In paragraaf 9.6 is hieraan reeds een beschouwing gewijd, voor het geval dat de schuif kapotgetrokken zou worden ten gevolge van het vastvriezen. Daar is als criterium voor het vastvriezen -zodanig dat heffen niet meer mogelijk is- een watertemperatuur lager dan  $-3^{\circ}\text{C}$  gehanteerd. Hier dienen we dit criterium nader te bezien; we beschouwen nu een langere periode en meerdere vastgevroren schuiven. Met name het feit dat de spuisluis gedurende langere tijd gestremd moet zijn voordat de topgebeurtenis kan optreden, doet ons besluiten een strenger criterium te hanteren. We kiezen, arbitrair, een watertemperatuur lager dan  $-5^{\circ}\text{C}$ , voordat de langere stremming zal optreden.

Uit de Gumbel-onderschrijdingsfrequentielijn voor de watertemperaturen van de Westerschelde, gegeven op bijlage 18, kunnen we voor de kans waarmee de watertemperatuur  $-5^{\circ}$  of lager is, een waarde van ca.  $10^{-5}$  per jaar afleiden.

## 16.6 De gekwantificeerde foutenboom voor gestremde lozing

In figuur 16.5, op de volgende bladzijde, is de gekwantificeerde foutenboom voor het optreden van een gestremde lozing gepresenteerd. Of door deze gestremde lozing ook de ongewenste topgebeurtenis optreedt is niet op voorhand te zeggen. Dit is afhankelijk van de duur van de stremming, de hydrologische omstandigheden en de maatregelen die de beheerder neemt in voorkomende gevallen.

Na het invullen van de in de voorgaande paragrafen bepaalde optredensansen van de diverse begingeburtenissen, kan de foutenboom van onder naar boven door-gerekend worden.

De gebeurtenissen die met een verwaarloosbaar kleine kans optreden, zijn in de foutenboom aangegeven met een '0'.

Het resultaat van het kwantificeren is dat een gestremde lozing met een kans van ca.  $10^{-5}$  per jaar optreedt, en vrijwel uitsluitend veroorzaakt zal worden doordat de schuiven vastgevroren zijn.

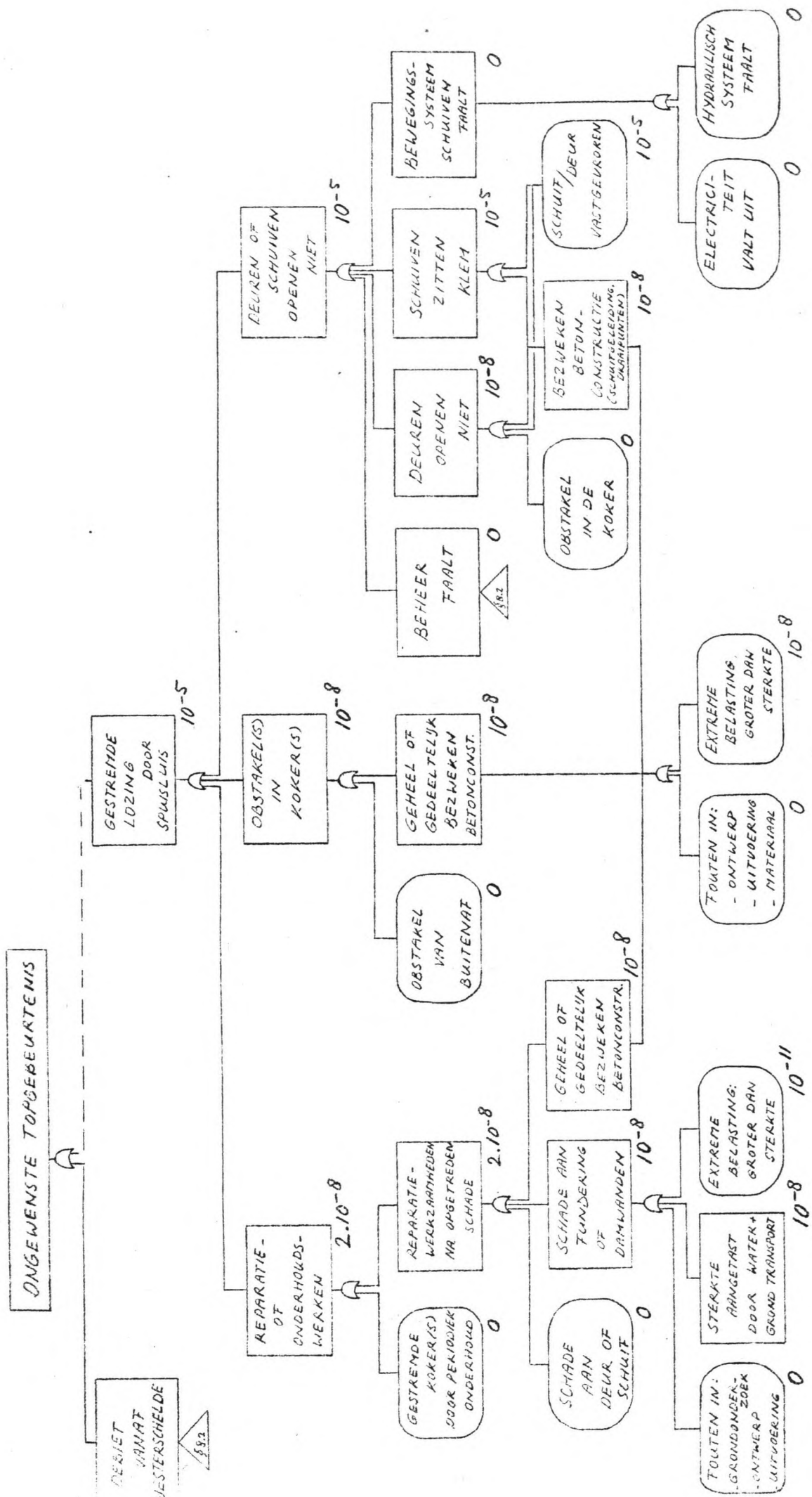


Fig. 16.5, Gekwantificeerde foutenboom voor een stremming van de spuisluis, hetgeen de ongewenste topebeurtenis tot gevolg kan hebben.

Er wordt niet gepretendeerd dat de foutenboom alle gebeurtenissen die het falen van de spuisluis ten gevolg kunnen hebben, vermeld. De gebeurtenissen, waarvan de optredenskans vrijwel niet te schatten is door het exceptionele karakter van de gebeurtenis, zijn niet in de foutenboom opgenomen. We denken hierbij aan oorlogshandelingen, sabotage, aardbevingen, enz.

Ook hebben we niet de pretentie dat de bij het kwantificeren van de foutenbomen gesubstitueerde kansen overeenkomt met de werkelijke faal- of bezwijk-kans. Hiervoor ontbreken vaak de gegevens en zijn de gehanteerde benaderingen te ruw.

De waarde van de gepresenteerde foutenbomen dient meer gezocht te worden in het onderzoeken in hoeverre het spuisluis-systeem gevoelig is voor het optreden van bepaalde gebeurtenissen. Zo kan aan de optredenskansen van de diverse gebeurtenissen wel een relatieve waarde worden toegekend; ze geven de gevoeligheid van het systeem weer.

### Conclusies

Als algemene conclusie kunnen we aangeven dat het spuisluis-systeem zeer veilig is. Wanneer we vooral kijken naar het optreden van de ongewenste topgebeurtenis veroorzaakt door binnendringend Westerschelde water, is een optredenskans van  $10^{-9}$  per jaar zeer klein te noemen. Men kan zich afvragen of het systeem niet té veilig, d.i. te duur, is. Het optreden van de topgebeurtenis ten gevolge van een gestremde lozing is, zoals reeds in hoofdstuk 16 betoogd, moeilijker in te schatten. We kunnen, met enige voorzichtigheid, wel stellen dat een stremming met een grotere kans op zal treden dan binnendringend Westerscheldewater.

Wat betreft de gevoeligheid van het systeem voor bepaalde gebeurtenissen, kunnen we concluderen dat vorst een relatief grote bedreiging vormt voor het functioneren van de spuisluis. Zowel voor het geval van gestremde lozing als voor binnendringend water, zien we dat het vastvriezen van de schuiven resp. deuren, een grote invloed heeft op de totale faalkans. De kans op vastvriezen is ca. een factor 100 groter dan de optredenskans van andere gebeurtenissen, die hetzelfde effect kunnen hebben. Wellicht kan dit een indicatie zijn om te besluiten tot het inbouwen van verwarmingsvoorzieningen in de schuifgeleidingen en in de deurkas.

In het inleidende hoofdstuk werd de vraag gesteld of wellicht de wachtdeuren weggelaten zouden kunnen worden, zonder grote consequenties voor de bedrijfszekerheid van het systeem. Aan de hand van de gekwantificeerde foutenboom voor binnendringend Westerscheldewater, kunnen we zeggen dat dit geen aanbeveling verdient. De kans op de ongewenste topgebeurtenis zou toenemen van ca.  $10^{-9}$  tot ca.  $10^{-3}$  per jaar. Het blijkt dat de hefschuiven minder bedrijfszeker zijn dan de wachtdeuren, zodat het weglaten van de wachtdeuren grote invloed heeft.

## LITERATUUR

- 1 Vrouwenvelder, Ir.A.C.W.M., en Vrijling, Ir.J.K.,  
Probabilistisch ontwerpen  
College-dictaat b3, Technische Hogeschool Delft,  
afdeling der Civiele Techniek,  
Delft, 1982
- 2 Stuip, Ir.J.,  
Methodische aanpak voor waterbouwkundige constructies  
aan zee.  
Delft, 1980
- 3 Waterloopkundig Laboratorium,  
Lozingsmiddel Zoommeer; verifikatie en aanpassing  
ontwerp, bepaling afvoercharacteristieken, rekenmodel  
spuisluis met vrije waterspiegel.  
Verslag nr. M1711/R1372,  
Delft, 1982
- 4 Rijksinstituut voor zuivering van afvalwater,  
Waterkwaliteitsaspecten van de Westerschelde.  
Rapport nr. 81.049,  
z.p., 1981
- 5 Rijkswaterstaat, Commissie Compartimentering Oosterschelde,  
Werkgroep Waterhuishouding,  
Het peil, de chloridegehalten en de lozingscapaciteit  
van het Zoommeer.  
Interim-nota,  
z.p., 1977
- 6 Segeren, Prof.Ir.W.A., en Kleij, Ir.J. van der,  
Polders en waterkeringen.  
College-dictaat f3, gedeelte polders,  
Technische Hogeschool Delft, afd. Civiele Techniek,  
Delft, 1976

- 7 Rijkswaterstaat, Commissie Compartimentering Oosterschelde,  
Nota capaciteit lozingsmiddel Zoommeer.  
Bergen op Zoom, 1978
- 8 Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbe-  
weging  
Peil- en chloridegehalteberekeningen voor het Zoommeer  
in verband met de bepaling van de lozingscapaciteit.  
Nota nr. 24.001.07,  
z.p., 1978
- 9 Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Water-  
beweging, district Zuidwest,  
De chloridebelasting en het zoetwaterverlies via de  
schutsluizen van het toekomstig Zoommeer. (herziene versie),  
z.p., 1978
- 10 Rijkswaterstaat, Projectgroep Waterhuishouding Oostmeer,  
Interim nota 76-28,  
z.p., z.j.
- 11 Vries, Prof.dr.ir.M. de,  
Inleiding vloeistofmechanica.  
College-dictaat b72, Technische Hogeschool Delft,  
afdeling der Civiele Techniek,  
Delft, 1977
- 12  
Dynamica en systemen.  
College-dictaten  $f_9^a$ ,  $f_9^b$ , Technische Hogeschool Delft,  
afdeling der Civiele Techniek,  
Delft,
- 13 Rigter, B.P.,  
Density-induced return-currents in outlet channels.  
Delft, 1970



- 14 Schönfeld, J.C., en Kranenburg, C.  
Dichtheidsstroemen en interne golven.  
College-dictaat b81, Technische Hogeschool Delft,  
afdeling der Civiele Techniek,  
Delft, 1981
- 15 Waterloopkundig Laboratorium,  
European course on heat disposal from power generation  
in the water environment.  
Delft, 1975
- 16 Stichting Houtvoorlichtingsinstituut,  
Houtvademecum, deel I, houtsoorten.  
Amsterdam, z.j.
- 17 Centrum voor houtresearch,  
Houten damwanden en meerpalen.  
CHR-brochure 78-1,  
Amsterdam, z.j.
- 18 Rijkswaterstaat, Werkgroep Spuisluis en Sifon,  
Hydraulische randvoorwaarden Spuisluis en Sifon.  
Notitie DDWT-81.223,  
z.p., 1981
- 19 Massie, W.W., P.E.  
Coastal engineering.  
Volume I, introduction  
Delft University of Technology, Department of Civil Eng.,  
Delft, 1976
- 20 Instituut TNO,  
Inleidende probabilistische berekeningen.  
Rapport nr. B-78-30/62.3.2001,  
z.p., 1978

- 21 Waterloopkundig Laboratorium,  
Stormvloedkering Oosterschelde; Golfklappen op de  
schuif in de Oosterschelde-caisson.  
Verslag modelonderzoek, M1335, deel 1, band 1,  
Delft, 1977
- 22 Glerum, Prof.Ir.A.,  
Waterbouwkundige constructies b.o. I.  
College-dictaat f9A, gedeelte 'schuiven'  
door Dr.Ir.P.A.Kolkman,  
Technische Hogeschool Delft, afdeling der Civiele  
Techniek, vakgroep Waterbouwkunde en Hydrologie,  
Delft, 1981
- 23 Kolkman, P.A.,  
Flow-induced gate vibrations.  
Delft, 1976
- 24 Rijkwaterstaat, Directie Waterhuishouding en Water-  
beweging,  
Jaarboek der waterhoogten, afvoeren, watertemperaturen  
en windgegevens.  
Den Haag
- 25 Seyhan, Ersin,  
Application of statistical methods to Hydrology.  
Institute of Earth-sciences, Free University,  
Amsterdam, 1980
- 26 STUVO,  
Uitgangspunten voor de berekening van ijsdrukken  
t.b.v. ROBB.  
z.p., 1976

- 27 Rijkswaterstaat, Directie Zuid-Holland, Directie  
sluizen en stuwen,  
Notitie inzake de waterkering in Alblasserdam ter  
plaats van de te bouwen tunnel onder de Noord in  
de A15.  
z.p., 1982
- 28 Vereniging van directeuren van elektriciteitsbedrijven  
in Nederland, Werkgroep evaluatie van storingsgegevens  
van de Commissie distributievraagstukken,  
De integratie van de VDEN niet-beschikbaarheidsenquête  
van distributienetten in het beleid.  
z.p., 1981
- 29 Posterijen Telegrafie Telefonie,  
De ptt en datacommunicatie.  
Brochure,  
z.p., z.j.
- 30 Rijkswaterstaat, Damwandcommissie,  
Ervaringen opgedaan bij werken waarbij enkelvoudige  
stalen damwand is toegepast.  
z.p., 1981
- 31 Instituut TNO voor bouwmaterialen en bouwconstructies,  
Faalkans-analyse van de Oosterschelde Stormvloedkering.  
Rapport nr. B-79-494/62.3.2002,  
z.p., 1979
- 32 Verruijt, A., Beringen, F.L., en Leeuw, E.H.de,  
Penetration testing.  
Proceedings of the second european symposium on  
penetration testing,  
"Considerations on safety of piled raft foundations",  
door Calle, E.O.F. en Heijnen, W.J.,  
Rotterdam, 1982

## 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.

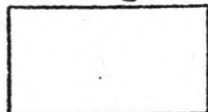
Aquatisch ecologisch onderzoek.  
1981, nr. 95.

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<sup>e</sup> 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.

Samengestelde gebeurtenis:



g = een gebeurtenis die het falen van een systeem of een component aangeeft. (Dit is een hulpmiddel om in een boom makkelijk de weg te vinden).

'En'-poort:



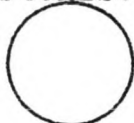
"en"-poort; hierbij vindt een boven deze poort staande gebeurtenis al-leen plaats als alle invoergebeurtenissen tegelijkertijd plaatsvinden.

'Of'-poort:



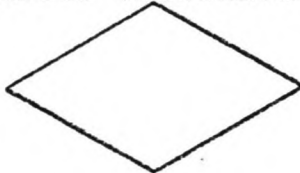
"of"-poort; hierbij vindt een boven deze poort staande gebeurtenis al-leen plaats als één of meerdere invoergebeurtenissen plaatsvinden.

Basisgebeurtenis:



Binnen een cirkel staat een basisgebeurtenis, dit is het falen van een component.

Niet verder ontwikkelde gebeurtenis:



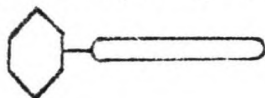
In de ruit staat een basisgebeurtenis die hierdoor slechts aangegeven wordt en wat invloed betreft te verwaarlozen is.

Verwijs-symbool:



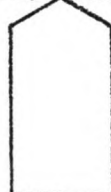
De driehoek wordt als overbrengings-symbool gebruikt, wanneer er een subboom van de gebeurtenis bestaat. Het resultaat van de subboom wordt als component gebruikt.

Inhibit-gate en voorwaardelijke gebeurtenis:



De gebeurtenis naast de inhibit-gate is een voorwaardelijke gebeurtenis, die alleen kan optreden als de begingebeurtenis optreedt.

Normale gebeurtenis:



"house-event"; een normale gebeurtenis, die voortkomt uit het normaal gebruik van het systeem.

Tabel

Symbolen die regelmatig in foutenbomen gebruikt worden

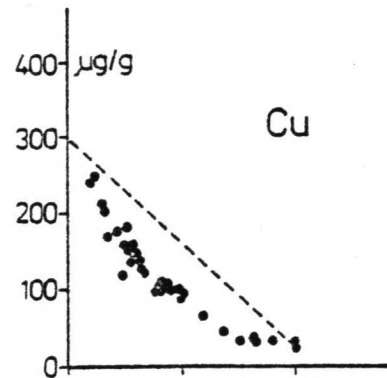
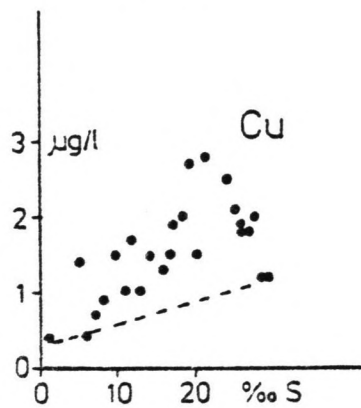
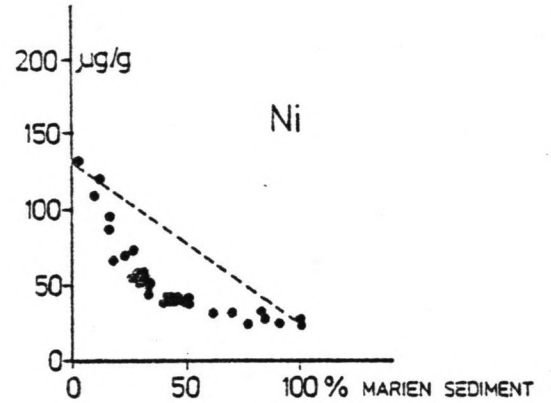
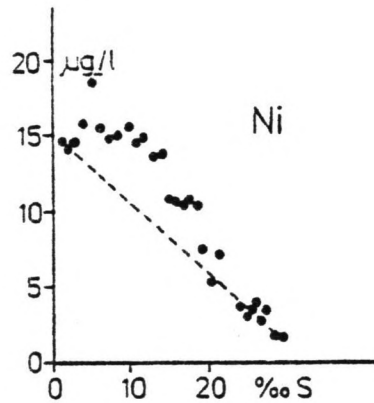
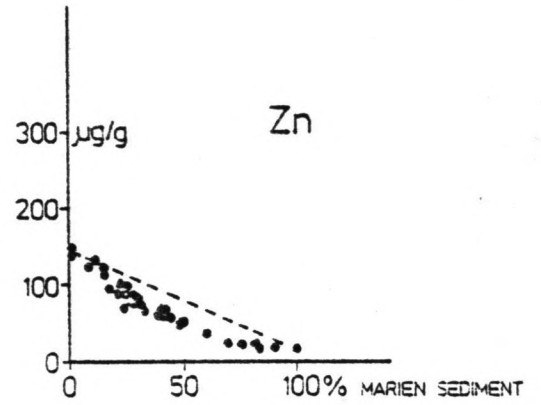
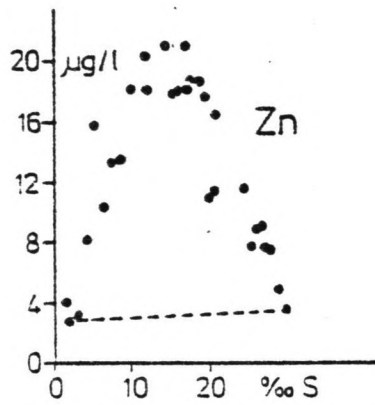
TABEL NORMALE VERDELING

u	$\phi_N(u)$	u	$\phi_N(u)$	u	$\phi_N(u)$
0,0	0,50				
- 0,1	0,46	- 1,1	0,14	- 2,1	$0,18 \cdot 10^{-1}$
- 0,2	0,42	- 1,2	0,12	- 2,2	0,14
- 0,3	0,38	- 1,3	0,10	- 2,3	0,11
- 0,4	0,34	- 1,4	$0,81 \cdot 10^{-1}$	- 2,4	$0,82 \cdot 10^{-2}$
- 0,5	0,31	- 1,5	$0,67 \cdot 10^{-1}$	- 2,5	0,62
- 0,6	0,27	- 1,6	$0,55 \cdot 10^{-1}$	- 2,6	0,47
- 0,7	0,24	- 1,7	$0,45 \cdot 10^{-1}$	- 2,7	0,35
- 0,8	0,21	- 1,8	$0,36 \cdot 10^{-1}$	- 2,8	0,26
- 0,9	0,18	- 1,9	$0,29 \cdot 10^{-1}$	- 2,9	0,19
- 1,0	0,16	- 2,0	$0,23 \cdot 10^{-1}$	- 3,0	0,13
u	$\phi_N(u)$	u	$\phi_N(u)$	u	$\phi_N(u)$
- 3,1	$0,97 \cdot 10^{-3}$	- 4,1	$0,21 \cdot 10^{-4}$	- 5,1	$0,17 \cdot 10^{-6}$
- 3,2	0,67	- 4,2	0,13	- 5,2	0,10
- 3,3	0,48	- 4,3	$0,79 \cdot 10^{-5}$	- 5,3	$0,58 \cdot 10^{-7}$
- 3,4	0,33	- 4,4	0,48	- 5,4	0,33
- 3,5	0,23	- 4,5	0,34	- 5,5	0,19
- 3,6	0,16	- 4,6	0,21	- 5,6	0,11
- 3,7	0,11	- 4,7	0,13	- 5,7	$0,60 \cdot 10^{-8}$
- 3,8	$0,72 \cdot 10^{-4}$	- 4,8	$0,79 \cdot 10^{-6}$	- 5,8	0,33
- 3,9	0,48	- 4,9	0,48	- 5,9	0,18
- 4,0	0,32	- 5,0	0,29	- 6,0	$0,99 \cdot 10^{-9}$

Zware metalen in het Schelde-estuarium

opgelost (1979)

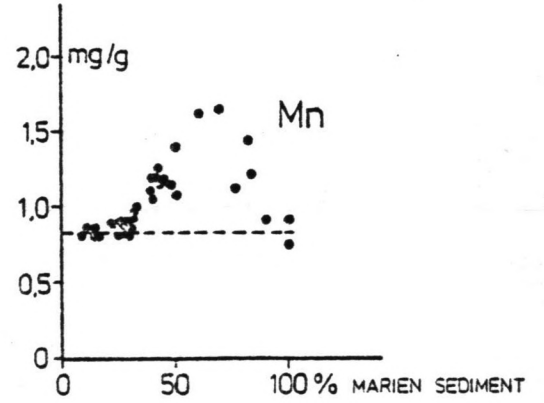
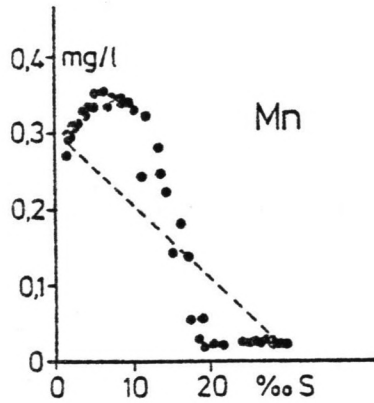
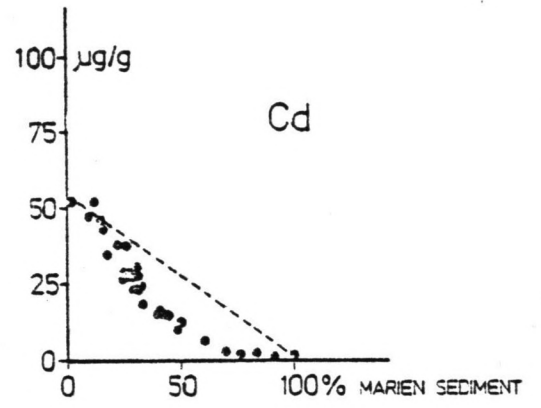
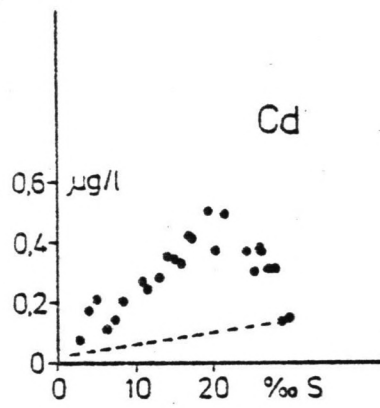
particulair gebonden (1978)





opgelost (1979)

particulair gebonden (1978)

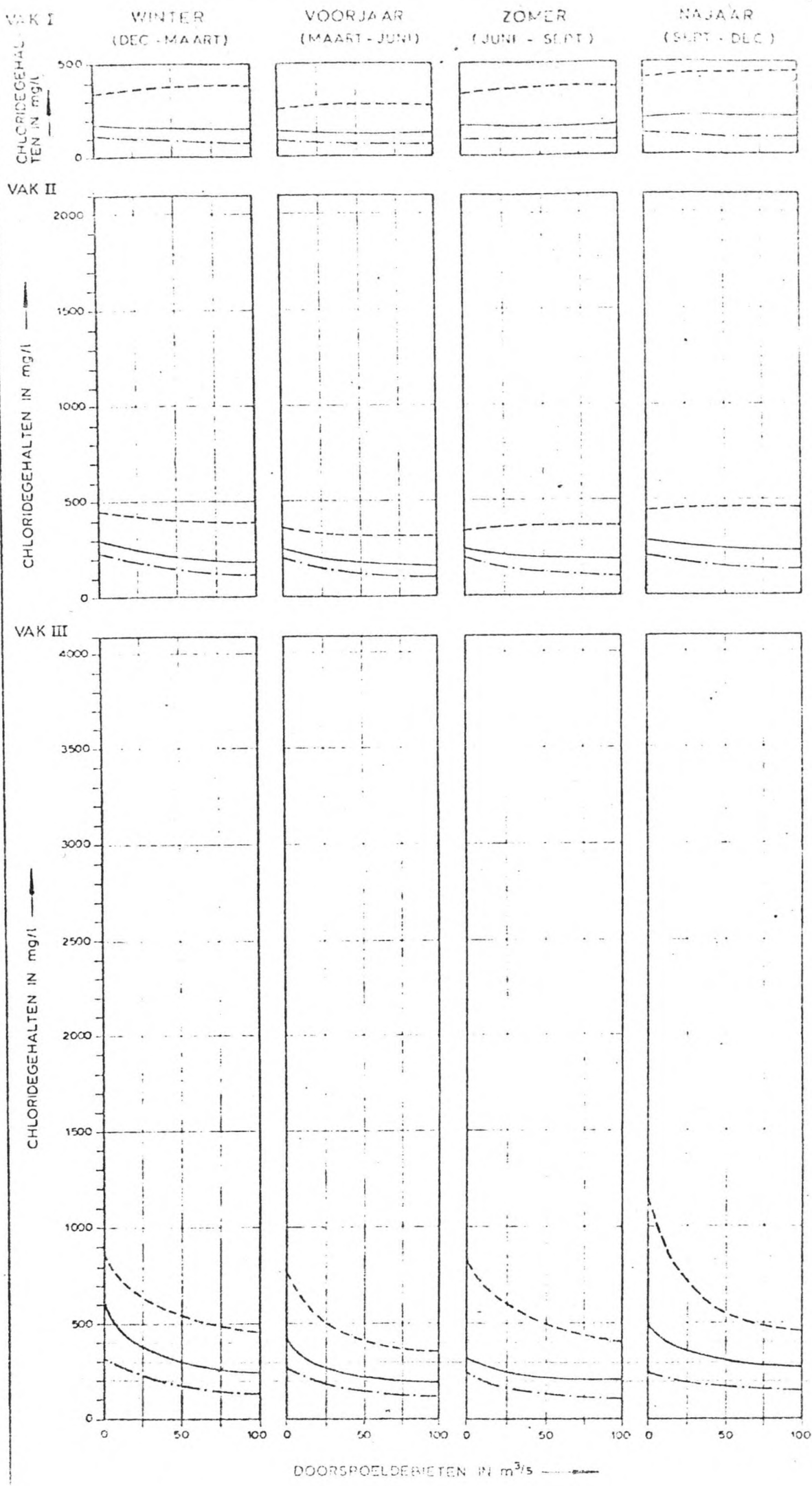


chlorgehalte in mg/l	bruikbaarheid
< 300	- geschikt voor alle landbouwdoeleinden en als drinkwater voor de mens
300-500	- kan oogstvermindering geven bij gebruik als gietwater onder glas
500-1000	- in vele gevallen onbruikbaar als gietwater voor groentegewassen en twijfelachtig als spuitwater bij ziektebestrijding 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<sup>-</sup>/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



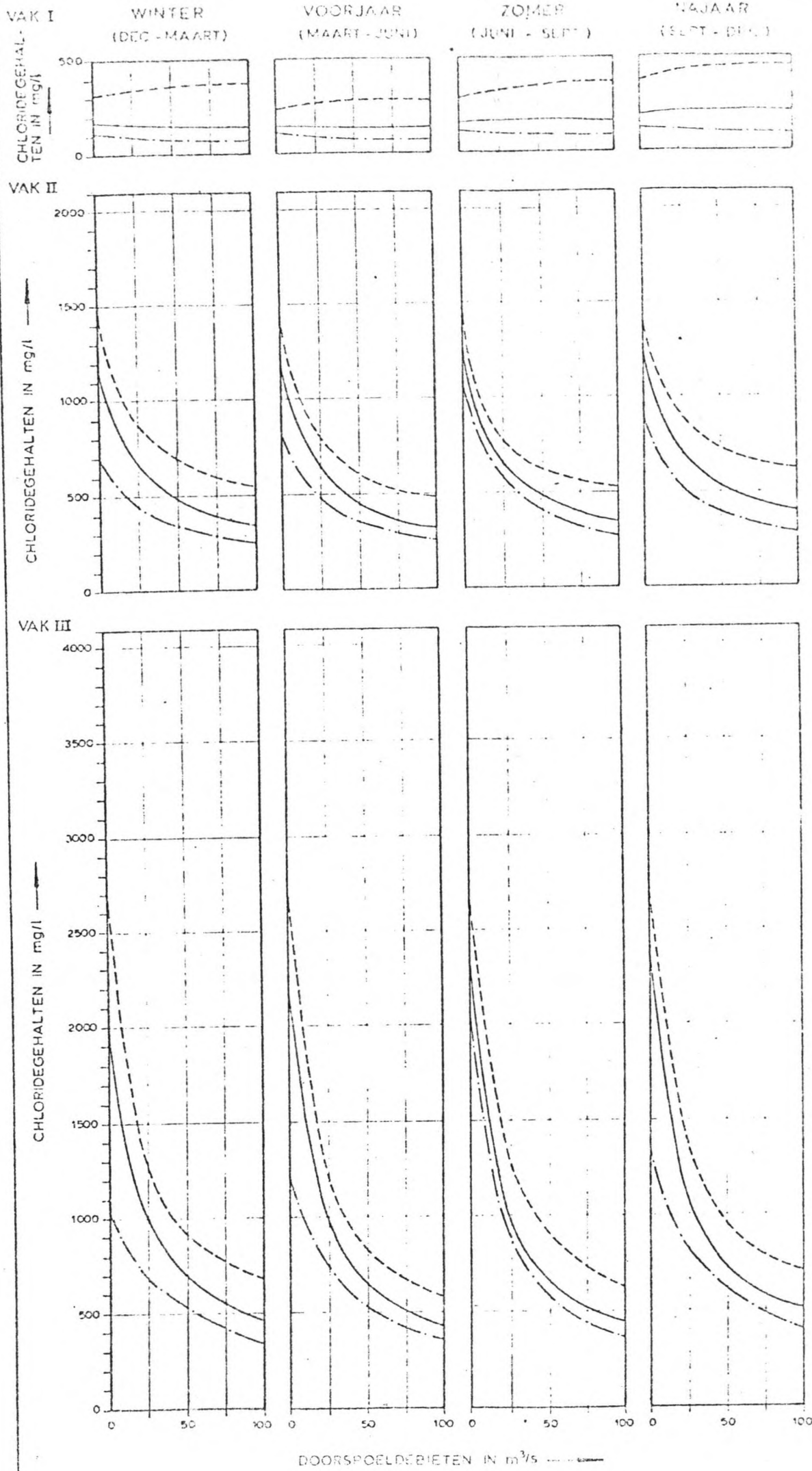
MAXIMUM, GEMIDDELTE EN MINIMUM CHLORIDEGEHALTEN  
 (DECADEGEMIDDELDEN PER VAK) OVER DE PERIODE 1933 - 1974  
 ALS FUNCTIE VAN HET CONTINU EXTRA DOORSPOELDIJKT

rijkswaterstaat  
 Dienst Waterhuishouding en Waterbeweging  
 Delft, Zuidwest

get. din a 3 notanr. 24 00107  
 nr. bijlage nr. 9

RANDVOORWAARDEN:  
 ZONDER TERUGWINNEN  
 CHLORIDEBEZWAAR GEMIDDELTE PROGNOSE

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

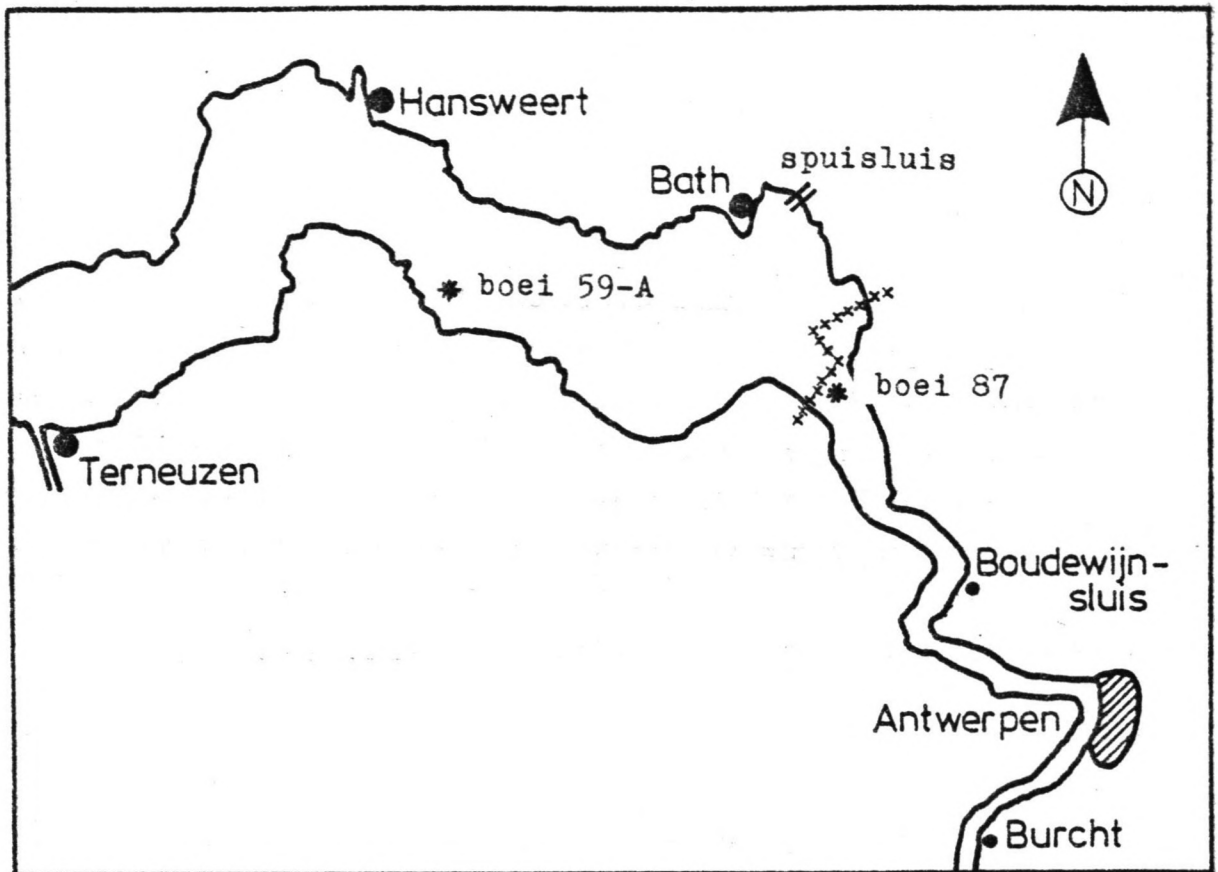


MAXIMUM, GEMIDDELTE EN MINIMUM CHLORIDEGEHALTEN  
 (DECADEGEMIDDELDEN PER VAK) OVER DE PERIODE 1931 - 1974  
 ALS FUNCTIE VAN HET CONTINU EXTRA DOORSPOELDEBIET  
 rijkswaterstaat get. din a 3 nota nr. 24-00107  
 directie waterhuishouding en waterbeveiliging nr. bijlage nr. 11

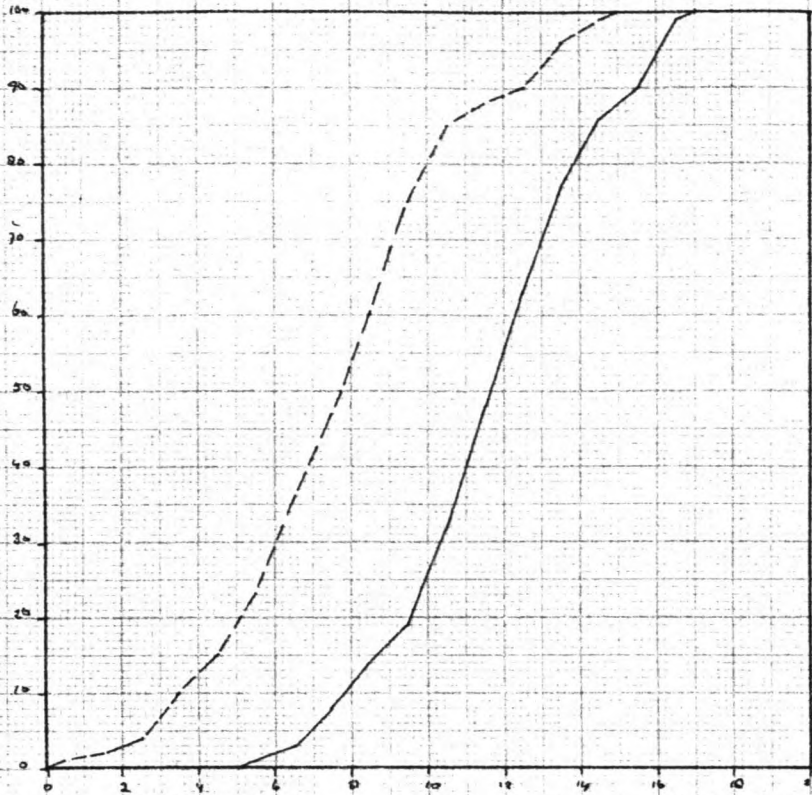
RANDVOORWAARDEN:  
 TERUGWINNEN 50 %  
 CHLORIDEBEZWAAR GEMIDDELTE PROGNOSE

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

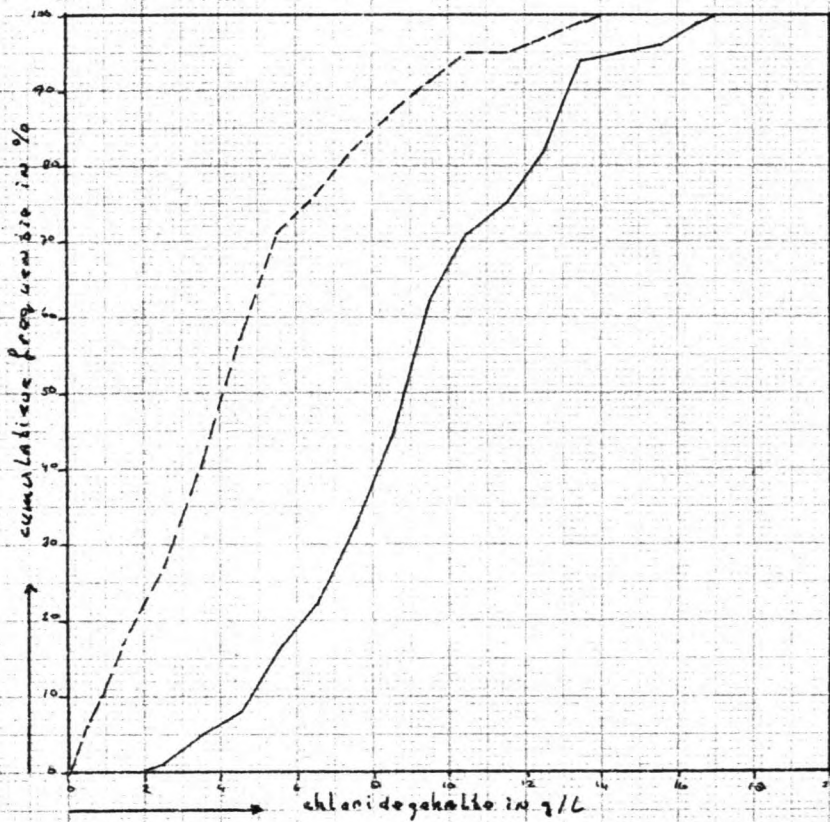
DOORSPOELDEBIETEN IN m³/s



Figuur, Plaats van de boeien 87 en 59<sup>a</sup> in de Westerschelde en de spuisluis Bath.



WINTERWAARDEN



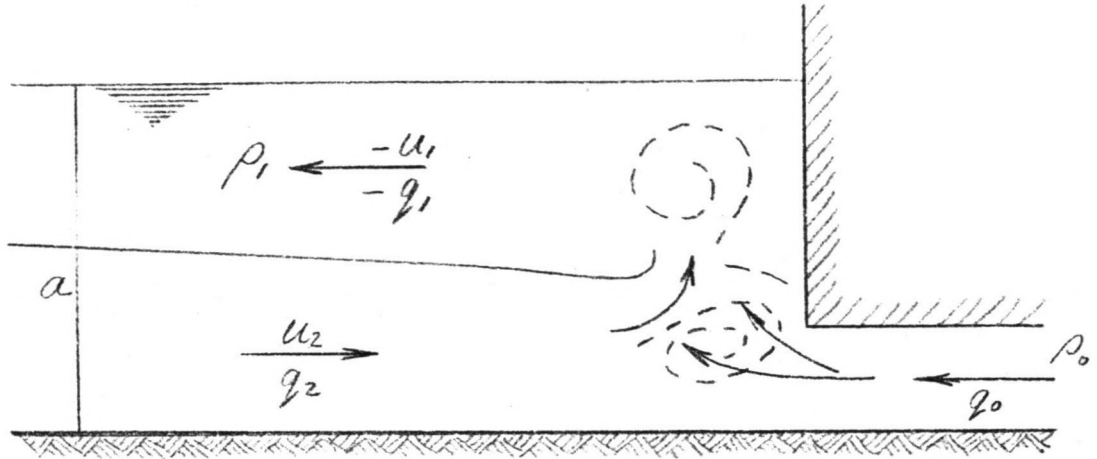
— 008177a  
 - - - 008187

tijdstip	getij	debiet	hoeveelheid
t <sub>1</sub>	0,22 m + NAP.	30 m <sup>3</sup> /sec.	54.10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> .
t <sub>2</sub>	0,71 m + NAP.	57	103.10 <sup>3</sup>
t <sub>3</sub>	1,34	78	140.10 <sup>3</sup>
t <sub>4</sub>	2,08	97	175
t <sub>5</sub>	2,48	106	191
t <sub>6</sub>	2,59	108	194
t <sub>7</sub>	2,47	106	191
t <sub>8</sub>	2,14	98	176
t <sub>9</sub>	1,74	89	160
t <sub>10</sub>	1,28	76	137
t <sub>11</sub>	0,87	63	113
t <sub>12</sub>	0,44	43	77.10 <sup>3</sup>
t <sub>13</sub>	0,00	0	0.10 <sup>3</sup>
Totaal :			1,7 . 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> .

Het debiet volgt uit de formules, gepresenteerd in paragraaf 1.6.1. De hoeveelheid volgt uit een vermenigvuldiging van het debiet, met het aantal seconden in een tijdsinterval  $\Delta t$  ( $0,5 \times 60 \times 60 = 1800$  sec.).

Door energieverliezen op het spukanaal vindt er een reductie van 6 % plaats;

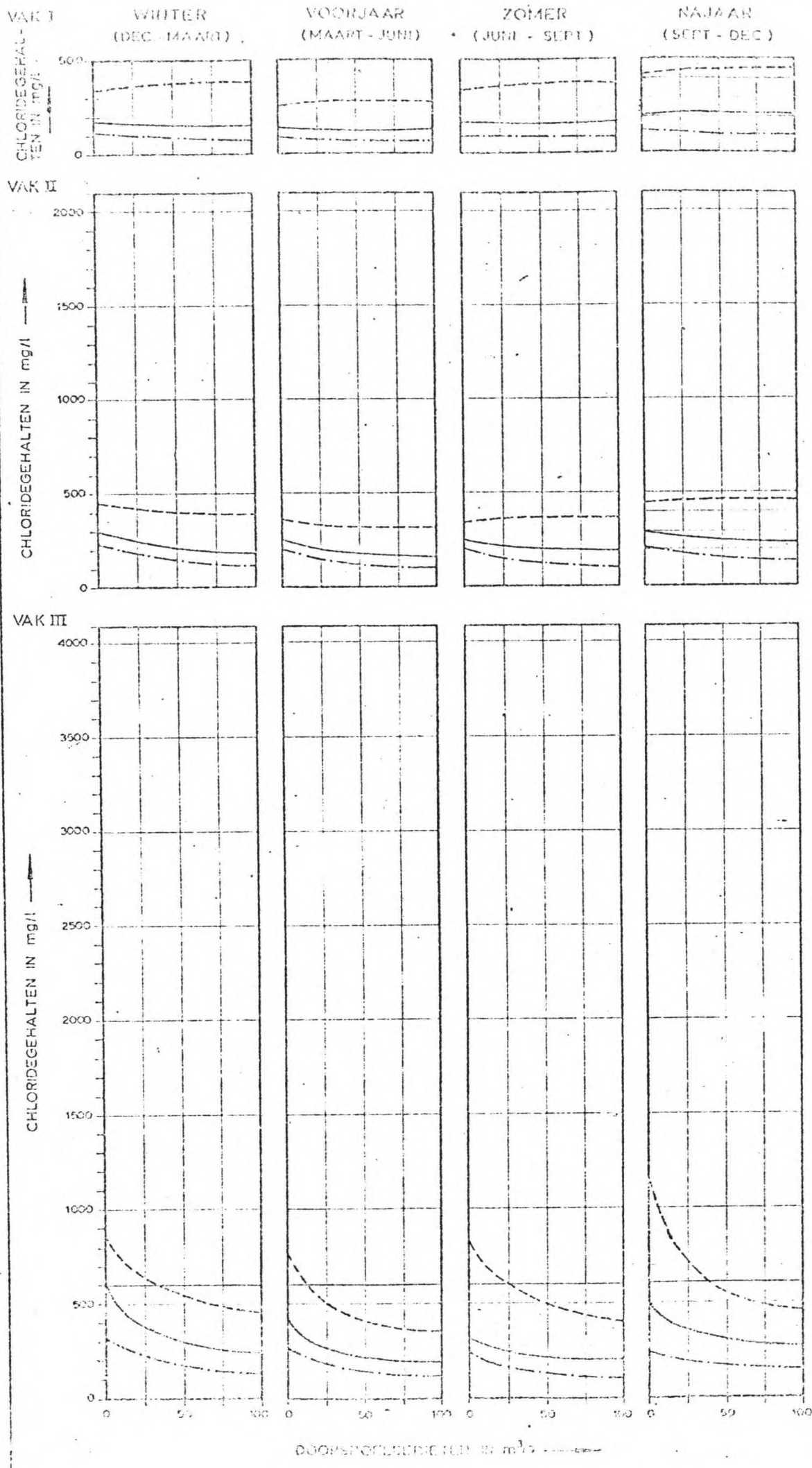
$$1,7 \cdot 10^6 - 6\% = \underline{1,6 \cdot 10^6} \text{ m}^3.$$



Figuur, Flow pattern in outlet channel.

Bron: Rigter; Density-induced return-currents in outlet-channels, lit. 13.





MAXIMUM, GEMIDDELTE EN MINIMUM CHLORIDEGEHALTEN  
 (DECADEGE MIDDENEN PER VAK) OVER DE PERIODE 1933-1974  
 ALS FUNCTIE VAN HET CONTINUÛ EXTRA DOOPSPORCIEMETER

Rijswaterstaat  
 directe waterhuishouding en waterbeweging  
 district zuidwest

stat. din 4 3 notis nr. 24.001.15  
 nr. bijlage nr. 9

BEREKENING SERIE 2

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

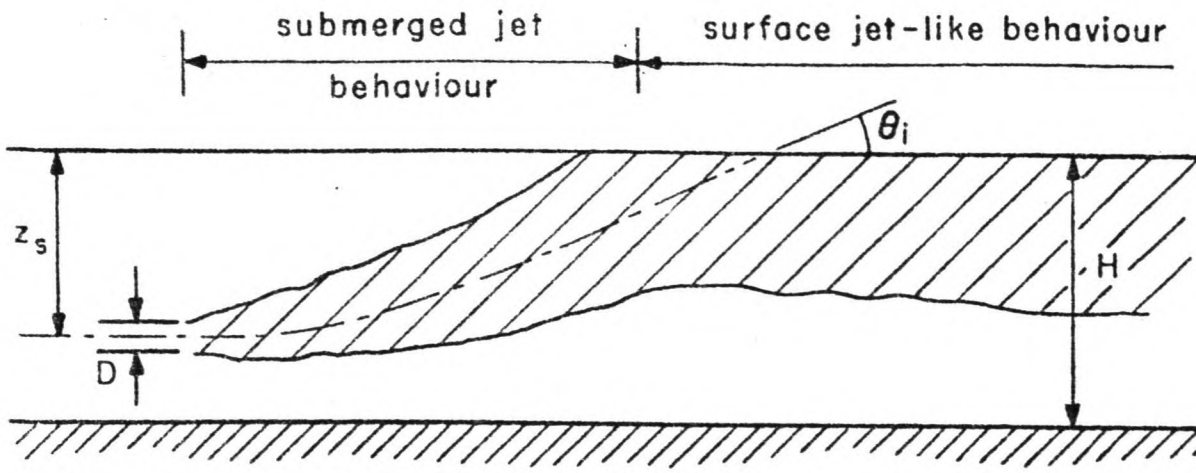


Fig.6-8 : Horizontal Round Jet with Surface Interaction

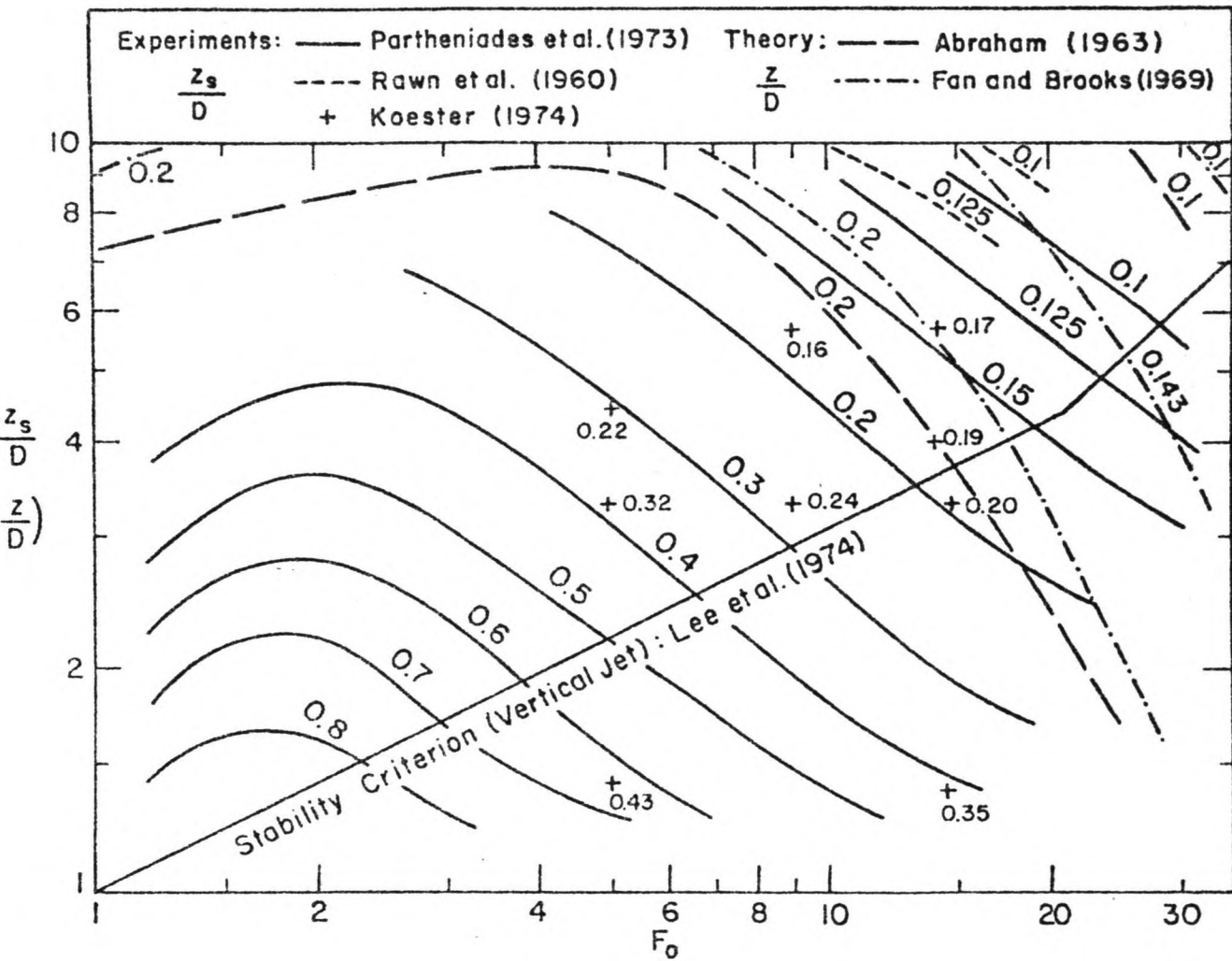
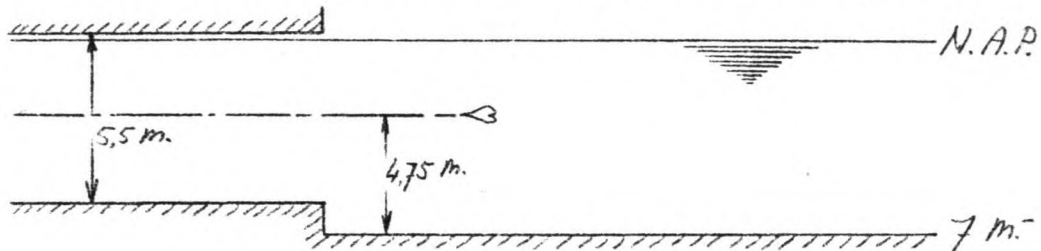


Fig. 6-9: Maximum Surface Temperature Rises,  $\Delta T_{\max} / \Delta T_0$ , from Experimental Observations and Comparison to Deep Water Jet Models (after Partheniades et. al., 1973)

(Bron: lit. 15)

We zullen hier onderzoeken hoe groot de menging is, voor een situatie die we kunnen 'vertalen' in de situatie zoals die bij de spuisluis kan optreden, met behulp van de grafiek op bijlage 11<sup>a</sup>.

In ons geval hebben we te doen met een zoute, zwaardere, waterstroom die in een kanaal met lichter water komt. Deze stroom zal dus naar beneden toe afbuigen. De situatie is geschetst in de volgende figuur.



We bepalen nu de kentallen die van belang zijn voor de beschrijving van de situatie:

$$Z = 4,75 \text{ m.}$$

Oppervlakte van 1 koker =  $19 \text{ m}^2$ , omgerekend naar een equivalente cirkel vinden we daarvoor een diameter van:

$$D = \sqrt{(19 \cdot 4) / \pi} \cong 5 \text{ m.}$$

$Z/D = 4,75/5 \cong 1$ , wat de waarde is die we op de verticale as van de grafiek opzoeken.

$$\text{Het Froude-getal: } F_0^2 = \frac{u_0^2}{\frac{\rho_a - \rho_z}{\rho_0} \cdot g \cdot D} = \frac{3,7^2}{0,005 \cdot 10 \cdot 5} = 7,4,$$

hetgeen de waarde is die we op de horizontale as van de grafiek kunnen opzoeken.

Uit de grafiek kunnen we nu aflezen:  $\frac{\Delta T_{\text{max.}}}{\Delta T_0} \cong 0,8$ , hetgeen een menging in de verhouding zout/zoet = 4/1 zou betekenen.

Hier gaat het echter om de hoogste temperatuur die op één punt aan het oppervlak gemeten kan worden. In ons geval gaat het om de menging, zoals die gemiddeld over het gehele stroomprofiel optreedt, hetgeen dus duidelijk lager (méér menging) zal uitvallen.

## Azobé

Benaamingen	hendui (Sierra Leone en Liberia), azobé (Ivoorkust), kaku (Ghana), eba, ekki (Nigeria), bongossi, okoga (Kameroen), akògha, akoura (Gaboen en Sp. Guinee), bonkólé, aya (Kongó, Zaïre), bongossi (Duitsland), azobé (Frankrijk), ekki, red ironwood (Engeland)
Botanische naam	<i>Lophira alata</i> , var. <i>procera</i>
Familie	Ochnaceae
Groeigebied	Tropisch West-Afrika
Volumegewicht	0,94-1,10; vers weegt 1 m <sup>3</sup> ongeveer 1000-1300 kg
Houtmonstercollectie	HV1 nr. 28

### *Algemene kenmerken*

Het kernhout is paarsachtig bruin, aan de lucht donkerder wordend; het spinthout is grijsachtig en het wordt meestal in het land van herkomst grotendeels of geheel verwijderd. Tussen kernhout en spint-hout komt een 5 à 8 cm brede laag 'jong kernhout' of 'overgangshout' (intermediaire zone) voor dat iets lichter is dan het kernhout. Azobé is zeer sterk en zeer hard; het heeft een grove nerf met grote vaten (poriën), die vooral in het kernhout vaak gevuld zijn met een witachtige, ook geelbruine tot roodbruine, stof. Het hout is zeer kruisdradig, hetgeen de bewerking bemoeilijkt. Door de kruisdradigheid is dun hout moeilijk zonder vervorming te drogen. Bij het drogen treden ten gevolge van het langzame vochttransport van binnen naar buiten gemakkelijk windscheurtjes op. Eenmaal gedroogd, past het hout zich uitstekend aan bij de vochtigheidsgraad van de atmosfeer, zowel in de zomer als in de winter.

Azobé is vrij moeilijk te schaven of met kleine gereedschappen te bewerken; spijkeren en schroeven gaat eveneens moeilijk. Het laat zich goed lijmen, doch dit dient dan wel met kunstharlijm te geschieden. Het is een van de zwaarste werkhoutsoorten met een hoge mechanische sterkte.

### *Toepassing*

Azobé wordt wegens de grote sterkte en duurzaamheid veel gebruikt als constructiehout in de waterbouw voor sluisdeuren, remmingwerken, stuwten, steigers, bruggen, brugdekken, damwanden, goringen, palen en wrijfbalken.

Een toepassing met allerlei mogelijkheden vormen de vlechtwerken van dun azobé. Deze worden o.a. toegepast voor beschoeiingen, beslagmatten, betuinings, kraag- en zinkstukken alsmede voor weg-funderingen en tuinafscheidingen.

Anderere toepassingen zijn bermplanken, hekpalen, parkbanken, keggen, kielblokken, kimblokken, bedrijfsvloeren, draglineschotten, dekken van weegbruggen, buikdenningen en steunconstructies voor zware machines.

In de Parijse ondergrondse dient het hout als spoorrails voor de treinen met rubberbanden. Azobé is tot op zekere hoogte bestand tegen aantasting door zuren en andere chemicaliën en is derhalve geschikt om voor steunconstructies te dienen voor installaties in chemische fabrieken.

*Duurzaamheid* Klasse I. Het zogenaamde overgangshout, dat tussen kern en spint is gelegen, is eveneens zeer duurzaam. Bestand tegen termieten en in hoge mate ook tegen paalworm-aantasting.

## 2.2. Mechanische eigenschappen

In tabel 3 zijn verschillende mechanische en enkele fysische eigenschappen van de hier behandelde houtsoorten vermeld. Deze cijfers zijn veelal gebaseerd op onderzoek van foutvrij materiaal met kleine afmetingen, terwijl het gemiddelden van meestal slechts gering in omvang zijnde proevenseries betreft.

Deze cijfers zijn vooral als vergelijkingsmateriaal bedoeld en opgenomen. Govers [40] verzamelde zeer zorgvuldig de uit de literatuur bekende sterktecijfers van een aantal houtsoorten, waaronder de hier beschouwde.

Globaal kan daaruit worden geconcludeerd tot de in tabel 4 opgenomen sterktecijfers. In twee gevallen zijn uitsluitend gegevens van foutvrij hout beschikbaar, ter verrekening waarvan een kwaliteitsfactor van 3/4 is ingevoerd, terwijl voorts schattingen zijn gemaakt omtrent de variatiecoëfficiënt.

Voor azobé zijn ten behoeve van de onderhavige brochure een aantal onderzoeken verricht [43] op ongebruikte damwandplanken van circa 60 mm × 230 (198 tot 235) mm en van circa 30 mm × 230 (150 tot 251) mm. In het onderzoek is zowel hout betrokken afkomstig uit Kameroen als uit Liberia; hiertussen is geen statistisch significant verschil aantoonbaar. In tabel 1 zijn de gevonden waarden vermeld.

Tevens is in dit onderzoek betrokken gebruikt azobé hout van meerpalen en wrijfstijlen en gebruikte damwandplanken. Tussen

ongebruikt en gebruikt (15 à 18 jaar oud) azobé werden kleine statistisch significante verschillen gevonden (ongeveer 7% voor zowel de buigsterkte als de E-modulus) in het voordeel van gebruikt azobé, als gevolg van de hogere houtkwaliteit die 18 jaar geleden werd geleverd.

De gemiddelde buigsterkte is hoger dan de in tabel 4 vermelde waarde, terwijl de variatiecoëfficiënt nog iets lager is.

Voor de definitieve waarde voor azobé is nu als uitgangspunt gekozen een gemiddelde sterkte van 100 N/mm<sup>2</sup> en een variatiecoëfficiënt van 0,15 (vergelijk tabellen 4 en 1).

Eveneens werden 10 monsters nat gebruikt basralocus, afkomstig van meerpalen uit de haven van Rotterdam, aan beproeving onderworpen. De proefstukken van 1800 × 150 × 60 mm<sup>3</sup> zijn uit een aantal palen gezaagd.

De gemiddelde waarden voor basralocus bedroegen:

E-modulus	13.920 N/mm <sup>2</sup>
buigsterkte	76,1 N/mm <sup>2</sup>
variatiecoëfficiënt	0,19

In de bepaling van het gemiddelde en de standaardafwijking van de buigsterkte zijn twee waarden in verband met hun extreme resultaten ten gevolge van drukbreuk respectievelijk noesten niet opgenomen.

Voor de hier vermelde toepassingen worden de definitieve toelaatbare spanningen dan als vermeld in tabel 2.

Tabel 1. Gemiddelde buigsterkte en E-modulus bepaald aan natte ongebruikte azobé damwandplanken.

aantal proefstukken	40	40	80
dikte in mm	60	30	60 en 30 tezamen
E-modulus (N/mm <sup>2</sup> )	19.000	16.400	17.500
$\bar{\sigma}_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	106	104	105
variatie coëfficiënt	0,17	0,12	0,15

Tabel 2. Sterkte-eigenschappen en te hanteren toelaatbare spanningen voor houten damwanden en meerpalen.

				nat hout			
				toelaatbare spanning $\bar{\sigma}_b$ in N/mm <sup>2</sup>			
houtsoort	volumieke massa winddroog kg/m <sup>3</sup>	E nat N/mm <sup>2</sup>	buigsterkte		damwand t=9/16 w=1,25	meerpaal	
			gem. $\bar{\sigma}_b$	var. coëff. v		stootbelasting t=1 w=1,25	trosbelasting t=0,8 w=1,25
Europees naaldhout	500	9.000	42 <sup>2)</sup>	0,22	13	17	14
stand. bouw. gelijmd		8.000	33 <sup>2)</sup>	0,25	10	13	10
constr. hout		10.000	—	—	— <sup>5)</sup>	20	17
hout <sup>3)</sup>		9.000	—	—	— <sup>5)</sup>	17	14
stand. bouw. }		—	—	—	—	17	14
azobé	1050	17.000	100 <sup>1)</sup>	0,15 <sup>1)</sup>	40	60	48
basralocus	800	14.000	78	0,18	30	44	35
bilinga	800	14.000	$\frac{3}{4} \cdot 1004)$	0,18 <sup>5)</sup>	29	42	34
demerara groenhart	1050	20.000	$\frac{3}{4} \cdot 1434)$	0,15	43	64	51

1) Voor azobé het gemiddelde van tabel 4 en 1.  
 2) Voor luchtdroog hout  
 3) Voor eisen met betrekking tot gelamineerd hout respectievelijk kruislaaghout: zie NEN 3852 (TGB 1972 - Hout)  
 4)  $\frac{3}{4}$  is kwaliteitsfactor  
 5) Niet bekend (gem. waarde)  
 6) Is niet van toepassing

Tabel 3 Fysische en mechanische eigenschappen in droge toestand (circa 12%)

mechanische eigenschappen

2.2.

houtsoort	volumieke massa in kg/m <sup>3</sup> droog (ca 12%)	krimping in % van natte afmeting						werking			
		nat tot droog (circa 12%)						evenwichtsvochtgehalte in % bij relatieve luchtvochtigheid van		werking van 90 tot 60% relatieve luchtvochtigheid in proc. van afm. bij 60% relatieve vochtigheid	
		kunstmatig gedroogde planken		kleine monsters		nat tot absoluut droog					
rad.	tang.	rad.	tang.	rad.	tang.	rad.	tang.	10	11	12	13
azobé	1060	4½	5½	3,7	5,9	7,0	10,2	19½	14½	1,7	2,2
basralocus	720			2,6	4,5	5,5	8,3	19½	13½	1,5	2,3
bilinga	750	2	4	2,2	4,0	4,5	8,0	20	12½	1,0	1,9
demerara groenhart	980	3	4½	2,7	3,7	8,2	9,0	16	11	1,6	2,0

mechanische eigenschappen

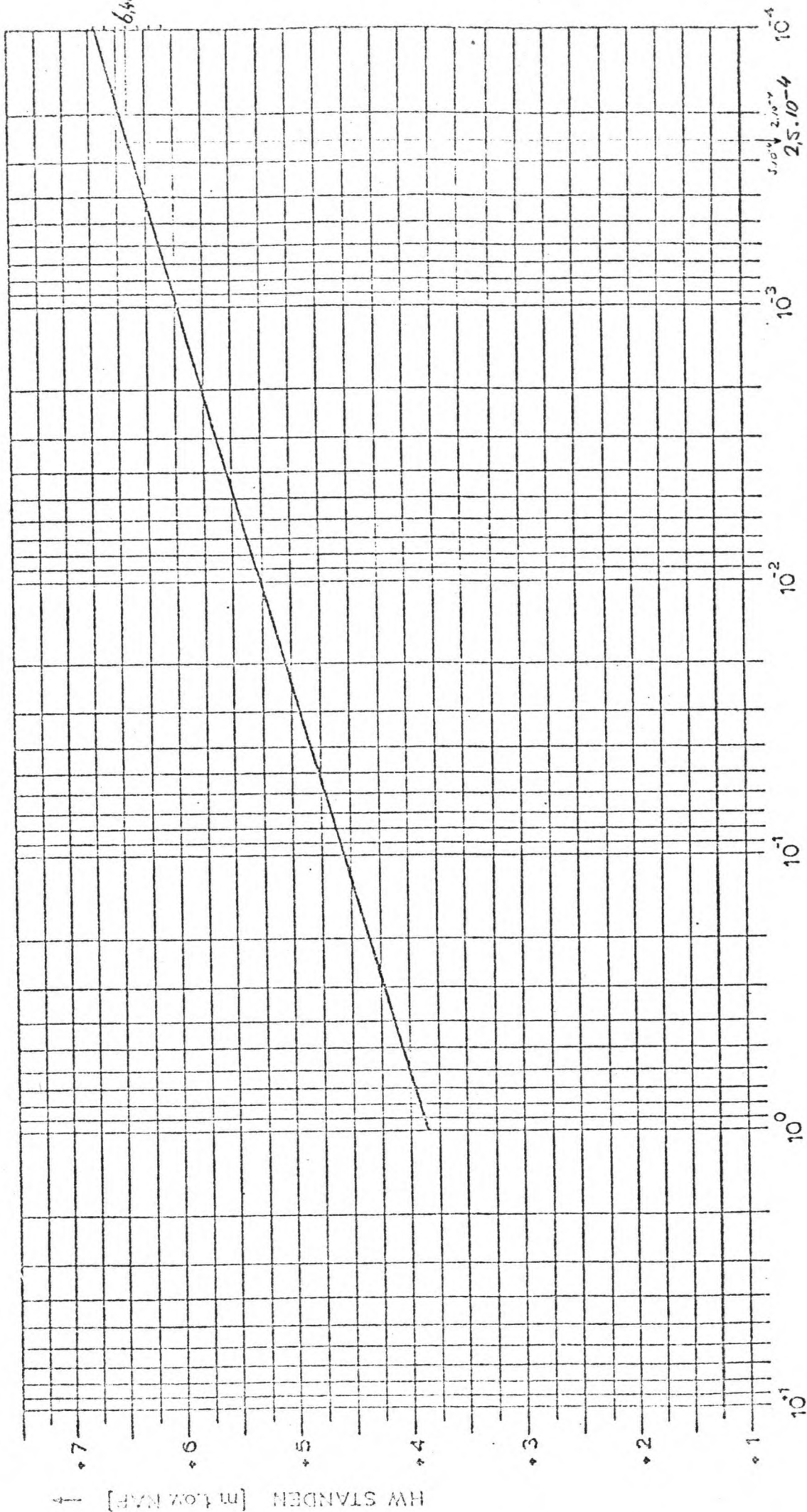
houtsoort	buigsterkte in N/mm <sup>2</sup>	elast. modulus in 1000 N/mm <sup>2</sup>	schokweerstand-klasse	druksterkte in N/mm <sup>2</sup>		afschuifsterkte in N/mm <sup>2</sup>		splijtsterkte N per mm breedte		hardheid (janka) in N		duurzaamheids-klasse
				// vezel I, vezel		rad.	tang.	rad.	tang.	overlangs	kops	
				17	18	19	20	21	22	23	24	
azobé	178	19	I	94		21		120		15200		I
basralocus	122	15,5	III	62	9	11,5		64	50	5900	7700	I
bilinga	116	14,5	IV	70		15,5		47	50	7400	9300	I
demerara groenhart	185	21,5	II	92		21		180		10700		I

B. Het betreft hier foutvrij hout van kleine afmetingen. De gegevens zijn afkomstig uit het Houtvademecum deel 4e druk, waarin verdere bronnen vermeld zijn. Tegenstelling tot wat in het Houtvademecum staat vermeld zijn hier SI-eenheden gebruikt.

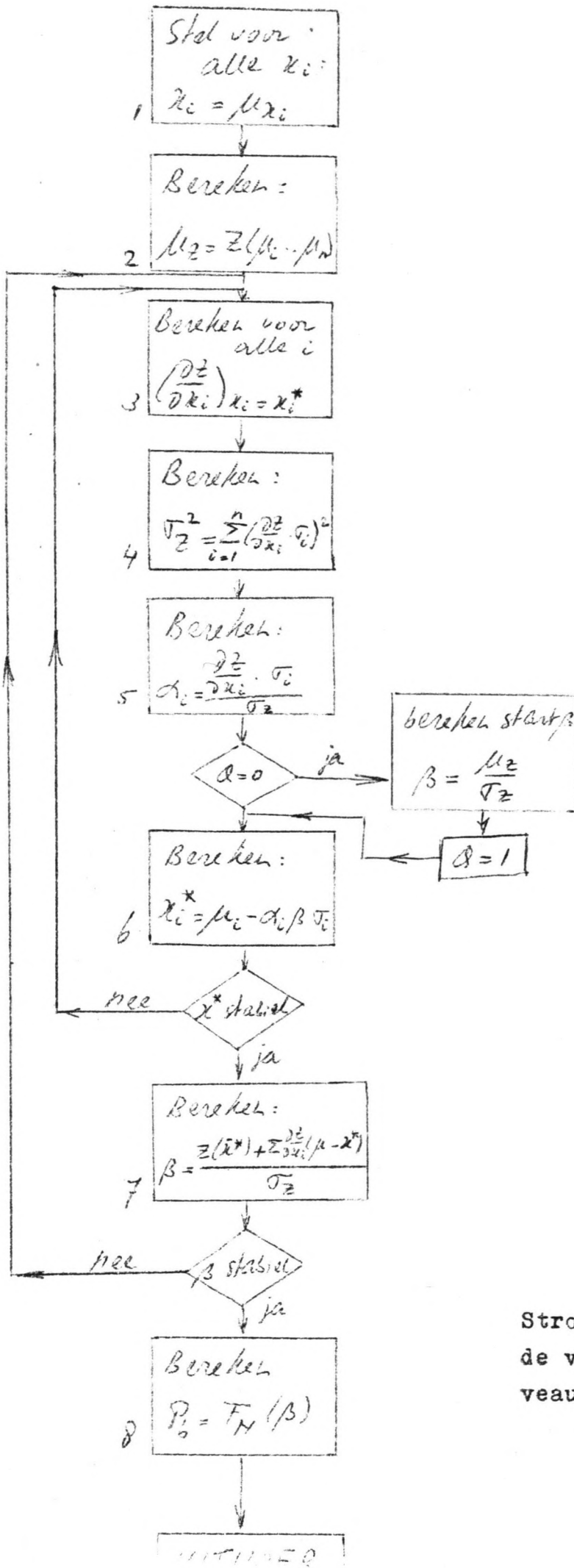
Tabel 4 Op basis van de door ir A. Govers<sup>1)</sup> verzamelde sterktecijfers berekende toelaatbare spanningen voor diverse houtsoorten in N/mm<sup>2</sup> (1 N/mm<sup>2</sup> = 10 kgf/cm<sup>2</sup>)

houtsoort	volumieke massa winddroog <sup>3)</sup> kg/m <sup>3</sup>	E nat N/mm <sup>2</sup>	buigsterkte		bouwkundige toepassingen		damwand t=9/16 w=1,25	meerpaal		opm.	
			gem. $\sigma_b$	var. coëff. v	TGB	t=9/16 w=1,5		stootbelasting t=1 w=1,25	trosbelasting t=0,8 w=1,25		
Europees naaidhout (constr. hout stand. bouwh. gelijmd constr. hout stand. bouwh.)	500	9.000	42 <sup>2)</sup>	0,22	10 <sup>2)</sup>	10 <sup>2)</sup>	13	17	14	zie tabel 2	
			8.000	33 <sup>2)</sup>	0,25	7 <sup>2)</sup>	7 <sup>2)</sup>	10	13		
			10.000	—	—	12 <sup>2)</sup>	—	—	20		16
			9.000	—	—	10 <sup>2)</sup>	—	—	17		14
azobé	1050	17.000	94	0,16	25	26	37	56	45		
basralocus	800	14.000	78	0,18	19	20	30	44	35		
bilinga	800	14.000	¾.100 <sup>4)</sup>	0,18 <sup>5)</sup>	19	20	29	42	34		
demerara groenhart	1050	20.000	¾.143 <sup>4)</sup>	0,15	30	30	43	64	51		

ir A. Govers: Working stresses for a number of wood species, Houtinstituut TNO, mei 1966  
 Voor luchtdroog hout  
 Volgens TGD 1972 - Hout  
 ¾ is kwaliteitsfactor  
 Niet bekend (gem. waarde)



rijkswaterstaat		projectcode :	
dienst - hoofdafdeling waterloopkunde		F7804C00	
OVERSCHRIJDINGSLIJN HW STANDEN WESTERSCHELDE NABIJ		notitie DDWT 61.223 bijlage 2	
DATH		din A4 nr. 81W0014	



Stroomschema voor de verfijnde niveau-II berekening.

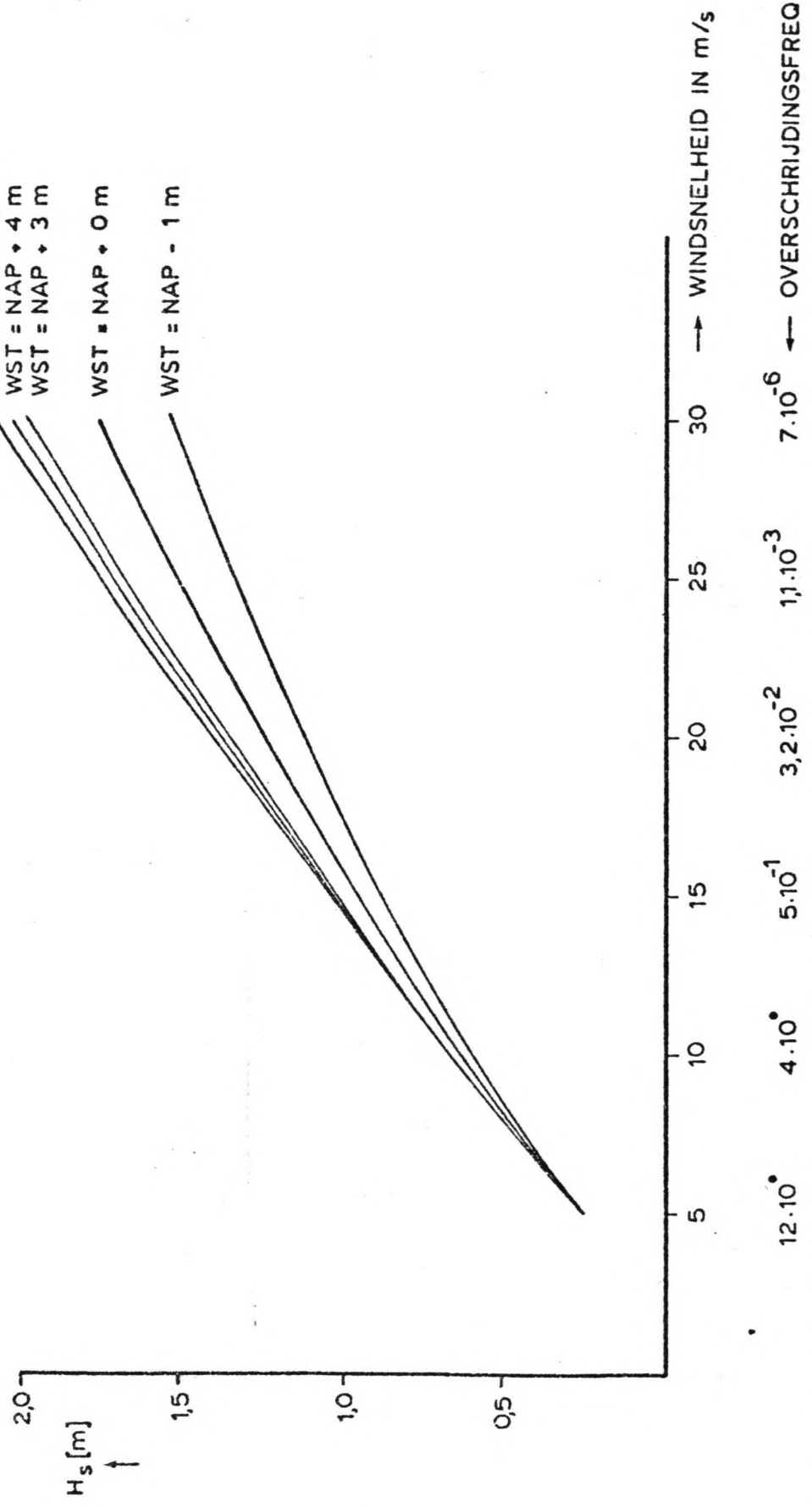


WINDRICHTINGSSECTOR 225° - 255° (RAAI 252°)

WST = NAP + 5 m  
 WST = NAP + 4 m  
 WST = NAP + 3 m

WST = NAP + 0 m

WST = NAP - 1 m



rijkswaterstaat dienst - hoofdafdeling waterloopkunde	getekend	accoord	projectcode :
	r.v.		F7804C00
BEREKENDE SIGNIFICANTE GOLFHOOGTEN VAN DE WESTER- SCHELDE - ZIJDE VAN DE SPUISLUIS	notitie DDWT 81.223 bijlage 4		
	din A 4	nr.	81W0015

Registratie van de minimum watertemperaturen van de Westerschelde bij Bath, over de jaren 1957-1979.

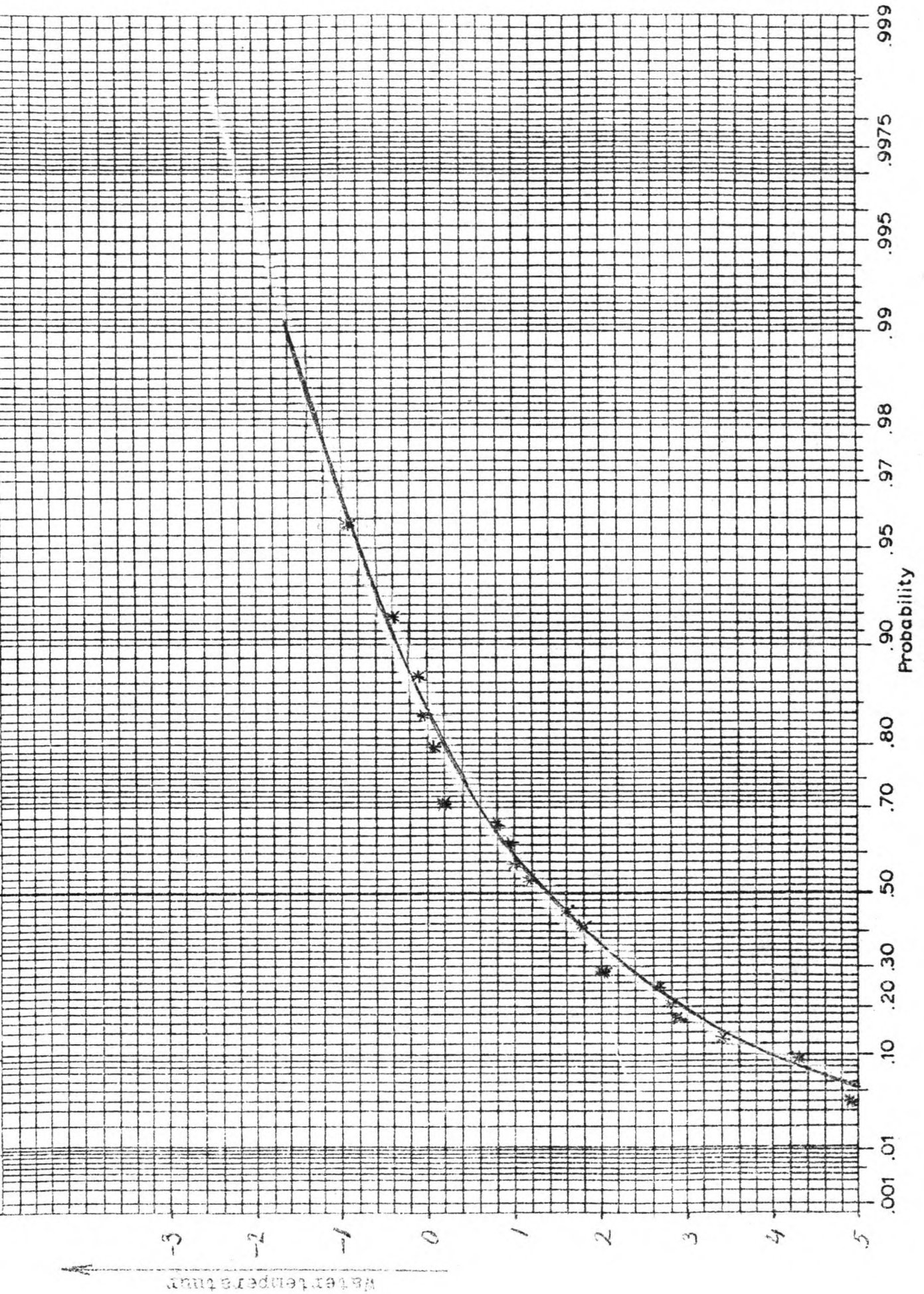
(Bron: lit. 24)

jaar	temp. °C
1957	2,6
1958	2,8
1959	0,8
1960	1,6
1961	1,0
1962	-0,1
1963	-0,9
1964	0,9
1965	1,8
1966	-0,4
1967	1,9
1968	0,2
1969	0,1
1970	0,1
1971	1,2
1972	1,9
1973	3,4
1974	4,3
1975	4,9
1976	2,0
1977	2,9
1978	1,2
1979	0,0

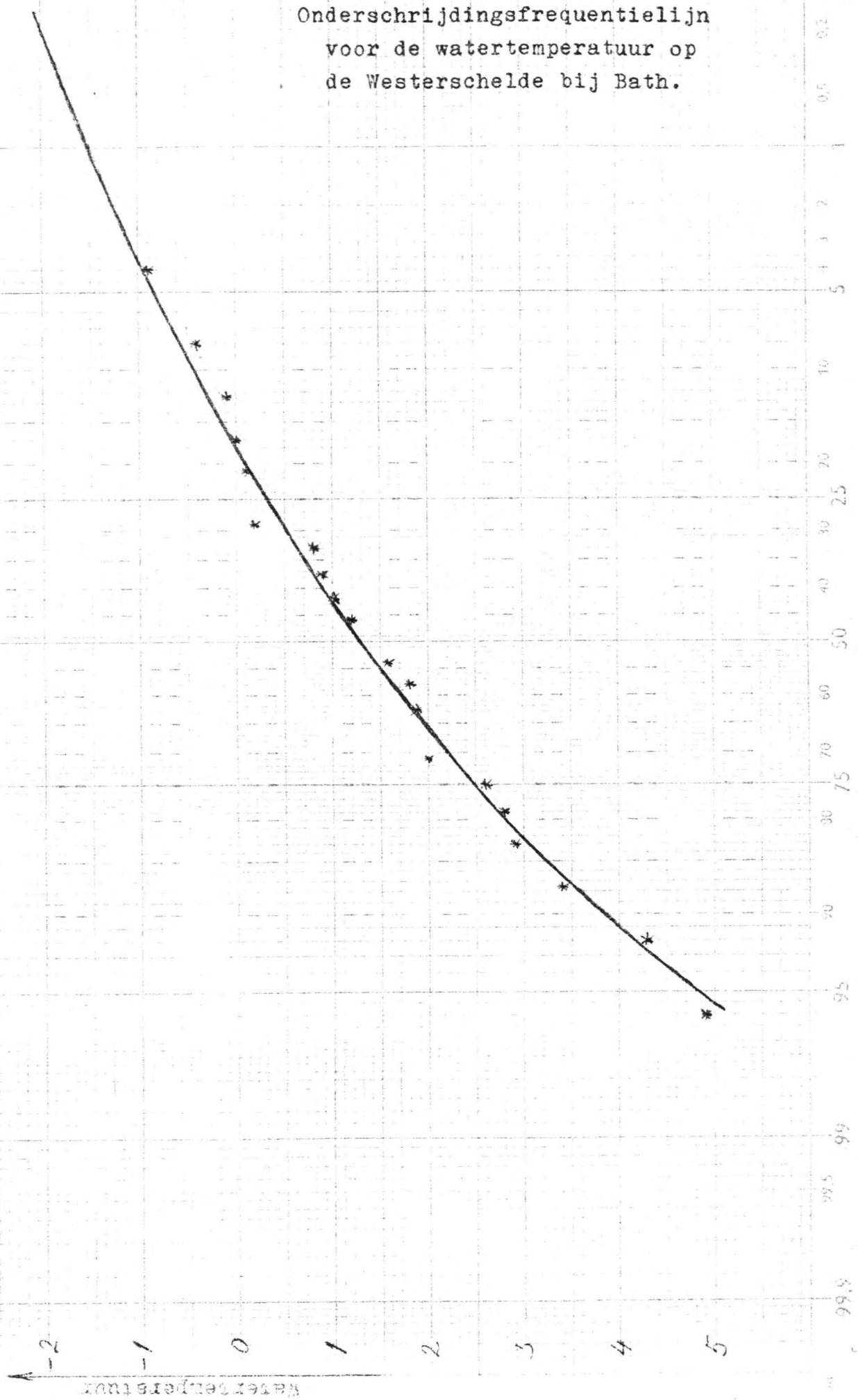
De minimum watertemperaturen, gerangschikt naar grootte, met de bijbehorende onderschrijdingsfrequentie.

freq. %	temp. °C
96	4,9
92	4,3
88	3,4
83	2,9
79	2,8
75	2,6
71	2,0
63	1,9
58	1,8
54	1,6
46	1,2
42	1,0
38	0,9
33	0,8
29	0,2
21	0,1
17	0,0
13	-0,1
8	-0,4
4	-0,9

Gumbel-onderschrijdingsfrequentielijn voor de watertemperatuur op de Westerschelde bij Bath.



Onderschrijdingsfrequentielijn  
voor de watertemperatuur op  
de Westerschelde bij Bath.



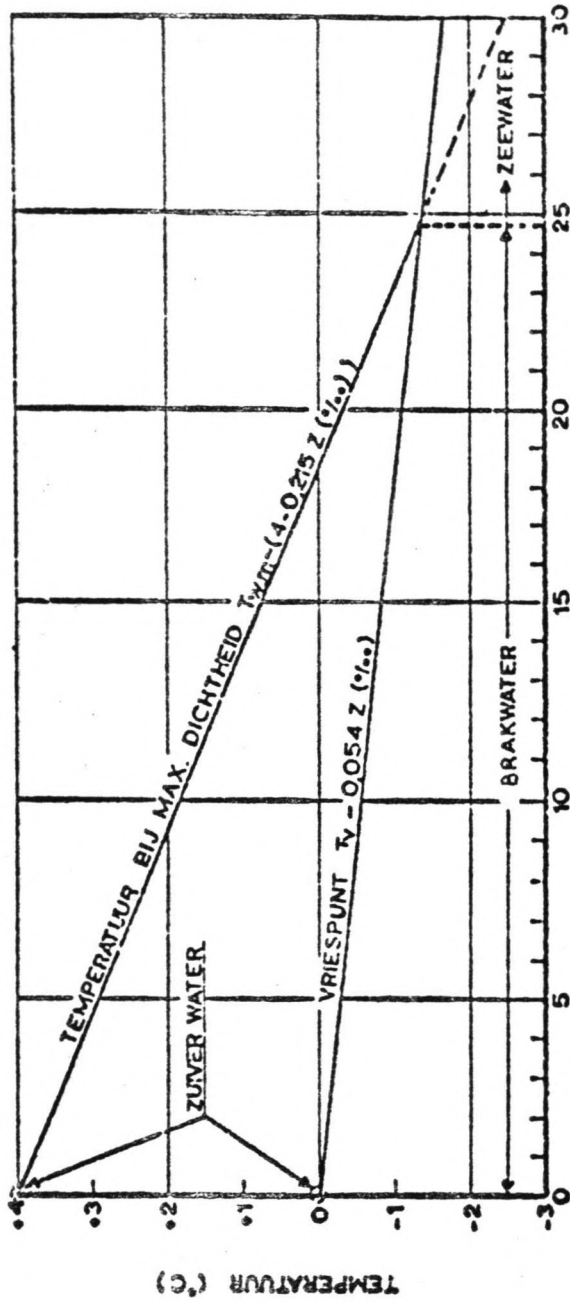


fig. 2.5a  
 TEMPERATUUR WATER BIJ MAX. DICHTHEID EN VRIESPUNTEMPERATUUR  
 ALS FUNCTIE VAN ZOUTGEHALTE

(Bron: lit. 25)

Tabel met gebruikte faalkansen en faalsnelheden

component	manier van falen	mediaan	bovengrens	ondergrens	bronvermelding
diesel	startfout	$3 \times 10^{-2}$ /vraag	$10^{-2}$ /vraag	$10^{-1}$ /vraag	WASH-1400 1)
	valt af na start	$3 \times 10^{-3}$ /uur	$3 \times 10^{-4}$ /uur	$3 \times 10^{-2}$ /uur	"
pomp incl. motor	startfout	$10^{-3}$ /vraag	$3 \times 10^{-4}$ /vraag	$3 \times 10^{-3}$ /vraag	WASH-1400
	valt af na start	$3 \times 10^{-5}$ /uur	$3 \times 10^{-6}$ /uur	$3 \times 10^{-4}$ /uur	"
transformator	kortsluiting	$1 \times 10^{-6}$ /uur	$3 \times 10^{-7}$ /uur	$3 \times 10^{-6}$ /uur	WASH-1400
kabel	breuk	$10^{-8}$ /uur meter			IEEE 2) SRS 3)
schakelaar	werkt niet	$10^{-5}$ /vraag	$3 \times 10^{-5}$ /vraag	$3 \times 10^{-5}$ /vraag	WASH-1400
handbediend					
schakelaar	werkt niet	$10^{-4}$ /vraag	$3 \times 10^{-5}$ /vraag	$3 \times 10^{-4}$ /vraag	WASH-1400
elektr. bediend	spontaan open	$10^{-7}$ /uur	$3 \times 10^{-8}$ /uur	$3 \times 10^{-7}$ /uur	"
spanningsrail	sluiting met aarde	$4 \times 10^{-8}$ /uur			SRS
drukschakelaar	werkt niet	$10^{-4}$ /vraag	$3 \times 10^{-5}$ /vraag	$3 \times 10^{-4}$ /vraag	WASH-1400
terugslagklep	opent niet	$10^{-4}$ /vraag	$3 \times 10^{-5}$ /vraag	$3 \times 10^{-4}$ /vraag	WASH-1400
	lekkage	$10^{-8}$ /uur	$10^{-9}$ /uur	$10^{-7}$ /uur	"
afsluiter (motor bediend)	sluit na geopend te zijn	$10^{-4}$ /vraag	$3 \times 10^{-5}$ /vraag	$3 \times 10^{-4}$ /vraag	WASH-1400
	raakt verstopt	$3 \times 10^{-7}$ /uur	$10^{-7}$ /uur	$10^{-6}$ /uur	"
	lekkage	$10^{-8}$ /uur	$10^{-9}$ /uur	$10^{-7}$ /uur	"
keuzeventiel	schakelt niet	$3 \times 10^{-4}$ /vraag	$10^{-4}$ /vraag	$10^{-3}$ /vraag	eigen bron
	lekkage	$10^{-8}$ /uur	$10^{-8}$ /uur	$10^{-7}$ /uur	"
veiligheidsventiel	opent niet	$10^{-5}$ /vraag	$3 \times 10^{-6}$ /vraag	$3 \times 10^{-5}$ /vraag	WASH-1400
	opent voortijdig	$10^{-5}$ /uur	$3 \times 10^{-6}$ /uur	$3 \times 10^{-5}$ /uur	"
	lekkage	$10^{-8}$ /uur	$10^{-9}$ /uur	$10^{-7}$ /uur	"
hogedrukslang	lek of breuk	$4 \times 10^{-5}$ /uur			Green and Bourne 4)
pijpleiding	lek of breuk	$10^{-9}$ /uur	$3 \times 10^{-11}$ /uur	$3 \times 10^{-8}$ /uur	WASH-1400
cilinder	lek of breuk	$10^{-7}$ /uur			Green and Bourne
meters, accu's	lekkage	$10^{-8}$ /uur	$10^{-9}$ /uur	$10^{-7}$ /uur	WASH-1400
schakelaars e.d.					
overdrukbeveiligingsklep	voortijdig open	$10^{-6}$ /uur			eigen bron
reservoir	lek of breuk	$10^{-7}$ /uur			Green and Bourne

Literatuur

1) Reactor Safety Study WASH-1400 (4)  
USNRC, October 1975

2) IEEE The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (6)

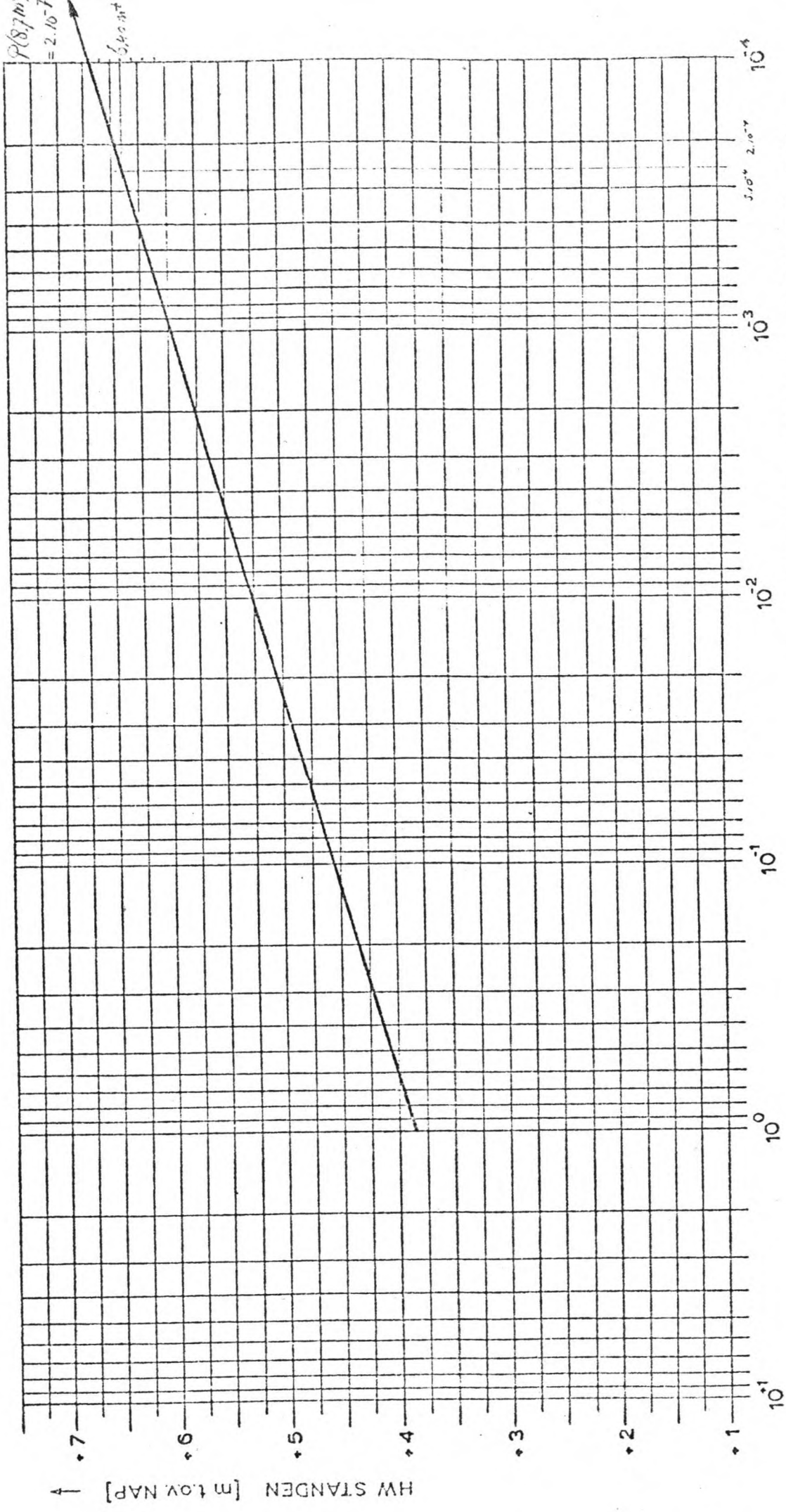
3) Systems Reliability Service Databank, U.K. (8)

4) Reliability Technology (9)

A.E. Green

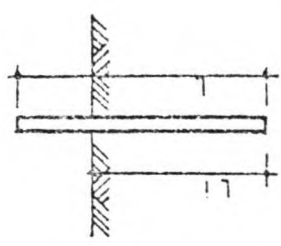
A.J. Bourne

London 1972



← OVERSCHRIJDINGSFREQ. IN KEREN PER JAAR

rijkswaterstaat dienst - hoofdafdeling waterloopkunde	getekend	accoord	projectcode : F7804C00
	r.v.	notitie DDWT 61223	bijlage 2
OVERSCHRIJDINGSLIJN HW STANDEN WESTERSCHELDE NABIJ BATH	din A 4	nr. 81W0014	

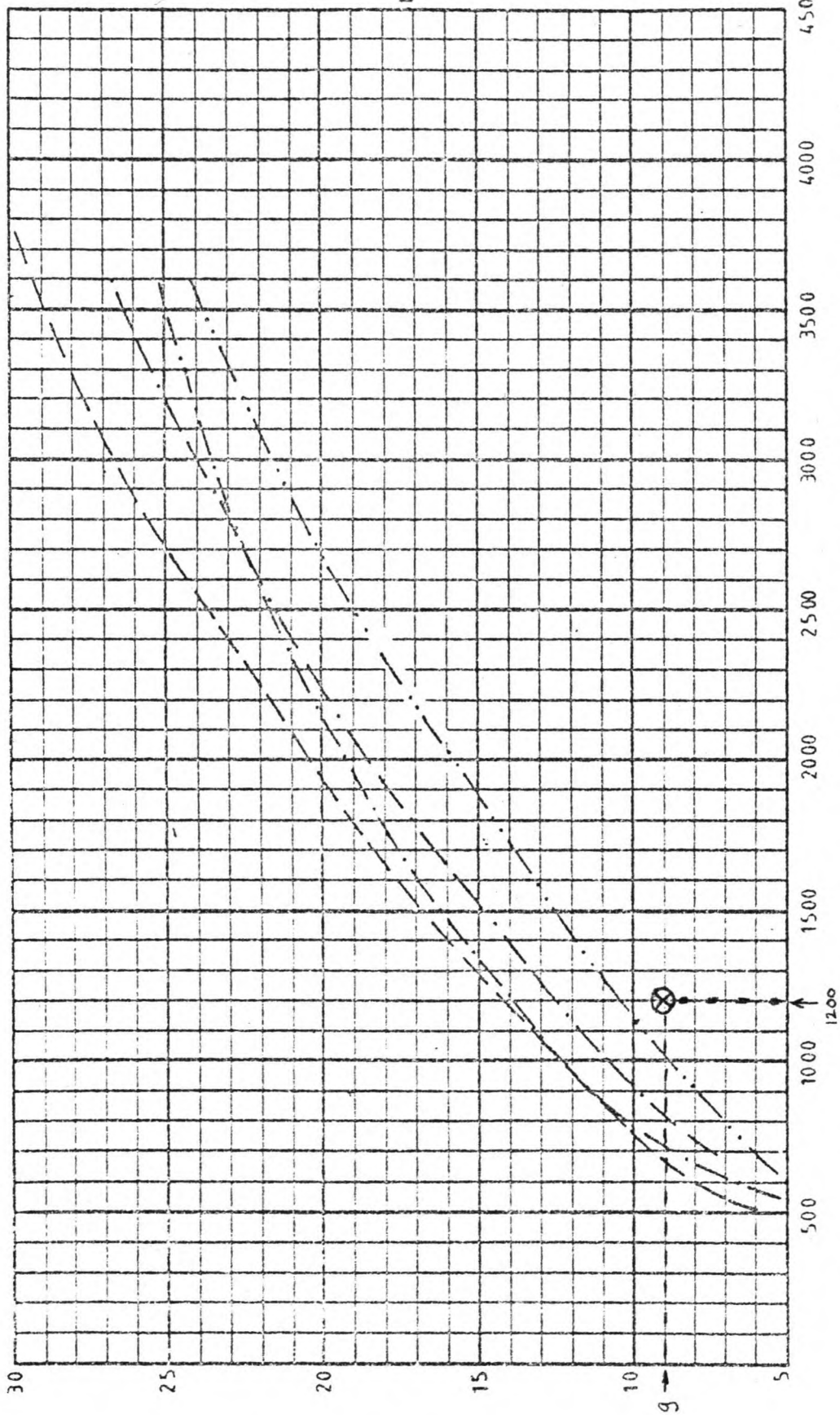


BELVAL Z-PROFIEL

V MIN = 2 MM

LARSSEN U-PROFIEL

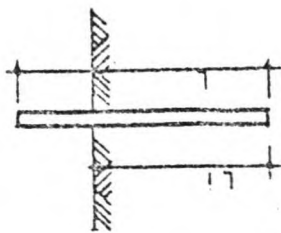
V MIN = 4 MM



- MIN. BEN W TOV LI VOIGENS OPGAVE FABRIKANTEN (ZIE STICHTING BOUWRESEARCH NR 48, BLZ 18).
- VOORSTEL VOOR BOVENGRENS LARSSEN PROFIEL, CONUS WEERSTAND  $\leq 10$  N/MM<sup>2</sup>
- VOORSTEL VOOR BOVENGRENS LARSSEN PROFIEL, CONUS WEERSTAND  $> 20$  N/MM<sup>2</sup>
- VOORSTEL VOOR BOVENGRENS BELVAL PROFIEL, CONUS WEERSTAND  $\leq 10$  N/MM<sup>2</sup>
- VOORSTEL VOOR BOVENGRENS BELVAL PROFIEL, CONUS WEERSTAND  $> 20$  N/MM<sup>2</sup>
- VOORSTEL VOOR BOVENGRENS VAN I.R.D. DE ROVER IN GEVAL VAN GROTE GRONDWEERSTAND (STICHTING BOUW-RESEARCH NR 48)
- BOVENGRENS ZOALS AANGEGEVEN DOOR IR H.W.J. RIETHOFF (B.V. CONUS WEERSTAND  $> 10$  N/MM<sup>2</sup>).

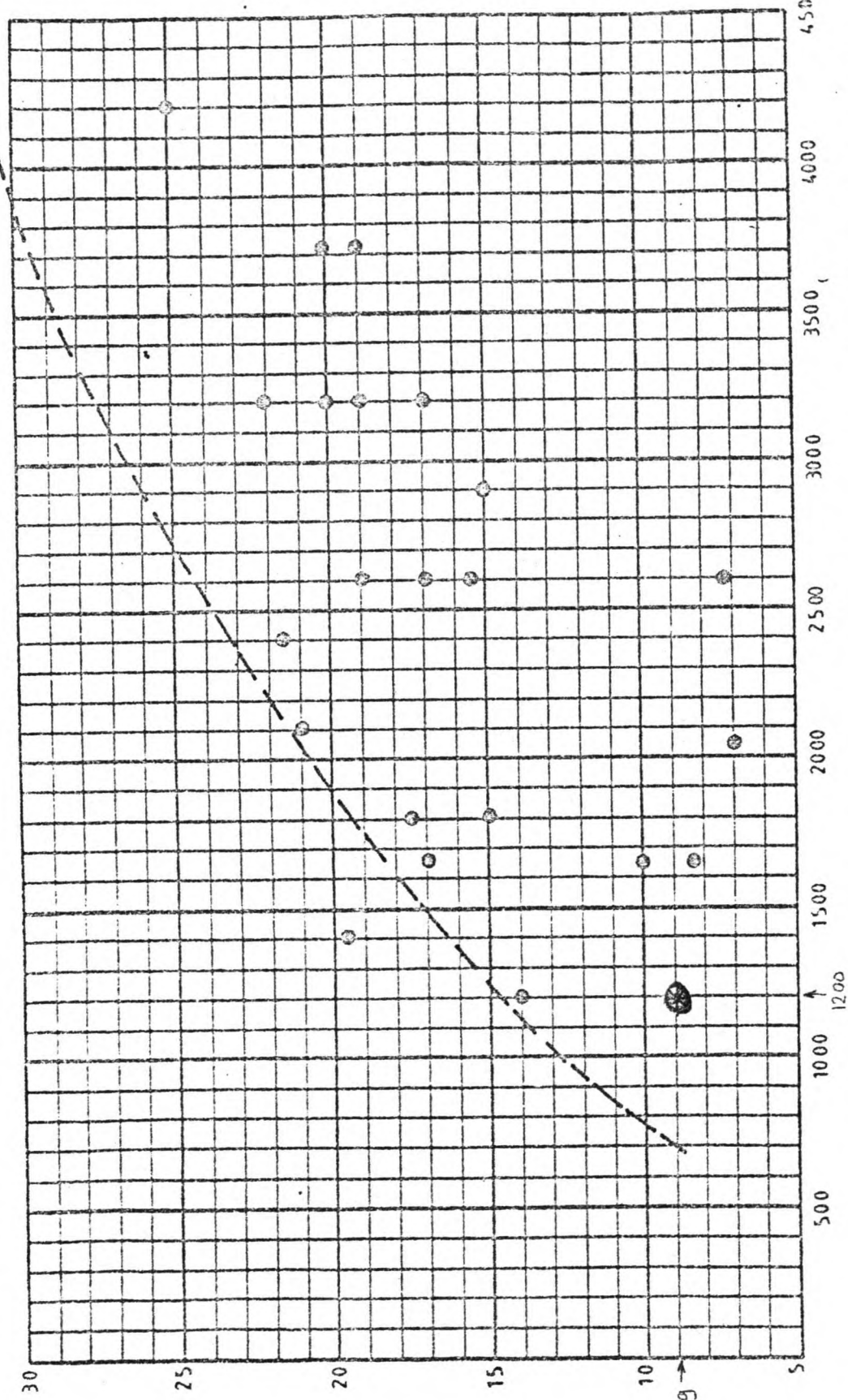
11 (M)





DAMWANDPROFIEL  
BEL VAL

V MIN. = 2 MM.

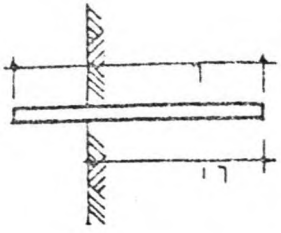


--- MIN. BEN W 10V LI VOIGENS OPGAVE FABRIKANTEN (ZIE STICHTING BOUWRESEARCH NR. 48 BLZ. 18)

● WERKEN MET NAGENOEG GEEN UIT HET SLOT GELOPEN PLANKEN.  
(CONUSWEERSTAND < 10 N/MM<sup>2</sup>)

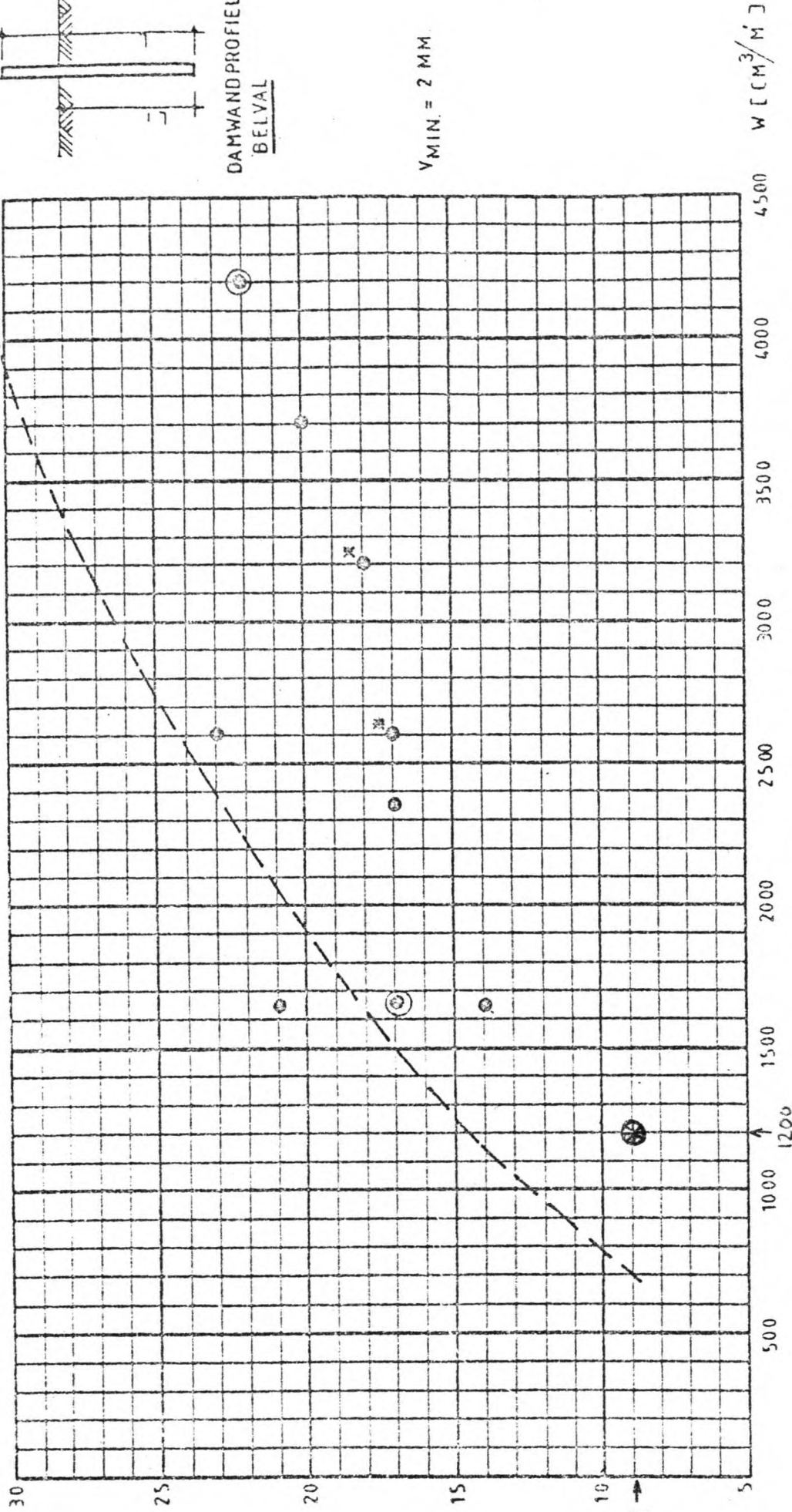
[m] ↑

W [m<sup>3</sup>/m]



DAMWANDPROFIEL  
BELVAL

$V_{MIN} = 2 \text{ MM}$

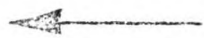


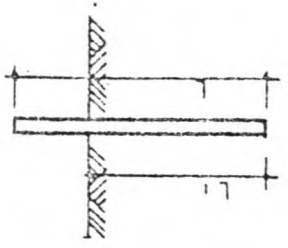
--- MIN BEN W TOV Lj VOIGENS OPGAVE FABRIKANTEN (ZIE STICHTING BOUWRESEARCH NR.48 BLZ. 18)

⊗ WERKEN MET MINDER DAN 2% UIT HET SIOT GELOPEN PLANKEN.  
(CONUSWEERSTAND  $\leq 10 \text{ N/MM}^2$ )

○ HOGE CONUSWEERSTAND  $> 20 \text{ N/MM}^2$  /GRINDLAGEN. \* PROFIEL MEERDERE KEREN GEBRUIKT.

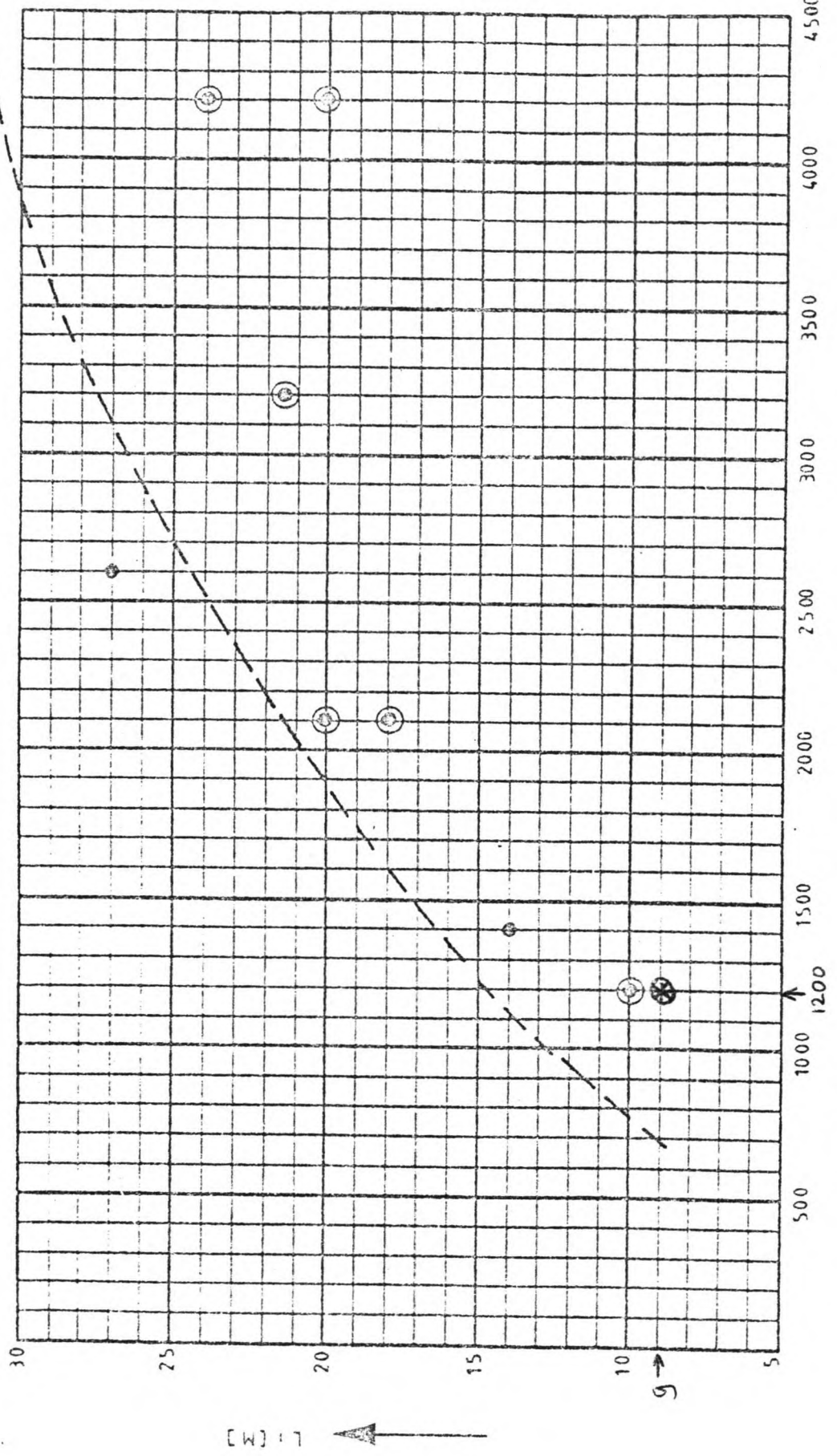
[ 3 ] 17





DAMWAND PROFIEL  
BELVAL

V MIN. = 2 MM.



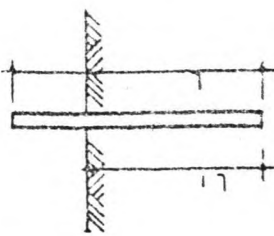
--- MIN. BEN. W 10V Li VOIGENS OPGAVE FABRIKANTEN (ZIE STICHTING BOUWRESEARCH NR 48, BLZ. 18)

● WERKEN MET TUSSEN DE 2 EN 4% UIT HET SLOT GELOPEN PLANKEN.  
(CONUSWEERSTAND  $\approx$  10N/MM<sup>2</sup>)

○ HOGE CONUSWEERSTAND > 20 N/MM<sup>2</sup> / GRINDLAGEN.

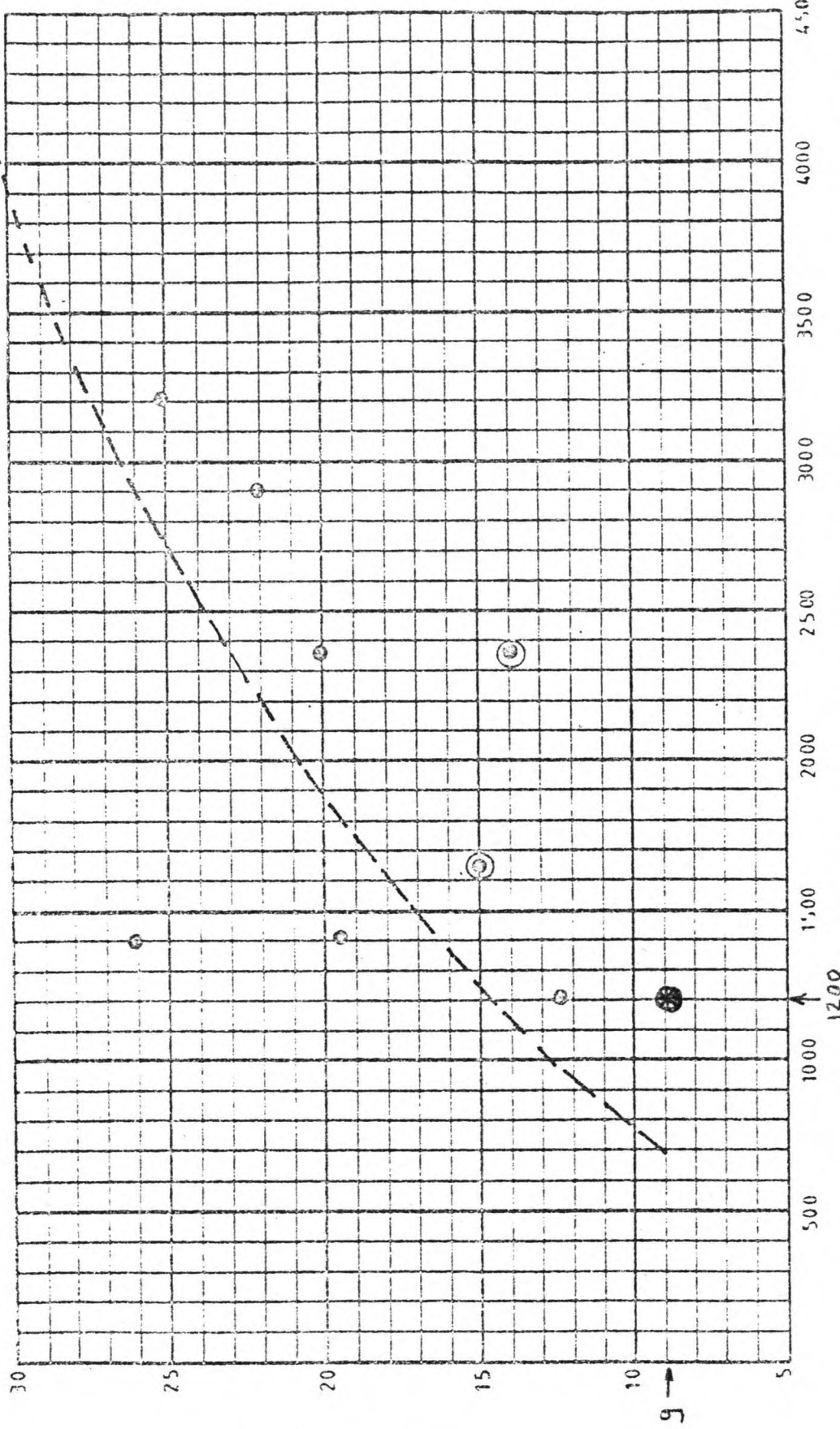
L [M]

W [(M<sup>3</sup>/M)]



DAMWANDPROFIEL  
BELVAL

$V_{MIN} = 2 \text{ MM}$



MIN BEN W 10V LI VOLGENS OPGAVE FABRIKANTEN (ZIE STICHTING BOUWRESEARCH NR 48, BLZ 18)

● WERKEN MET MEER DAN 4% UIT HET SLOT GELOPEN PLANKEN.  
(CONUSWEERSTAND  $\leq 10 \text{ N/MM}^2$ )

○ HOGE CONUSWEERSTAND  $> 20 \text{ N/MM}^2$  / GRINDLAGEN

### Foutenboom 9

**9**  
bodemverdediging  
faalt

(anders dan wegens debiet door een afsluitopening)

voortschrijdende instabiliteit v.d. ondergrond aan de zee-zijde

voortschrijdende instabiliteit v.d. ondergrond aan de oostersch.-zijde

**9b**  
konform 9a.

**9a**

ontgronding onder bodemverdediging

ontgronding t.p.v. beëindiging v.d. bodemverdediging

hor. transport van bodemmat.  $\equiv$  oplichten van bodemverdediging

vertikaal transport v. bodem-materiaal

lengte bodemverdediging onvoldoende

belasting > verwacht

eigenschappen bodemmateriaal slechter dan verwacht

belasting > verwacht

gewicht onvoldoende

filtersigenschappen onvoldoende

uitvoering fout

ontwerp fout

uitvoering fout

ontwerp fout

instabiliteit van de stenen

gewicht < verwacht

belasting > verwacht

debiet door afsluitopening (weigerende schuif)

