

**zandsluiting tholensche gat
ontwerpnota**



MINISTERIE VAN VERKEER EN WATERSTAAT

RIJKSWATERSTAAT
DELTADIENST

ZANDSLUITING THOLENSCHE GAT
ONTWERPNOTA

Nota DD.WWO 83-20.015

Bergen op Zoom, 30 december 1983

INHOUDSOPGAVE

	<u>Blz.</u>	
1	Inleiding	5
	1.1 Voorgeschiedenis	5
	1.2 Aanpak ontwerp zandsluiting Tholensche Gat	6
2	Uitgangspunten	9
	2.1 Stormvloedkering	9
	2.2 Tijdschema	9
	2.3 Gebruik modellen	10
	2.4 Voltooiing damvak	10
	2.4.1 Inleiding	10
	2.4.2 Kruinhoogte	10
	2.4.3 Dwarsprofiel	11
	2.4.4 Gloomingskonstrukties	11
	2.4.5 Ontwerptekeningen damvak	12
3	Randvoorwaarden	13
	3.1 Geometrie sluitgat en grondlagenopbouw	13
	3.2 Hydraulische gegevens	16
	3.2.1 Overschrijdingsfrequentielijnen voor hoogwater- standen	16
	3.2.2 Onderschrijdingsfrequentielijnen voor laagwater- standen	16
	3.2.3 Gemiddelde hoog- en laagwaterstanden	18
	3.2.4 Sluitgatparameters	18
	3.2.5 Snelheden als functie van het doorstroomprofiel	19
	3.2.6 Stroombeeldgegevens	21
	3.2.7 Golfrandvoorwaarden	23
	3.3 Materiaal	25
	3.3.1 Zandwinplaats	25
	3.3.2 Zandkarakteristiek	28
	3.4 Materieel	30
	3.4.1 Capaciteiten/beschikbaarheid	30
	3.4.2 Benodigde kruinbreedte van de sluitkade tijdens de opbouw	31
	3.4.3 Werkbaarheid	33
	3.5 Vorst/ijsgang/mist/watertemperatuur	33
4	Ontwerp Zandsluiting	35
	4.1 Inleiding	35
	4.2 Methode van zandverliesberekeningen	35
	4.3 Sluitingsvarianten	36
	4.4 Ontwerp van de sluitkade	37
	4.4.1 Dwarsprofiel	37
	4.4.2 Stortprofiel	39
	4.4.3 Ontwerptekeningen sluitkade	39
	4.5 Manipulatie van de stormvloedkering	39
	4.6 Keuze van de zuigerproductie	41
	4.7 Resultaten van de zandsluitingsberekeningen	41

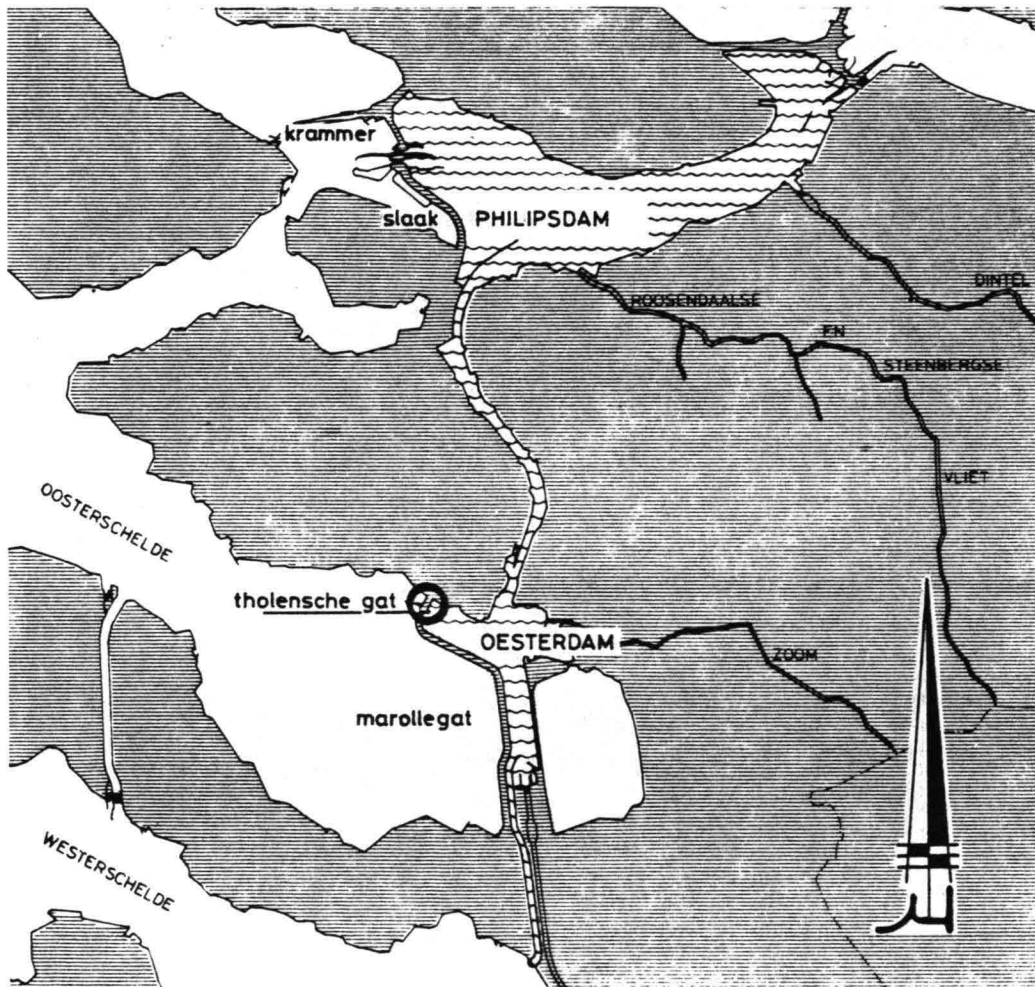
	Blz.
4.8 Erosie in de omgeving van het sluitgat	44
4.9 Grondmechanische aspecten	44
4.9.1 Algemeen	44
4.9.2 Macro-stabiliteit	45
4.9.3 Micro-stabiliteit	48
4.9.4 Afschuivingen en zettingsvloeiingen	49
4.9.5 Interne erosie	49
4.9.6 Zetting en klink	50
5 Uitvoering	52
5.1 Sluitkade	52
5.2 Afwerken damvak	54
5.3 Uitvoeringsduur	54
6 Risiko analyse	56
6.1 Inleiding	56
6.2 Foutenbomen	56
6.2.1 De hoofd-foutenboom	56
6.2.2 Grenstoestanden en foutenboom voor bezwijken	57
6.2.3 Analyse en foutenbomen uitvoeringssysteem	60
6.2.4 Beïnvloeding door externe factoren	62
6.3 Kwantificering foutenbomen	62
6.3.1 Algemeen	62
6.3.2 Grenstoestanden bouwfasen	63
6.3.3 Kalamiteus falend materieel	64
6.4 Uitlooptijd bij planmatige uitvoering	67
6.4.1 Inleiding	67
6.4.2 Spreiding in parameterwaarden	67
6.4.3 Probabilistische berekeningen	69
6.4.4 Combinatie falend materieel en tegenvallende uitvoeringsduur	72
6.5 Falen van de stormvloedkering	73
6.6 Gekwantificeerde hoofd-foutenboom, totale faalkans en konklusies	73
7 Milieu, visserij, scheepvaart en waterhuishouding	75
7.1 Milieu	75
7.2 Visserij	75
7.3 Scheepvaart	75
7.4 Waterhuishouding	75
8 Overige aspecten	77
8.1 Begeleiding van de uitvoering	77
8.2 Verrekeningswijze en aanbestedingsvorm	77
8.3 Mogelijkheden tot optimalisatie	77

	<u>Blz</u>
9 Samenvatting	78
9.1 Inleiding	78
9.2 Ontwerp aanpak	78
9.3 Uitgangspunten en randvoorwaarden	79
9.4 Ontwerp van de zandsluiting	79
9.5 Manipulatie van de stormvloedkering	80
9.6 Keuze van de produktie	80
9.7 Resultaten zandsluitingsberekeningen	80
9.8 Erosie in de omgeving van het sluitgat	81
9.9 Uitvoeringsaspecten	81
9.10 Risiko analyse	81
9.11 Milieu, visserij, scheepvaart en waterhuishouding	82
9.12 Overige aspecten	82
Literatuuropgave	83
Symbolenlijst	85
Overzicht van bijlagen en fotoverantwoording	86

1 INLEIDING

1.1 Voorgeschiedenis

De sluiting van de compartimenteringsdammen is reeds geruime tijd onderwerp van studie. De besluitvorming betreffende de toe te passen sluitingstechnieken heeft parallellopend aan de ontwikkeling van het inzicht in de mogelijkheden, stapsgewijs plaatsgevonden.



figuur 1.1.1 Overzicht compartimenteringswerken

In eerste instantie is uitgegaan van sluitingen bij het volle getij om zodoende niet afhankelijk te zijn van het gereedkomen van de stormvloedkering. In de nota "Sluitingsmiddelen" (lit. 1) is een aantal alternatieve sluitingstechnieken onderling vergeleken. Op grond hiervan is besloten om zowel bij het Tholensche Gat als bij het Krammer een geleidelijke verticale sluiting toe te passen met behulp van betonblokken. Deze methode was financieel aantrekkelijk omdat hierbij gebruik zou kunnen worden gemaakt van een gedeelte van de hulpbrug bij de stormvloedkering.

In tweede instantie (in 1980) is besloten om de sluitingen te laten plaatsvinden in de periode dat het getij op de Oosterschelde door de bouw van de stormvloedkering wordt gereduceerd (lit. 2). Deze reductie wordt pas goed voelbaar tijdens het plaatsen van de dorpelbalken. Door de verlaging van de stroomsnelheden, veroorzaakt door de reductie van het getij en door de thans reeds gerealiseerde afsluiting van het Markiezaat is het mogelijk om in het Tholensche Gat eerst een drempel op te werpen van goedkope materialen zoals b.v. zand of mijnsteen en vervolgens daarop een geleidelijke verticale sluiting te realiseren. Besloten werd om deze sluiting eind 1986 uit te voeren met stortsteen en met behulp van een varend bedrijf.

De derde stap in de besluitvorming betrof alleen de Philipsdam. In 1982 werd besloten om het Krammer met behulp van zand te sluiten. Dit is alleen mogelijk als gebruik wordt gemaakt van de stormvloedkering om het getij zo te beïnvloeden dat de stroomsnelheden in het sluitgat, vooral tijdens de kritieke fase van de sluiting, in voldoende mate kunnen worden beheerst. Ook deze stap in de besluitvorming betekent, evenals de voorgaande, een aanzienlijke verlaging van de kosten.

Het laatste besluit tot op heden is genomen medio 1983. De Minister heeft toen besloten om de sluiting van de Philipsdam te verschuiven van eind 1986 naar medio 1987 om zodoende een verlichting van de jaarlijkse financiële lasten te bewerkstelligen. Van belang is hierbij dat het sluitingstijdstip van de Oesterdam niet is gewijzigd. Door de reductie van het getij ten gevolge van de bouw van de stormvloedkering wordt vooral de kom van de Oosterschelde kwetsbaarder voor zoetwaterinvloeden in perioden van zware regenval, en voor het zoetwaterbezwaar via de Kreekraksluizen. Door een tijdige aanleg van de Oesterdam wordt de kom van de Oosterschelde afgeschermd voor de genoemde invloeden en wordt bovendien het getijverschil vergroot.

In lit. 2 is de mogelijkheid van een zandsluiting van het Tholensche Gat onderzocht. Hierbij is uitgegaan van een manipulatie van de stormvloedkering, om het getij zo te beïnvloeden dat de stroomsnelheden in het sluitgat tijdens de kritieke fase van de sluiting kunnen worden beheerst.

De voorliggende nota beschrijft het ontwerp en de uitvoering van de zandsluiting van het Tholensche Gat eind 1986 als alternatief op de steensluiting van het Tholensche Gat.

De studie omvat tevens een risico analyse met als doel inzicht te krijgen in de grootte en de aard van de risico's om zodoende het ontwerp te kunnen bijstellen en de kostenraming te kunnen opstellen.

1.2 Aanpak ontwerp zandsluiting Tholensche Gat

De zandsluiting van het Tholensche Gat komt in feite neer op het horizontaal uitbouwen van een sluitkade met minimale afmetingen vanaf één of beide oevers. Daarbij nemen de snelheden in het sluitgat toe, naarmate het doorstroomprofiel kleiner wordt. Een deel van het zand zal, vanwege de getijstrooming door het sluit-

gat, worden afgevoerd, voordat het zich heeft kunnen afzetten; dit wordt het stortverlies genoemd. In het deel van het sluitgat, dat niet tot het stort wordt gerekend, zal eveneens erosie optreden; dit wordt het bodemverlies genoemd.

De hoeveelheid zand, die nodig is om de sluitkade te maken, hangt af van het netto volume van de kade (dus van taluds, kruinhoogte, kruinbreedte en sluitgatgeometrie) en van de optredende zandverliezen. De zandverliezen zijn afhankelijk van de hydraulische belasting (vooral snelheden), de eigenschappen van het zand (kornreldiameter en het percentage fijn materiaal of verontreiniging), de oppervlakten van het stort en van de bodem, de weerstand van de bodem tegen uitschuring en voorts van de capaciteit, waarmee het zand op het stort wordt aangevoerd. De produktie van het zandbedrijf is overigens bepalend voor de benodigde kruinbreedte, en dus medebepalend voor het volume van de sluitkade.

De sluiting van het Tholensche Gat gaat gepaard met lokaal toenemende snelheden. Tot deel van het ontwerp wordt gerekend het nagaan of deze snelheden tot ongewenste ontgrondingen en eventueel instabiliteiten van de oevers kunnen leiden, en het zonodig ontwerpen van verdedigingen.

Van belang hierbij is dat het Tholensche Gat ter weerszijden wordt begrensd door steile oevers, waarvan de oever aan het werkeiland Oesterdam bovendien zettingsvloeiingsgevoelig is (dit geldt overigens ook voor de sluitkade zelf).

Voor het ontwerp van de zandsluiting zijn in principe de volgende varianten mogelijk:

- a) sluiten vanaf de noordzijde;
- b) sluiten vanaf de zuidzijde;
- c) sluiten vanaf beide zijden.

In par. 4.3 worden deze varianten met elkaar vergeleken en wordt de keuze gemaakt voor een zandsluiting vanaf twee zijden.

De zandverliezen worden berekend met het programma ZANDSOM, dat is gebaseerd op de zandtransportformule van Morra-Kalinske. Deze rekentechniek is bij eerdere zandsluitingen toegepast. Door een risico analyse met betrekking tot de belangrijkste parameters uit de berekening is nagegaan welke onzekerheden aan de zandsluitingsberekening zijn verbonden.

De hydraulische randvoorwaarden in het sluitgat kunnen worden beïnvloed door het beheer van de stormvloedkering. Door het manipuleren met de schuiven van de stormvloedkering is het mogelijk het getij te vervormen.

Deze mogelijkheid om het getij te beïnvloeden is wezenlijk voor de zandsluiting van het Tholensche Gat. Zonder gebruik van de stormvloedkering is een zandsluiting uitgesloten. In tegenstelling tot de manipulatiemogelijkheden van de stormvloedkering tijdens de sluiting van het Krammer, wordt bij de zandsluiting Tholensche Gat uitgegaan van een eenvoudiger vorm van getijbeïnvloeding door middel van het knijpen van de stormvloedkering. Dit betekent dat het doorstroomprofiel van de stormvloedkering gedurende een aantal getijden wordt gereduceerd, waardoor de amplitude van de getijgolf en de stroomsnelheden in het sluitgat afnemen. Hierbij wordt rekening gehouden met effecten op het milieu, de

visserij, de scheepvaart en de waterhuishouding.

Bij de uitvoering van de zandsluiting valt de nadruk op de grote materieelinzet gedurende korte tijd. Dit vereist een gedegen inzicht in de mogelijkheden van het materieel: de capaciteit, werkbaarheid, bedrijfszekerheid enzovoorts. De laatste fase van de sluiting vergt speciale aandacht: dan wordt de getijbeweging definitief afgesneden en moet het laatste gat worden gesloten door in korte tijd een veilige dam op te werpen. Daarbij komt de nadruk op droog grondverzet te liggen.

Een risikobeschouwing van het ontwerp en de uitvoering is nodig om na te gaan op welke mogelijke tegenslagen geanticipeerd moet worden en op welke punten het ontwerp moet worden aangepast.

Op de vormgeving en dimensionering van het damvak in de eindsituatie wordt in deze nota slechts zijdelings ingegaan. Het ontwerp van het damvak is in grote lijnen reeds enige jaren geleden vastgesteld op grond van een daartoe ingezonden principeplan (machtiging gedateerd 1-5-1980, brief AL 25262).

Overwogen is nog of een kasdrukverlaging van enige betekenis zou kunnen worden bereikt door het aanleggen van een damvak op grond van een uitgekleed ontwerp. Er doet zich hierbij echter het probleem voor dat het Rijk een overeenkomst heeft gesloten met de provincie Zeeland (lit. 3) over de dimensionering van het dwarsprofiel van de dam in verband met een daarop door de Provincie aan te leggen weg. Met het oog op de hiervoor benodigde extra dambreedte is door de Provincie reeds in het kader van de overeenkomst een bepaald bedrag aan het Rijk betaald. Afgezien van het hiervoor gesignaleerde juridische probleem zou in de praktijk slechts een relatief geringe besparing kunnen worden bereikt, die niet opweegt tegen de later te maken kosten voor de voltooiing van de dam.

2 UITGANGSPUNTEN

2.1 Stormvloedkering

Bij het opstellen van de hydraulische randvoorwaarden, behorende bij de diverse bouwstadia van de sluiting van het Tholensche Gat is uitgegaan van planning PL700A voor de stormvloedkering. Dit houdt o.a. in dat de stormvloedkering lokaal, respectievelijk centraal bedienbaar is op 1 mei, respectievelijk 1 oktober 1986; de dorpelbalkenplaatsing is gereed op 1 juni 1986. Het doorstroomprofiel in de monding van de Oosterschelde is dan verminderd tot $mA = 15.803 \text{ m}^2$ bij eb en $mA = 17.325 \text{ m}^2$ bij vloed (verwachtingswaarden). Het beheer van de stormvloedkering wordt tijdens de sluiting van het Tholensche Gat zodanig gekozen dat de zandsluiting uitgevoerd kan worden. In hoofdstuk 4.5 wordt nader ingegaan op het gebruik van de stormvloedkering.

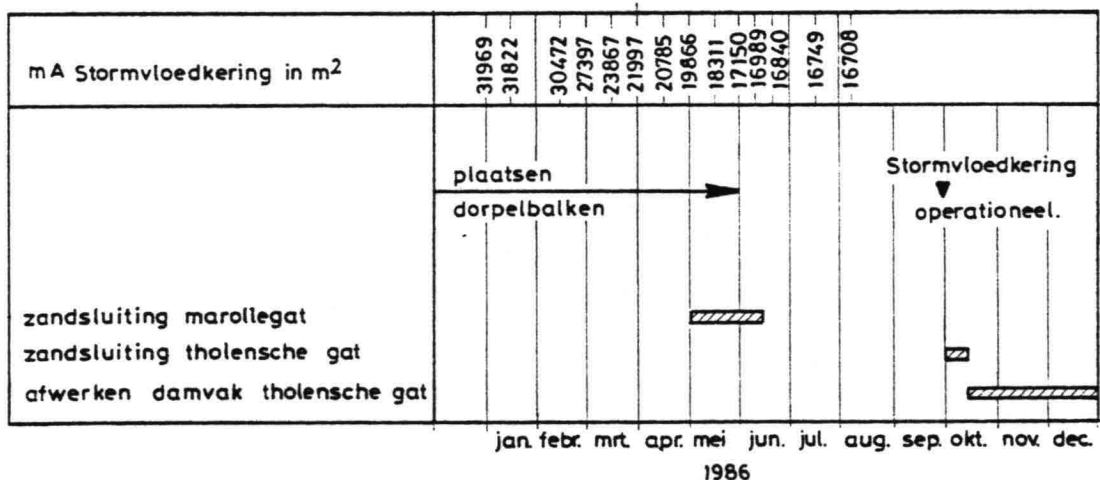
2.2 Tijdschema

Door de reductie van het getij ten gevolge van de stormvloedkering wordt de kom van de Oosterschelde kwetsbaarder voor zoetwaterinvloeden in perioden van zware regenval en voor het zoetwaterbezwaar via de Kreekraksluizen. Door een tijdige sluiting van het Tholensche Gat, als laatste onderdeel van de Oesterdam, kan de kom van de Oosterschelde tegen de zoetwaterinvloeden worden beschermd.

Rekening houdend met planning PL700A van de stormvloedkering dient de sluiting van het Tholensche Gat in oktober 1986 plaats te vinden.

Tijdens de sluiting van het Tholensche Gat zijn het Krammer en het Slaak nog open. Het Marollegat is dan al gesloten in mei 1986.

Voor de analyse van de planningsrandvoorwaarden vanuit de stormvloedkering wordt verwezen naar de samenvattende ontwerpnota.



Figuur 2.2.1 Tijdschema sluiting Oesterdam en aanleg stormvloedkering

2.3 Gebruik modellen

Voor de bepaling van het verticale en horizontale getij zoals dit zal optreden tijdens de sluiting is het ééndimensionaal mathematisch model IMPLIC toegepast. Dit model heeft een operationele status en is in voldoende mate getoetst aan het prototype.

Op basis van een vergelijking met enkele prototypemetingen kan voor IMPLIC worden aangenomen dat de debieten met eenzelfde nauwkeurigheid kunnen worden vastgesteld als deze kunnen worden gemeten in werkelijkheid (circa 10%).

Een beknopte beschrijving van dit model, waarbij tevens de betrouwbaarheid van de resultaten aan de orde komt, is opgenomen in lit. 4.

In het hydraulisch overzichtsmodel M1000 is geen onderzoek uitgevoerd naar sluitingsfasen bij een zandsluiting vanaf twee zijden. De zandverliesberekeningen zijn gemaakt met het model ZANDSOM, gebaseerd op de zandtransportformule van Morra-Kalinske. Een meer geperfectioneerd model, SLUITZAK, is thans in ontwikkeling. Dit berekent de erosie en aanzanding in stroombanen. Het model kon tot op heden niet worden geijkt op een prototypemeting of met een grootschalige proef.

Voor de bepaling van de kruinhoogte van de sluitkade is het programma DUROS gebruikt (lit. 5). Dit is een probabilistisch rekenprogramma voor duinafslag, waarbij de bezwijkkans bepaald wordt door middel van een simulatie van een groot aantal stormen.

2.4 Voltooiing damvak

2.4.1 Inleiding

In het kader van het ontwerp van damvak Zuid van de Oesterdam (lit. 6) is het ontwerp van de volledige dam in grote lijnen vastgesteld voor wat betreft:

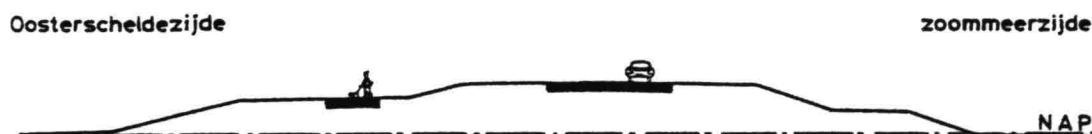
- kruinhoogte/buitenbermbreedte
- indeling dwarsprofiel (situering wegen)
- glooiingskonstrukties

2.4.2 Kruinhoogte

De dimensionering van de Oesterdam is voornamelijk afgestemd op zijn waterkerende functie. De dam is daarom zodanig ontworpen dat onder ontwerpomstandigheden geen schade zal ontstaan (bijvoorbeeld door wateroverslag), die een doorbraak tot gevolg heeft. Om aan deze eis te voldoen is voor de kruinhoogteberekening uitgegaan van het 2% golfoploopkriterium. De kruinhoogte is bepaald door bij de ontwerpwaterstand op te tellen de golfoploop, een toeslag voor een mogelijke buistoot en een overhoogte in verband met de relatieve bodemdaling. Op grond van diverse studies is gekozen voor een bovengrens voor het alarmpeil van de stormvloedkering van NAP +3,50 m (lit. 7). De daarbij behorende ontwerpwaterstand voor de Oesterdam bedraagt NAP + 4,00 m. De kruinhoogte is o.a. afhankelijk van de te kiezen buitenbermbreedte. Door de werkgroep OEVIIL (Oesterdam, Vormgeving, Inrichting en Landschappelijke inpassing) is een voorkeur uitgesproken voor een zo laag mogelijke kruin. Daarom is gekozen voor een brede buitenberm en een kruinhoogte van NAP +5,80 m.

2.4.3 Dwarsprofiel

Bij het bepalen van het dwarsprofiel van de Oesterdam hebben verschillende overwegingen een rol gespeeld (lit. 6). Uitgaande van de noodzaak voor een scheiding van verkeerssoorten is behalve de hoofdrijbaan een parallelweg/fietspad vereist. Gekozen is voor een situering van de parallelweg/fietspad aan de westzijde van de hoofdrijbaan (lit. 8). De parallelweg over het damvak Tholensche Gat krijgt een breedte van 4,50 m, om de toegankelijkheid van de Bergsediepsluis voor zwaar verkeer bij eventuele kalamiteiten mogelijk te maken (fig. 2.4.1).



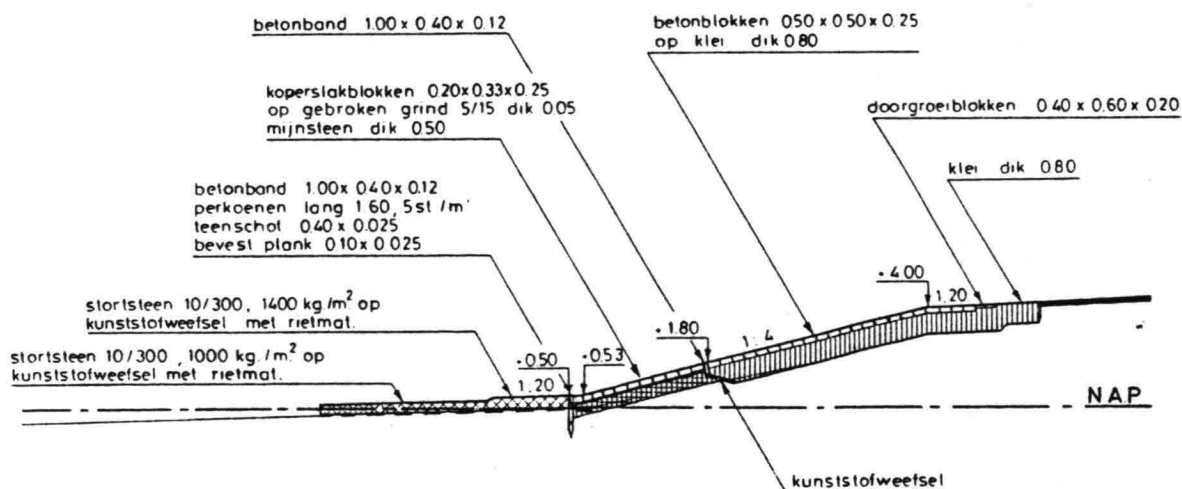
Figuur 2.4.1 Situering wegen op damvak Tholensche Gat

De hoofdrijbaan zal door en voor rekening van de provincie Zeeland worden aangelegd, beheerd en onderhouden. Hiertoe is een overeenkomst gesloten tussen het Rijk en de Provincie (lit. 3). De aanleg van de weg(en) zal gefaseerd plaatsvinden; voorlopig zal worden volstaan met de aanleg van de parallelweg.

2.4.4 Gloopingskonstrukties

Westzijde

In verband met mogelijkheden voor hergebruik van materialen en uit een oogpunt van vormgeving en landschappelijke inpassing is voor de westzijde van de dam gekozen voor een konstruktie, bestaande uit koperslabblokken tot NAP +1,80 m met daarboven betonblokken.



Figuur 2.4.2 Gloopingskonstruktie westzijde dam

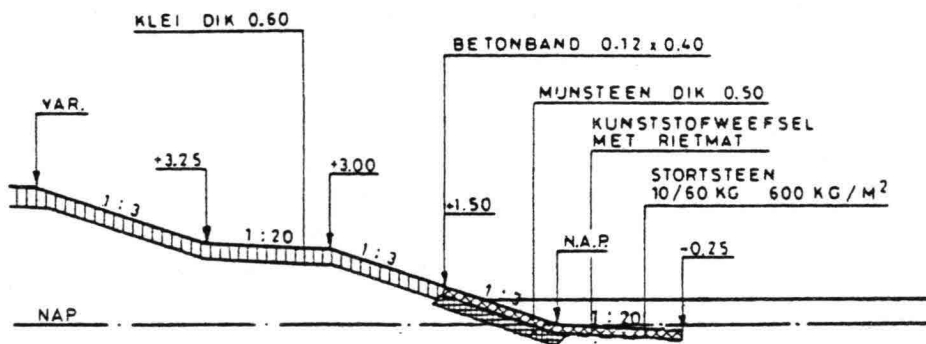
Ter plaatse van de kreukelberm wordt een bodembescherming met bestorting aangebracht.

Bij de ontwerpwaterstand (NAP +4,00 m) kan een significante golfhoogte $H_S = 1,9$ m optreden (frequentie $2,5 \cdot 10^{-4}$ per jaar). Hieruit is de zwaarte van de constructie afgeleid (fig. 2.4.2). Met betrekking tot de toepassing van betonblokken heeft o.a. een onderzoek plaatsgevonden in de Deltagoot, waaruit de blokdikte is afgeleid (lit. 9).

Oostzijde

Na voltooiing van de compartimenteringswerken zal een stagnant peil op het Zoommeer ingesteld worden van ongeveer NAP. Het Krammer zal worden gesloten in april 1987. Dit betekent dat tot dat tijdstip aan de oostzijde van de dam een (weliswaar gedempt) getij aanwezig is.

Daarom wordt een "harde" constructie aangebracht tot NAP +3,00 m (fig. 2.4.3). De zwaarte van de constructie is afgeleid uit de golfhoogte die hoort bij de ontwerpfrequentie van $2,5 \cdot 10^{-4}$ per jaar ($H_S = 0,7$ à $0,8$ m).



Figuur 2.4.3 Gloopingsconstructie oostzijde dam

2.4.5 Ontwerptekeningen damvak

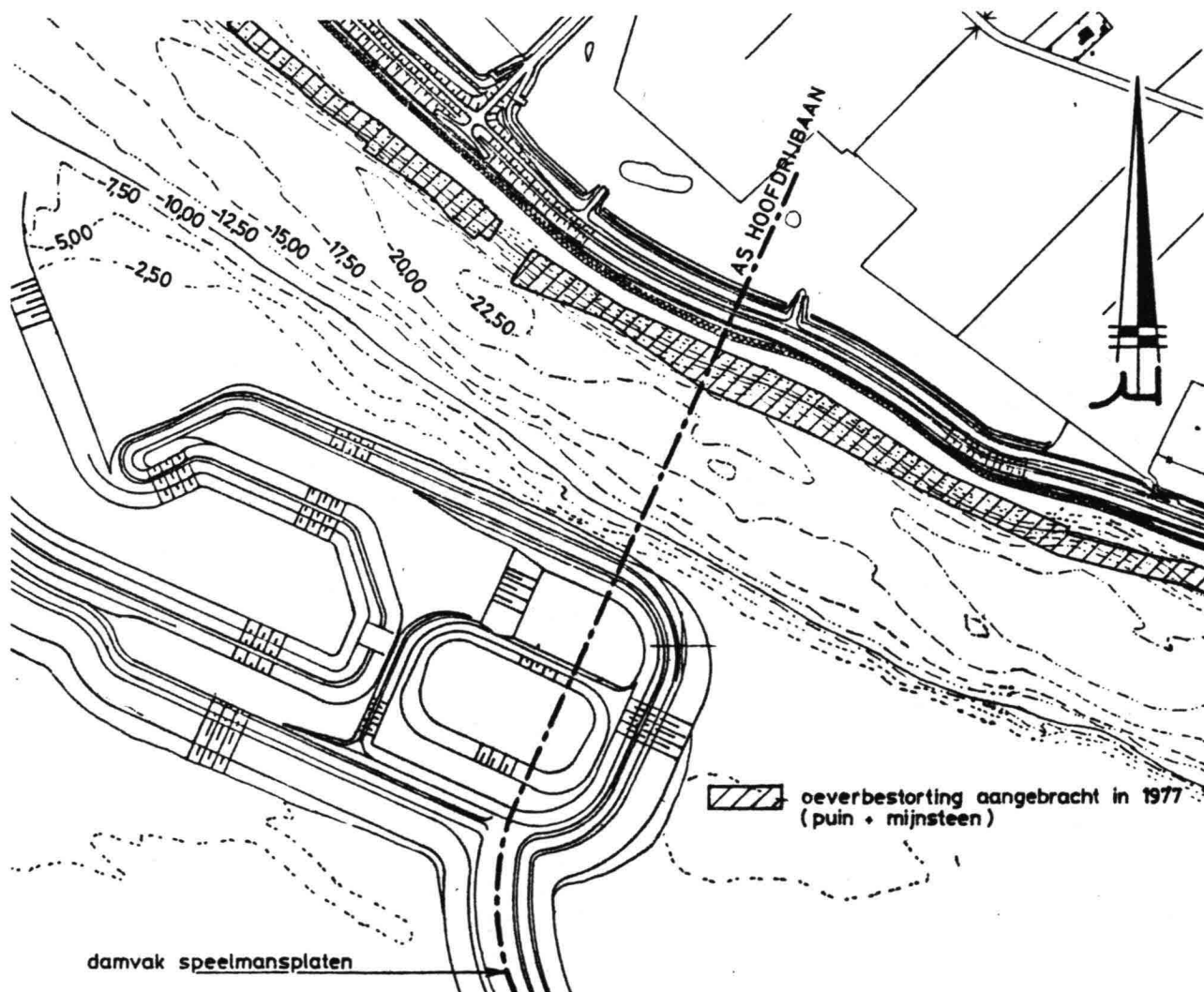
De eindsituatie van het damvak is vastgelegd in ontwerptekeningen. Hiervoor wordt verwezen naar de bijlagen 2 en 3 van deze ontwerpnota.

3 RANDVOORWAARDEN

3.1 Geometrie sluitgat en grondlagenopbouw

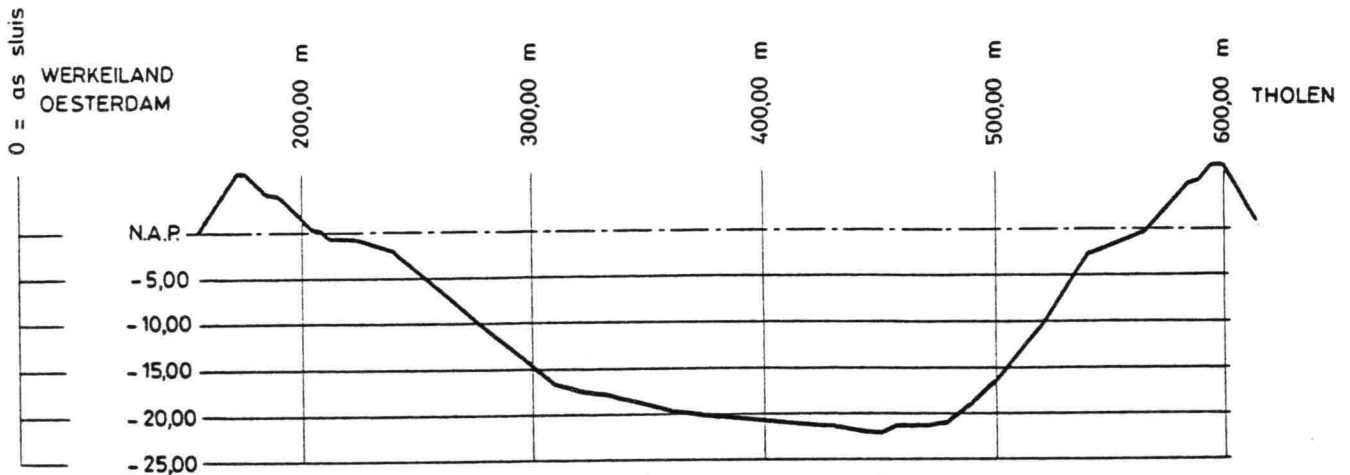
Geometrie sluitgat

Het Tholensche Gat vormt de belangrijkste stroomgeul door het Oesterdamtracé (fig. 3.1.1). Deze geul vervult een belangrijke functie als scheepvaartweg voor zowel beroeps- als recreatievaart. Het tracé van de afsluiting ligt in het verlengde van het damvak Speelmansplaten dat in 1984 wordt aangelegd.



Figuur 3.1.1 Situatie Tholensche Gat

Het Tholensche Gat wordt begrensd door steile oevers zowel aan de kant van het eiland Tholen als aan de kant van het werkeiland (fig. 3.1.2 en bijlage 4).



Figuur 3.1.2 Lengteprofiel sluitgat Tholensche Gat (peiling augustus 1983)

Tijdens de aanleg van het werkeiland Oesterdam in 1979/1980 is een aantal malen een zettingsvloeiing opgetreden als gevolg waarvan de diepte van de geul met enkele meters afnam. In de loop der tijd is door uitschuring de geuldiepte weer zodanig toegenomen dat thans weer nagenoeg de oorspronkelijke toestand is bereikt.

Aan de zijde van het werkeiland vindt erosie plaats beneden een niveau van circa NAP -10 m. Hierboven treden nauwelijks veranderingen op.

De erosie heeft op een aantal plaatsen langs de oever van het werkeiland steile taluds tot gevolg gehad, die met mijnsteen zijn verflauwd. Aan de noordzijde van de geul (Tholense oever) zijn tot op heden geen significante veranderingen geconstateerd. Waarschijnlijk is dit mede een gevolg van de daar aanwezige taludverdediging (bestaande uit puin en mijnsteen), die in 1977 is aangebracht.

Grondlagenopbouw

In het verleden is een groot aantal boringen en sonderingen uitgevoerd in de omgeving van het tracé van de sluitkade. Dit grondonderzoek werd uitgevoerd in het kader van onder meer:

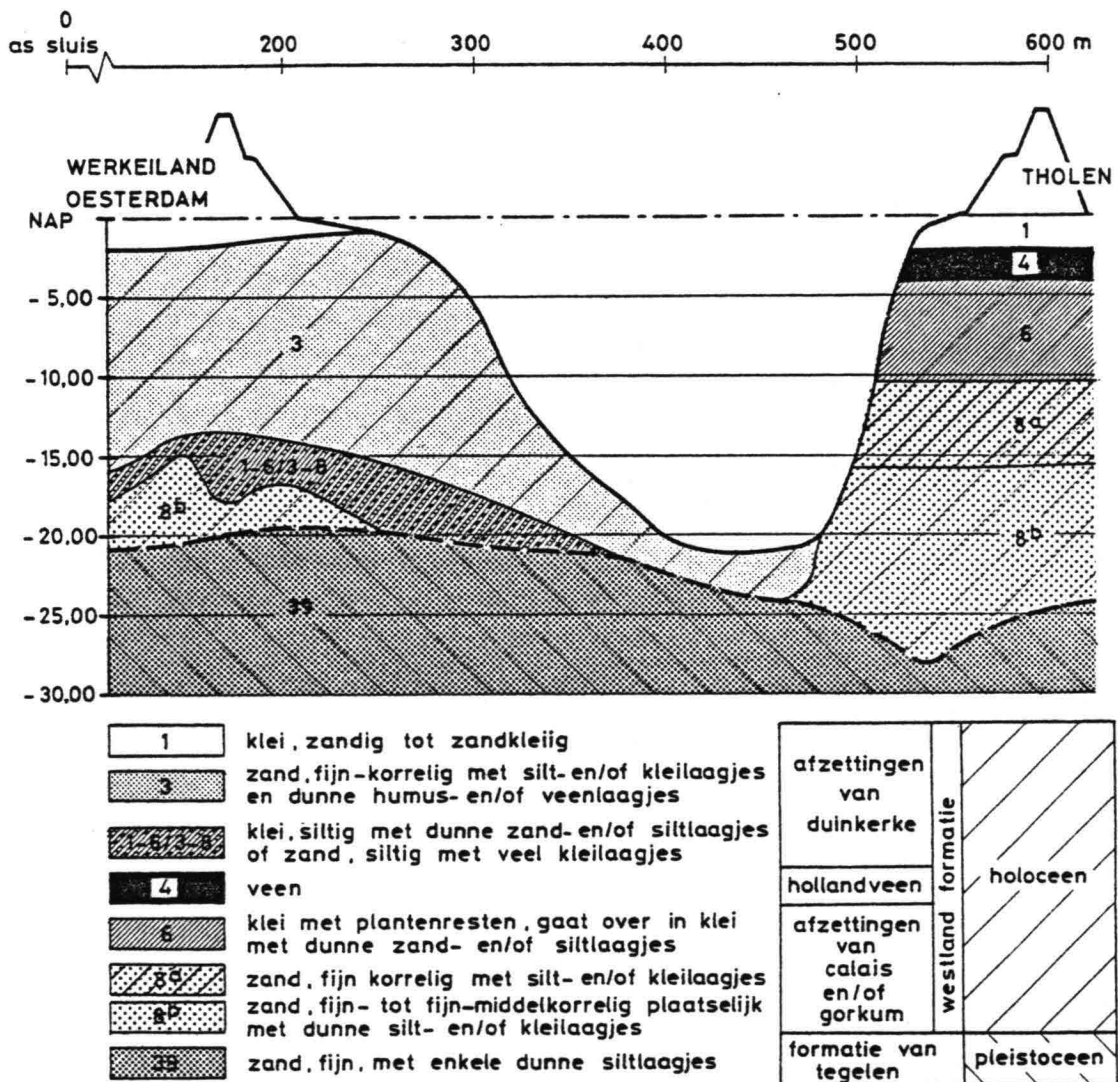
- tracé-keuze Oesterdam;
- aanleg werkeiland Oesterdam;
- dijkversterking rond de Oosterschelde.

Door zowel de Rijks Geologische Dienst als het Laboratorium voor Grondmechanica zijn de resultaten van deze onderzoeken weergegeven in geotechnische profielen (lit. 10, 11, 12, 13).

Uit het geologisch onderzoek volgt, dat er een onderscheid moet worden gemaakt tussen de grondslag van de Tholense oever bij de Schakerloopolder en die van het werkeiland Oesterdam. Bij de Tholense oever komt tot een diepte van NAP -8,5 m à NAP -11 m een cohesieve holocene laag voor, bestaande uit min of meer zandige klei, waartussen zich een 1 à 2 m dikke veenlaag bevindt. Deze cohesieve laag wordt gevolgd door een voornamelijk uit zand

bestaande holocene formatie, behorend tot de zogenaamde Afzettingen van Calais, die vroeger oud-wadzand werd genoemd. Deze afzettingen strekken zich uit tot een diepte van NAP -27 m à NAP -30 m; daaronder bevinden zich de pleistocene lagen van de Formatie van Tegelen.

Bij de oever van het werkeiland komt tot een diepte van NAP -20 m à NAP -23 m holocene jong zeezand voor, gevolgd door de Formatie van Tegelen (fig. 3.1.3).



Figuur 3.1.3 Geotechnisch profiel ter plaatse van as hoofdrijbaan

In bijlage 1 van lit. 4 zijn naast het profiel volgens fig. 3.1.3 de geotechnische profielen 200 m westelijk en oostelijk van de as van de hoofdrijbaan weergegeven.

Voor de Afzettingen van Calais aan de Tholense Oever geldt dat in het algemeen niet kan worden uitgesloten dat hierin zettingsvloeiingen kunnen optreden. Verondersteld wordt dat de wijze van

afzetting van dit lagenpakket echter een belangrijke rol speelt ten aanzien van de mate van zettingsvloeiingsgevoeligheid. Verder is gebleken uit onderzoek naar zettingsvloeiingen langs de oevers van de Mississippi dat een oppervlakte-kleilaag van 5 m en meer een duidelijk remmende invloed heeft op het ontstaan van zettingsvloeiingen.

Uit oude kaarten van dit gedeelte van de Tholense Oever blijkt dat de vorm ervan sinds honderden jaren nauwelijks is veranderd. Dit wijst erop dat deze oever niet zettingsvloeiingsgevoelig is. Deze veronderstelling wordt ondersteund door de Adviesdienst Vlissingen en bovendien bevestigd in lit. 14 en 15. In 1977 is de Tholense oever, waarvan de taluds over een hoogte van 8 m onder een helling van 1:1,25 en over een hoogte van 13 m onder 1:1,60 stonden, zodanig bestort met puin en mijnsteen dat er een helling van 1:3 is ontstaan.

De grondslag ter plaatse van het werkeiland Oesterdam bestaat uit jong zeezand dat in het algemeen zettingsvloeiingsgevoelig is. Bij de oevers van het werkeiland hebben zich in het recente verleden zettingsvloeiingen voorgedaan. Gezien de taludhellingen van deze oever van 1:6 à 1:7 over een hoogte van 17,5 m en 1:4 à 1:5 over een hoogte van 10 m moet dan ook rekening worden gehouden met de mogelijkheid van zettingsvloeiingen (lit. 14 en 16).

3.2 Hydraulische gegevens

3.2.1 Overschrijdingsfrequentielijnen voor hoogwaterstanden

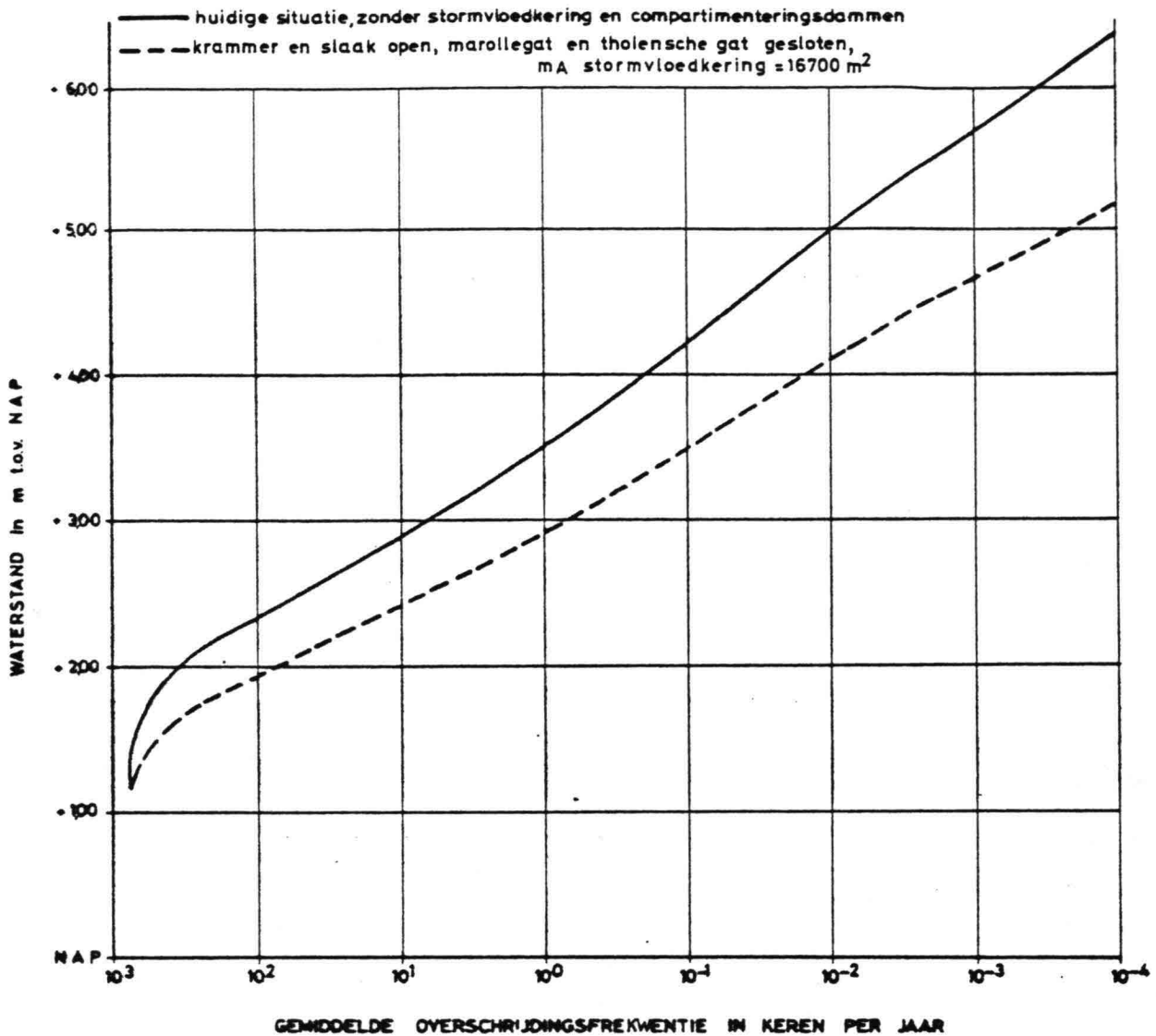
Voor het ontwerp van de compartimenteringsdammen dient men onder meer te beschikken over overschrijdingsfrequentielijnen voor hoogwaterstanden.

Waargenomen hoogwaterstanden en resultaten van berekeningen bij extreme hoogwaters zijn voor een reeks plaatsen langs het Oosterscheldebekken bekend. Met deze gegevens zijn betrekkinglijnen gekonstrueerd tussen het hoogwater te Burghsluis en het hoogwater ter plaatse van andere getijstations langs de Oosterschelde; dit zijn Zierikzee, Goese Sas, Wemeldinge, Bruinisse, Steenbergse Sas en Bergen op Zoom. Met behulp van deze betrekkinglijnen zijn uit de frequentielijn van Burghsluis nieuwe frequentielijnen voor de genoemde getijstations afgeleid. Vervolgens is daaruit de frequentielijn voor de Oesterdam verkregen.

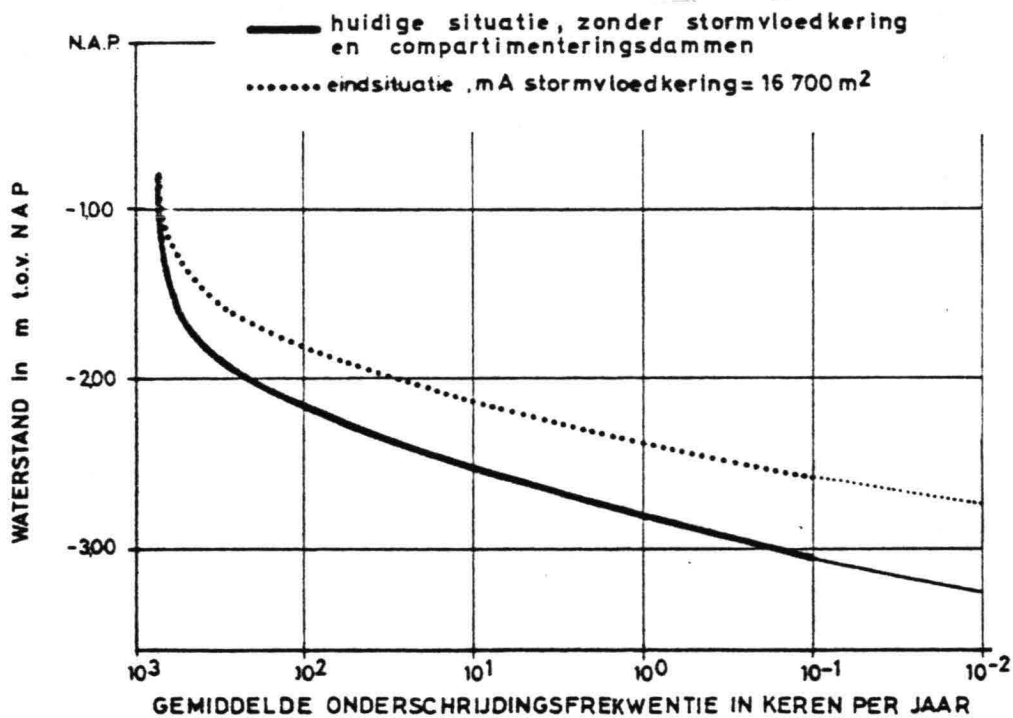
In fig. 3.2.1 zijn enkele hoogwater-frequentielijnen gepresenteerd voor het Tholensche Gat.

3.2.2 Onderschrijdingsfrequentielijnen voor laagwaterstanden

De onderschrijdingsfrequentielijnen voor laagwaterstanden zijn bepaald met behulp van natuurwaarnemingen van het tijdvak 1969-1974. Op soortgelijke wijze als bij de hoogwaterstanden, is met IMPLIC de reductie van de laagwaterstanden ten gevolge van de stormvloedkering via betrekkinglijnen bepaald. Hierbij zijn gegevens gebruikt die betrekking hebben op de normale getijsituatie zonder windeffekten. De extrapolatie naar extreme laagwaterstanden (frequentie 10^{-2} en lager) is dus onbetrouwbaar (fig. 3.2.2).



Figuur 3.2.1 Overschrijdingsfrequenties van hoogwaterstanden in het Tholensche Gat



Figuur 3.2.2 Onderschrijdingsfrequenties voor laagwaterstanden in het Tholensche Gat

3.2.3 Gemiddelde hoog- en laagwaterstanden

In tabel 3.2.1 zijn het gemiddelde hoogwater en het gemiddelde laagwater vermeld voor een doottij, gemiddeld getij en een springtij voor de situatie dat de sluiting van het Tholensche Gat is voltooid en het Krammer en het Slaak nog niet gesloten zijn.

Soort getij	HW (m)	σ_t (m)	LW (m)	σ_t (m)
springtij	NAP +1,64	0,10	NAP -1,48	0,10
gemiddeld getij	NAP +1,48	0,10	NAP -1,44	0,10
doottij	NAP +1,18	0,10	NAP -1,15	0,10

Tabel 3.2.1 Waterstanden westzijde Tholensche Gat na afsluiting Tholensche Gat

Bij aanvang van de sluiting zullen de hoogwaterstanden enkele centimeters lager en de laagwaterstanden enkele centimeters hoger zijn. De in de tabel gepresenteerde standaardafwijkingen (σ_t) zijn ontleend aan lit. 4.

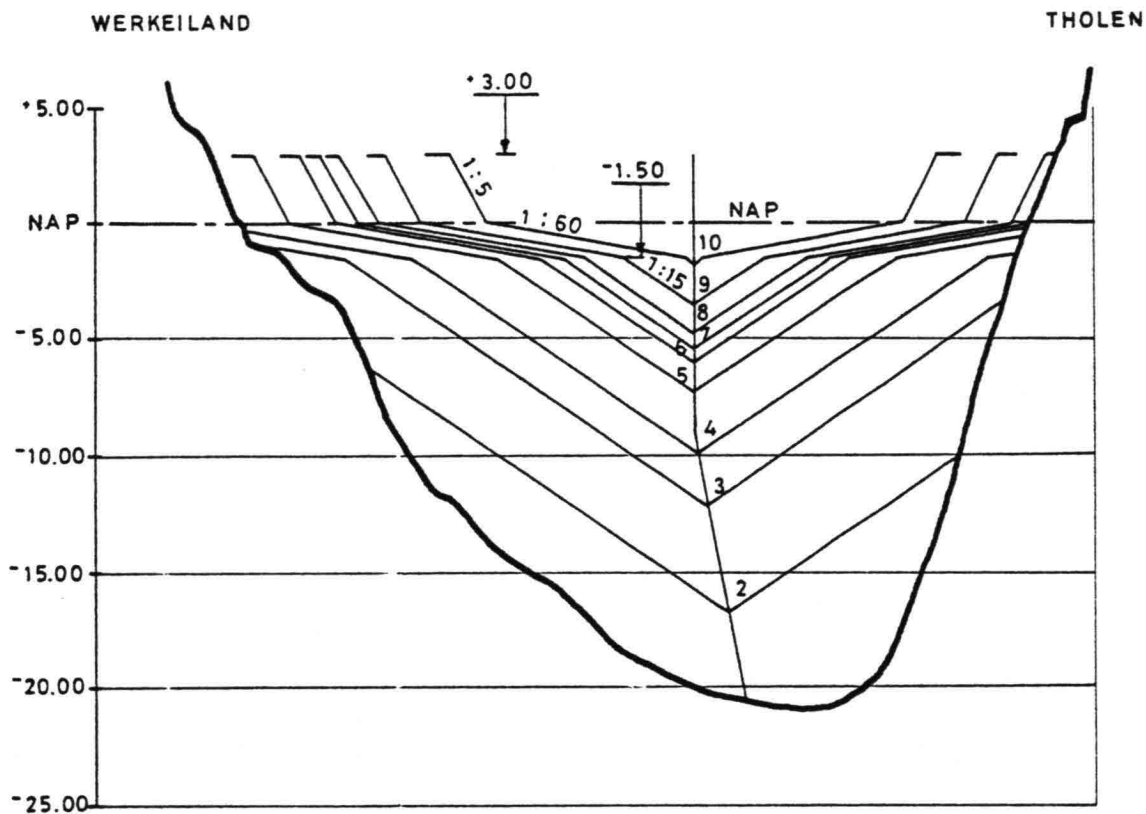
3.2.4 Sluitgatparameters

Voor de IMPLIC-berekeningen is het sluitgat door middel van een vervalsectie geschematiseerd tot een open bakprofiel met een breedte en diepte ten opzichte van NAP. De lengte van de vervalsectie is nul, zodat de in par. 3.2.5 te presenteren waterstanden direkt ter weerszijden van het sluitgat gelden. Het bakprofiel is zo gekozen dat het geschematiseerde doorstroomoppervlak overeenkomt met het werkelijke doorstroomoppervlak. Voor de diverse bouwfases is de schematisatie toegepast, zoals aangegeven in tabel 3.2.2.

Fase	sluitgat- opening (m ²)	breedte (m)	diepte t.o.v. NAP (m)	m-eb (-)	m-vloed (-)
1	4700	294	-16	1	1
2	3525	271	-13	1	1
3	2350	235	-10	0,9	0,9
4	1600	200	-8	0,75	0,85
5	1175	157	-7,5	0,75	0,85
6	900	150	-6	0,75	0,85
7	600	125	-4,8	0,75	0,85
8	450	90	-5	0,75	0,85
9	300	75	-4	0,8	0,85
10	150	50	-3	0,85	0,85

Tabel 3.2.2 Sluitgatschematisatie ten behoeve van IMPLIC

De berekende sluitingsfasen zijn in fig. 3.2.3 aangegeven.

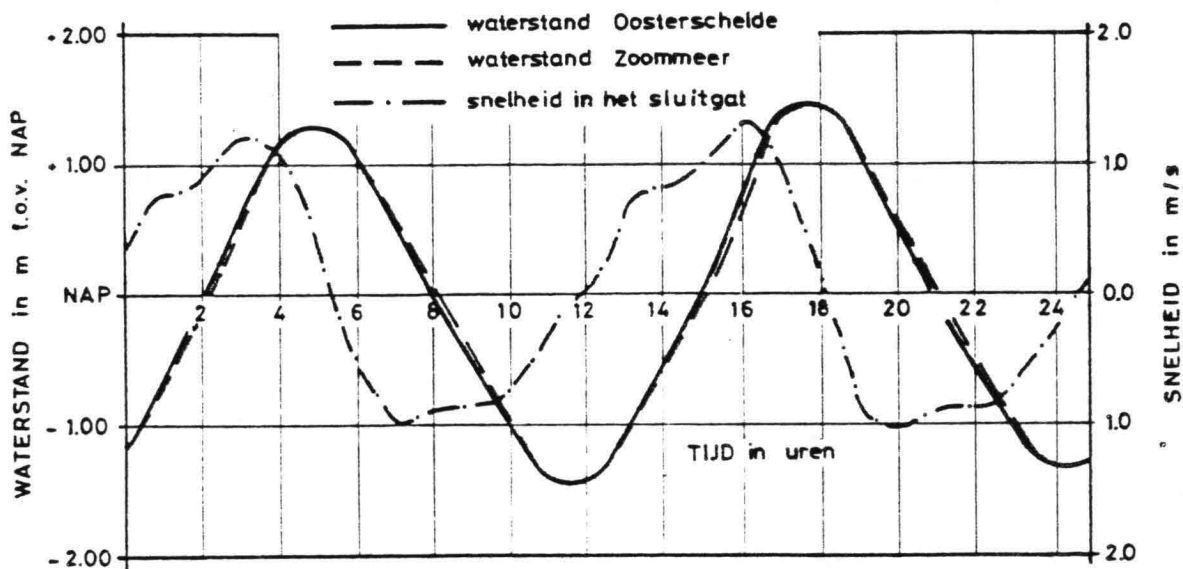


Figuur 3.2.3 Berekende sluitfasen Tholensche Gat

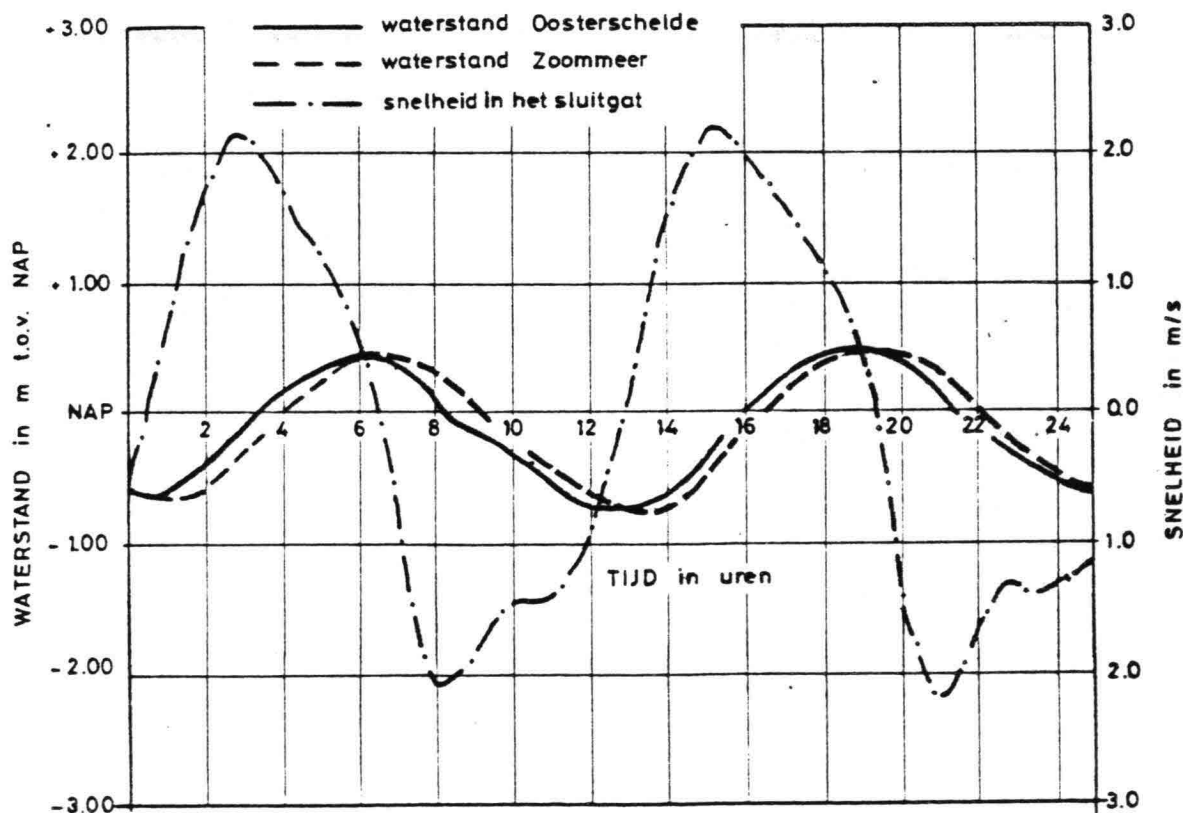
Door het ontbreken van onderzoek in M1000 kon geen afschatting worden gemaakt van de afvoercoëfficiënten m met behulp van modelresultaten. Voor de sluitingsfasen tot een doorstroomprofiel van circa 1000 m^2 zijn de afvoercoëfficiënten ontleend aan tabel 3.2.2 uit lit. 4. De afvoercoëfficiënten voor de resterende bouwfasen zijn ontleend aan lit. 17.

3.2.5 Snelheden als functie van het doorstroomprofiel

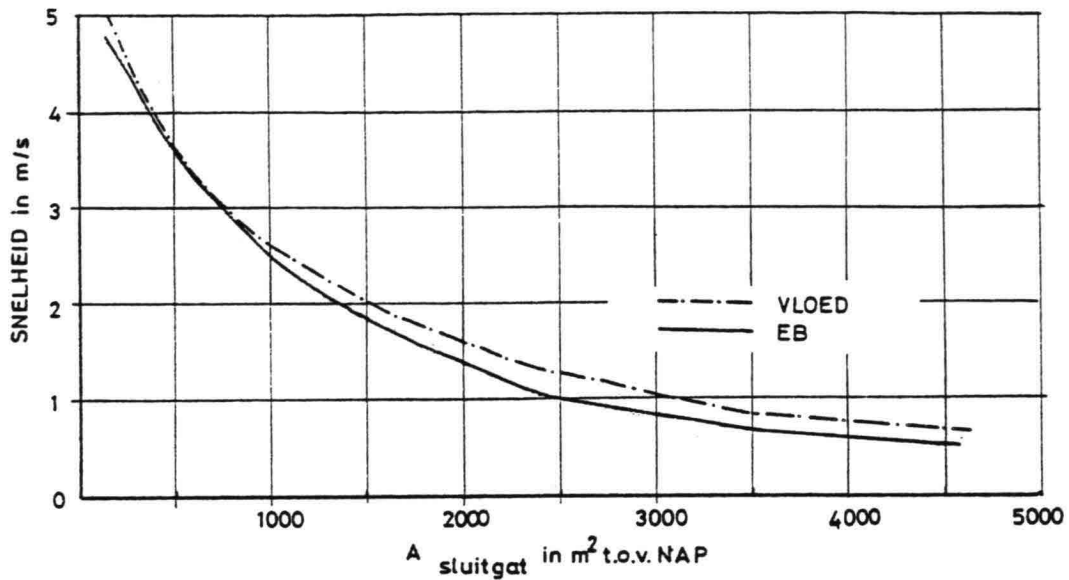
In de figuren 3.2.4 en 3.2.5 is het snelheidsverloop gemiddeld over het sluitgat gepresenteerd voor enkele bouwfasen. In de figuren 3.2.6 en 3.2.7 is de maximale snelheid gemiddeld over het sluitgat als functie van de oppervlakte van het sluitgat weergegeven. Daarin zijn de maxima voor vloed en eb uit de verschillende bouwfasen met elkaar vergeleken. Het effect van de dagelijkse ongelijkheid op de snelheden blijkt marginaal te zijn.



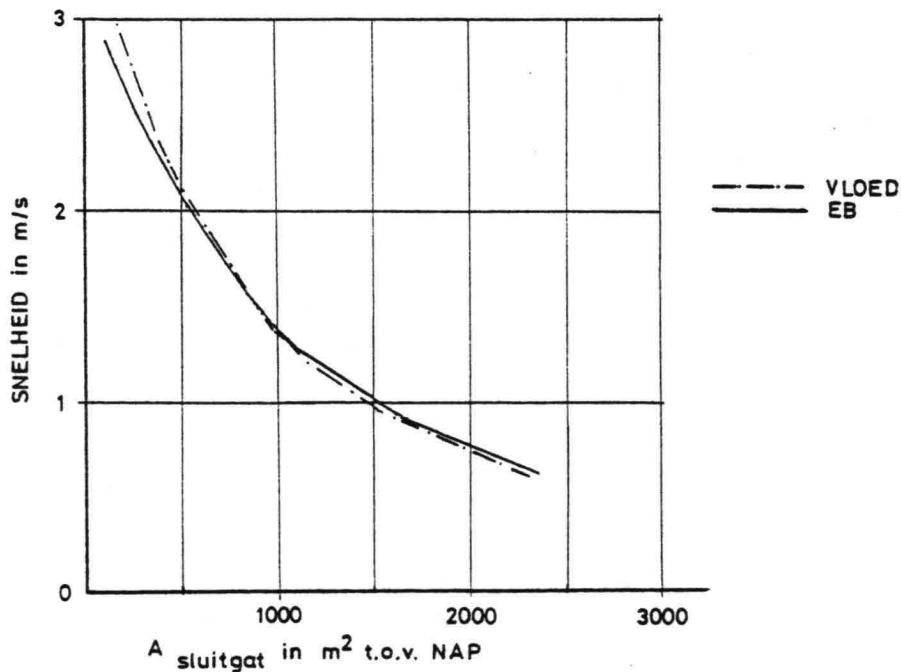
Figuur 3.2.4 Verloop van de waterstanden aan weerszijden van, en snelheid in het sluitgat bij A sluitgat = 2.350 m^2 en gemiddeld getij



Figuur 3.2.5 Verloop van waterstanden aan weerszijden van, en snelheid in het sluitgat bij A sluitgat = 450 m^2 en geknepen getij; mA stormvloedkering = 6.000 m^2



Figuur 3.2.6 Maximale snelheid bij gemiddeld getij afhankelijk van A_{sluitgat}



Figuur 3.2.7 Maximale snelheid bij een geknepen gemiddeld getij (mA stormvloedkering = 6.000 m²) afhankelijk van A_{sluitgat}

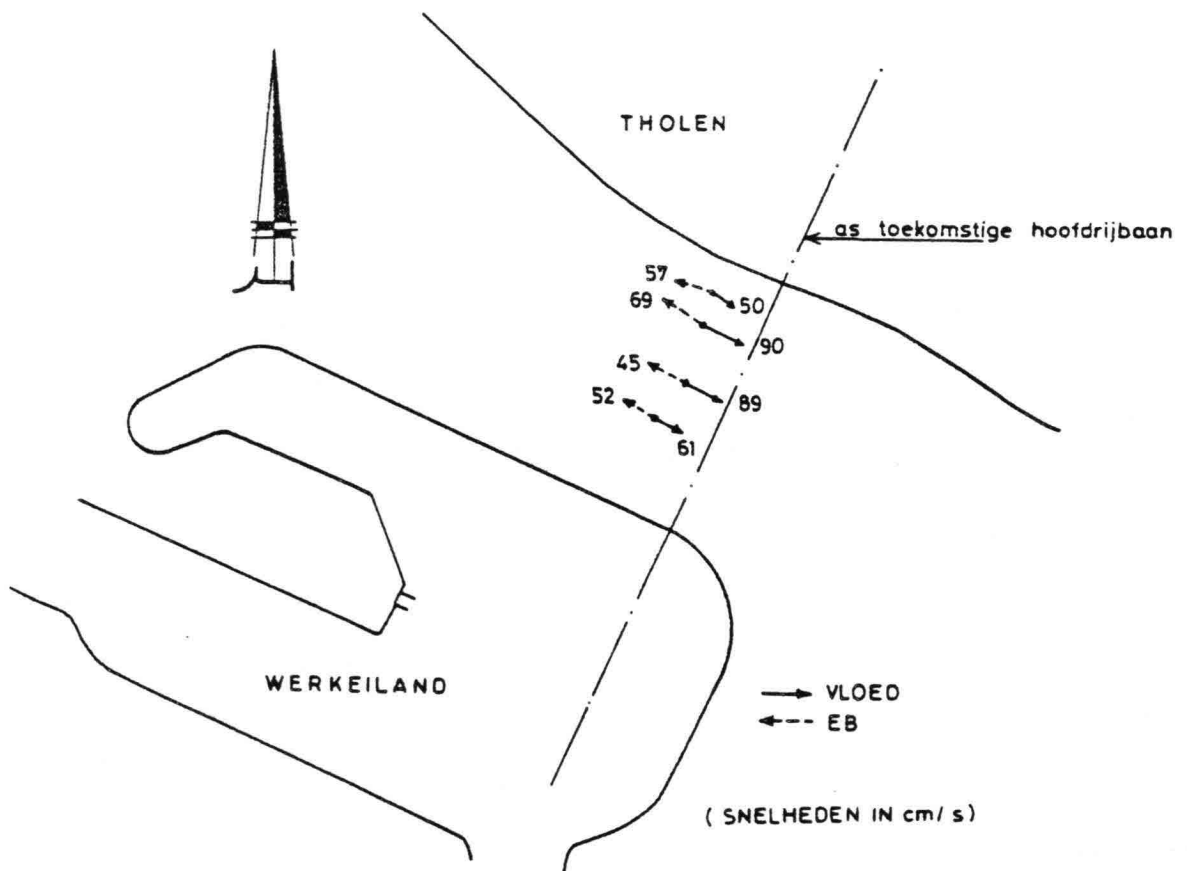
3.2.6 Stroombeeldgegevens

Informatie over het stroombeeld tijdens de diverse stadia van de zandsluiting is gewenst om een schatting te kunnen maken van de:

- stroomaanval op de beide oevers, tengevolge van neren en/of stroomafbuiging benedenstrooms van het sluitgat;
- stroomaanval op de sluitkaden tengevolge van neren beneden-

- strooms, en versnellende stroom bovenstrooms van het sluitgat;
- afname van de stroomsnelheid benedenstrooms van het sluitgat in verband met de werkbaarheid van de zuigers in de zandwingebieden.

Op 4 oktober 1983 is in het Tholensche Gat een stroommeting uitgevoerd bij een nagenoeg gemiddeld getij. Op een viertal plaatsen in het sluitgat is de gemiddelde stroomsnelheid gemeten tijdens maximum vloed en maximum eb (fig. 3.2.8).



Figuur 3.2.8 Stroommeting 4 oktober 1983

Deze stroomsnelheidsverdeling wijkt nogal af van de resultaten uit het overzichtsmodel M1000. De modelmetingen geven langs de Tholense oever circa 40% hogere, en langs de oever van het werkeiland circa 40% lagere stroomsnelheden ten opzichte van het midden van het sluitgat (lit. 4).

Voor een zandsluiting met een tweezijdig stort is geen onderzoek uitgevoerd in M1000. Wel zijn in M1000 (lit. 18) sluitingsfasen onderzocht voor een zandsluiting met een éénzijdig stort vanaf Tholen. Mede gezien de gekonstateerde verschillen in het stroombeeld in M1000 en in het prototype, is van een poging om uit de onderzoeksresultaten van lit. 18 bruikbare tendenzen af te leiden verder afgezien. Derhalve is volstaan met een voorspelling van het stroombeeld op basis van ervaring.

In de diverse paragrafen waar stroombeeldinformatie van belang is, wordt nader ingegaan op het stroombeeld.

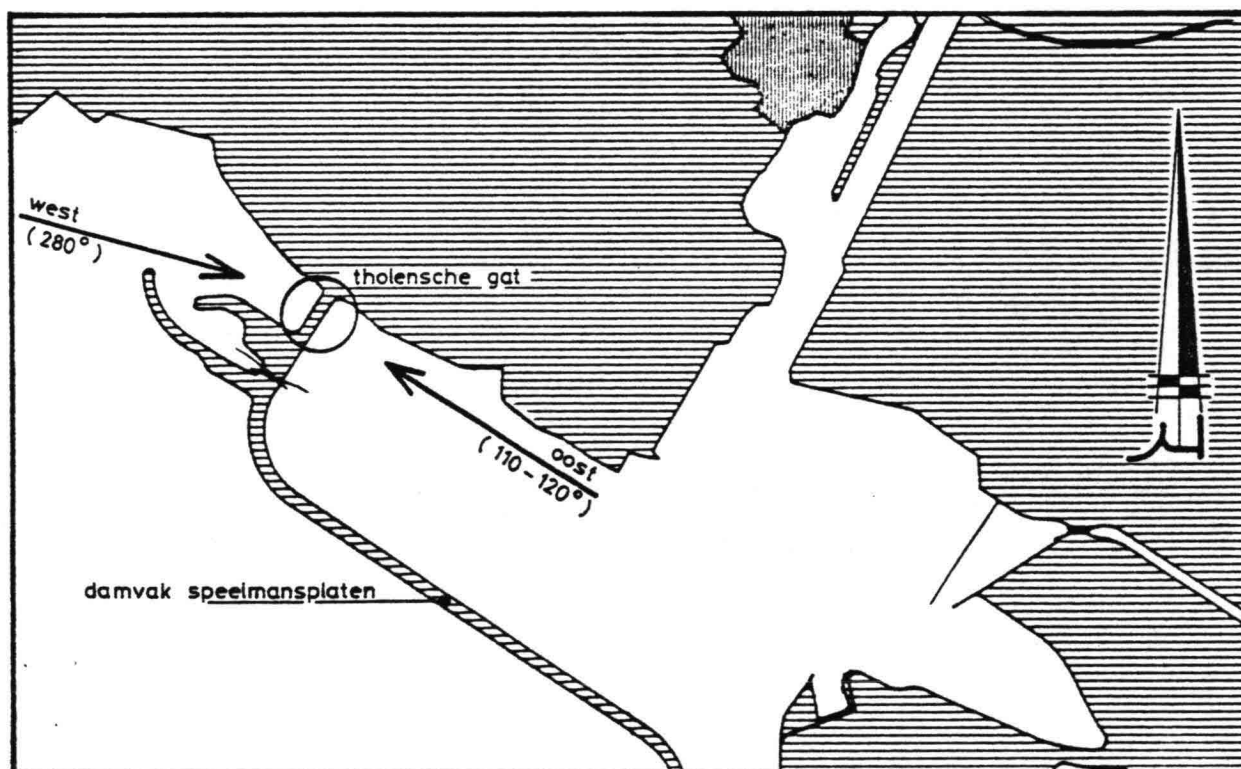
3.2.7 Golfrandvoorwaarden

Golfrandvoorwaarden zijn van belang voor de berekening van de stabiliteit van de sluitkade en voor het ontwerp van het eindprofiel van de Oesterdam.

De golfrandvoorwaarden zijn ontleend aan lit. 19.

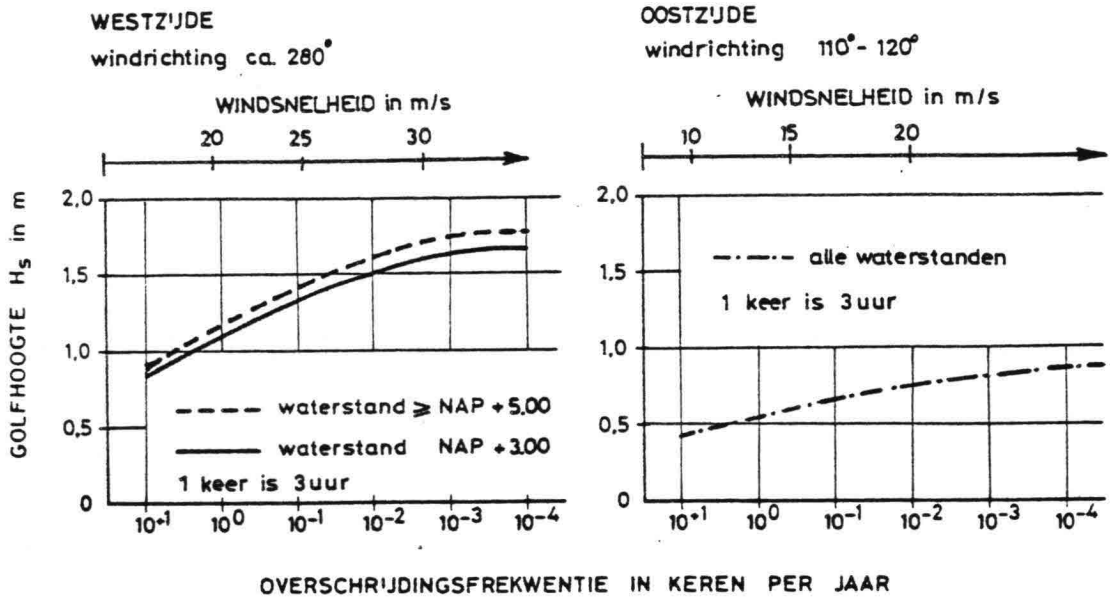
Golfhoogten

De golfhoogten zijn berekend met het komputerprogramma HGENER, dat gebaseerd is op de golfgroei-berekeningsmethode van Bretschneider. Hiermee zijn voor maatgevende combinaties van windrichting (zie fig. 3.2.9), windsnelheid, waterdiepte en strijklengte de significante golfhoogten (H_S) bepaald als functie van windsnelheid en de waterstand.



Figuur 3.2.9 Maatgevende windrichtingen voor H_S

Het resultaat van de berekeningen is weergegeven in fig. 3.2.10. Voor het ontwerp van het eindprofiel van de definitieve dam is uitgegaan van een overschrijdingsfrequentie van $2,5 \cdot 10^{-4}$ /jaar. Dit levert voor de westzijde van de dam een ontwerpgolfhoogte op van $H_S = 1,90$ m met een bijbehorende golfperiode $T_S = 4,4$ s. Uit de windsnelheidsgegevens is tevens de invloed van de periode in het jaar af te leiden. Voor de westzijde van het Tholensche Gat levert dit waarden op die in tabel 3.2.3 zijn vermeld, waarbij is gekozen voor een gemiddelde overschrijdingsfrequentie van 10^{-2} per jaar voor de genoemde maand, behorend bij een waterstand van NAP +4,00 m.



Figuur 3.2.10 Signifikante golfhoogten in het Tholensche Gat

Maand	H_S (m)
januari	1,40
februari	1,30
maart	1,20
april	1,10
mei	1,00
juni	0,90
juli	1,00
augustus	1,10
september	1,20
oktober	1,20
november	1,50
december	1,40

Tabel 3.2.3 Signifikante golfhoogte per maand met een gemiddelde overschrijdingsfrequentie van 10^{-2} per jaar, bij een waterstand van NAP +4,00 m.

Standaardafwijking bij golfhoogten

De windgegevens voor een frequentie van 10^{-2} /jaar zijn bepaald aan de hand van extrapolaties van het beschikbare materiaal. De spreiding in de windsnelheidsgegevens resulteert volgens lit. 20 in een standaardafwijking van H_S van circa 0,15 m. In lit. 21 is op basis van beschikbaar waarnemingsmateriaal de betrouwbaarheid van de golfrandvoorwaarden globaal onderzocht. Het waarnemingsmateriaal betrof geregistreeerde golfhoogten tot circa 1 m. De uit het onderzoek resulterende onnauwkeurigheid bedraagt 0,15 à 0,20 m.

Op grond hiervan is uitgegaan van een standaardafwijking van 0,25 m bij golven met een overschrijdingsfrequentie kleiner of gelijk aan 10^{-2} /jaar.

Golfperiode

Wegens het ontbreken van een golfhoogte-golfperiode relatie in het oostelijk deel van de Oosterschelde, is een empirische relatie toegepast die indertijd is afgeleid voor het Veerse Meer; daar is sprake van diep water en treden deiningsgolven niet op. De situatie in de omgeving van de Oesterdam is hiermee vergelijkbaar. Deze relatie luidt:

$$H_S = 0,1 (T_S)^2, \text{ waarin:}$$

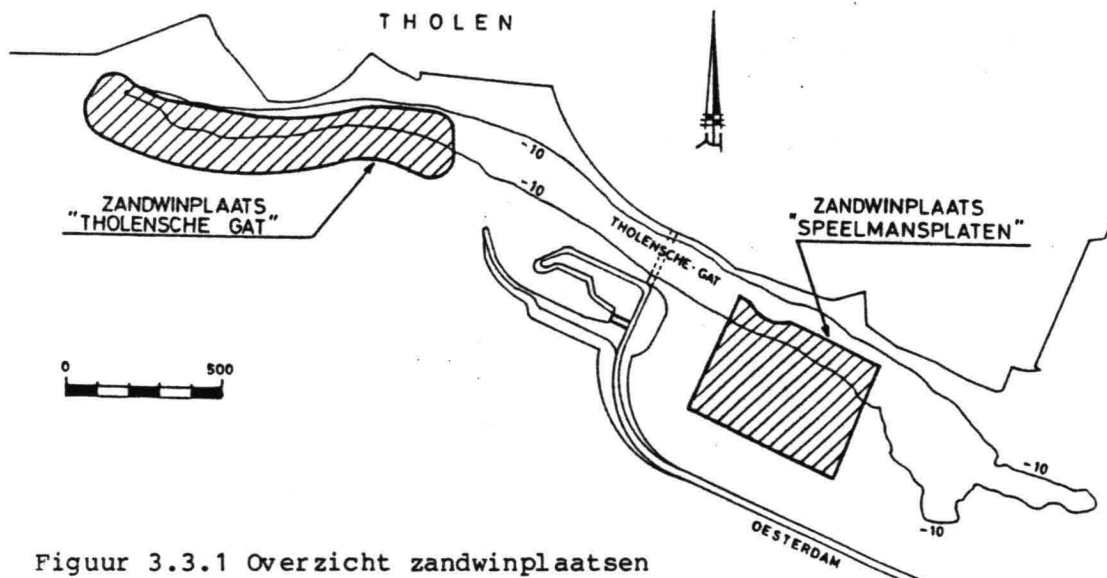
H_S = significante golfhoogte (m)

T_S = bijbehorende golfperiode (s)

3.3 Materiaal

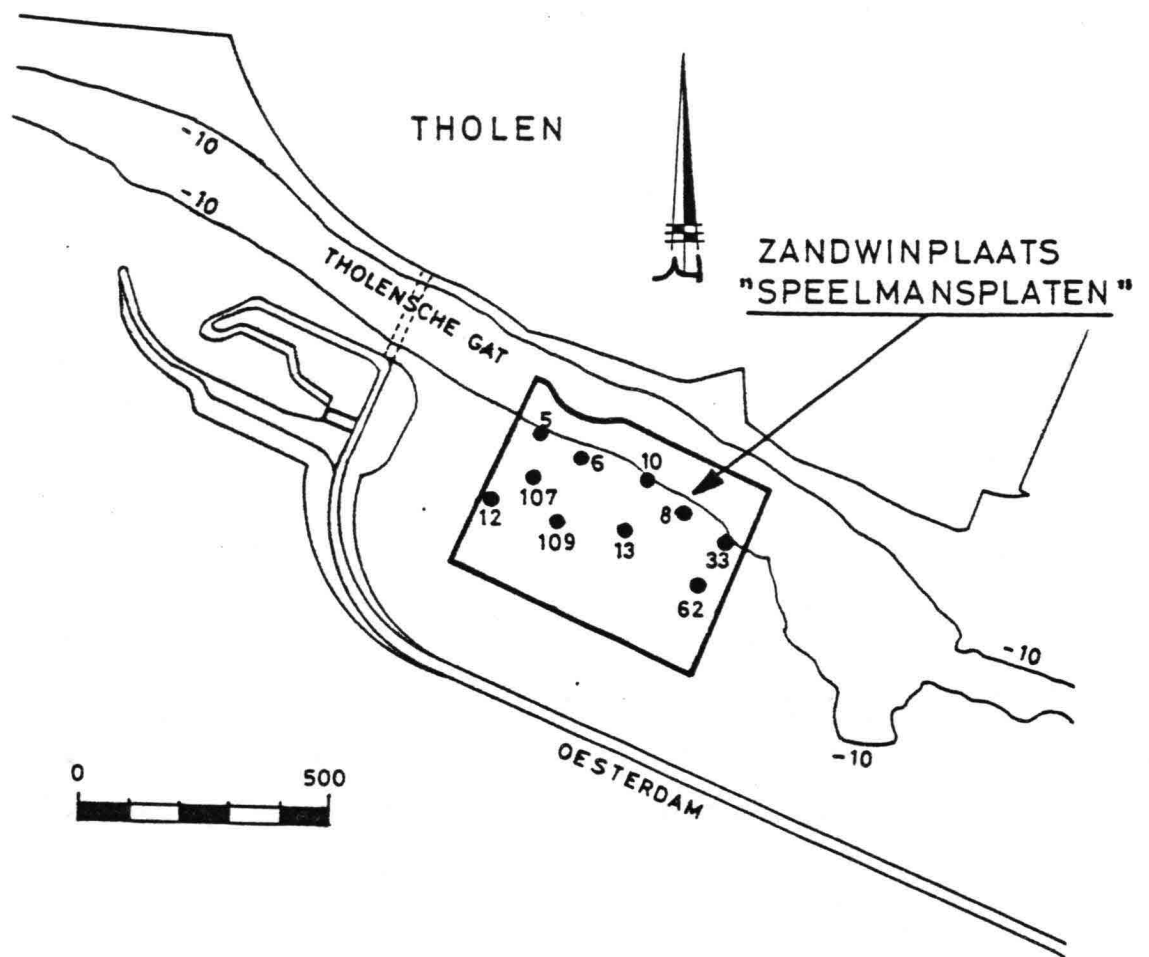
3.3.1 Zandwinplaatsen

Op grond van een analyse van de projectgroep "Zandwinning Compartimenteringswerken" (lit. 22) zijn twee zandwinplaatsen gekozen ter weerszijden van het sluitgat. De oostelijke winplaats "Speelmansplaten" ligt op circa 1,5 km van het sluitgat; de westelijke winplaats "Tholensche Gat" op circa 2,5 km hier vandaan (fig. 3.3.1).

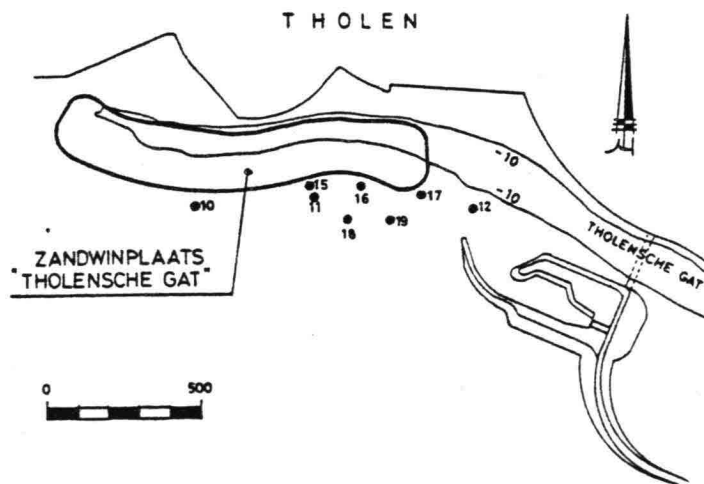


Figuur 3.3.1 Overzicht zandwinplaatsen

In en nabij de zandwingebeden zijn in het verleden een aantal sonderingen en boringen uitgevoerd. De lokaties van deze boringen zijn aangegeven in de figuren 3.3.2 en 3.3.3.



Figuur 3.3.2 Lokaties grondonderzoek en begrenzing van het zandwingebed "Speelmansplaten"

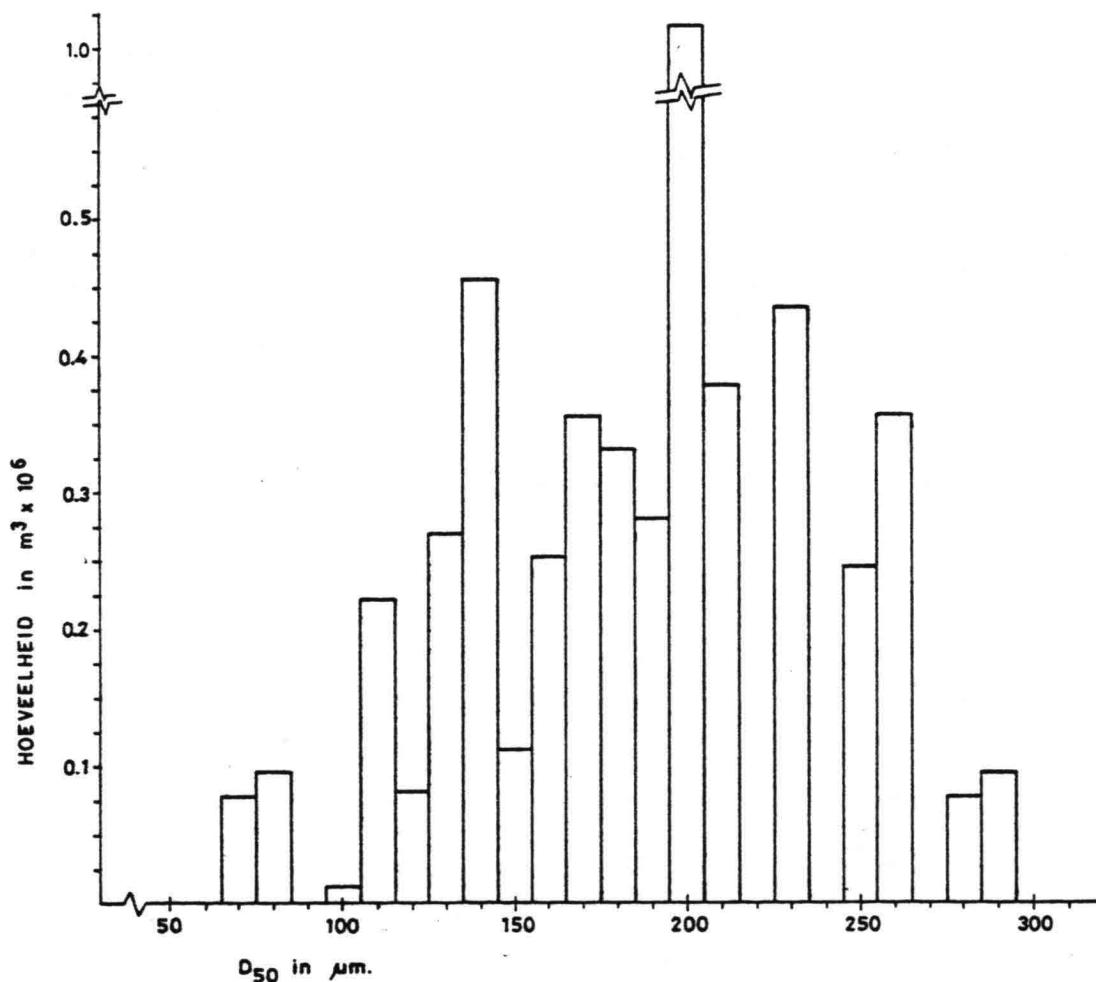


Figuur 3.3.3 Lokaties grondonderzoek en begrenzing van het zandwingebed "Tholensche Gat"

Resultaten van geologisch onderzoek ter plaatse van de zandwinplaats "Speelmansplaten" toont aan dat de overgang van het holocene naar het pleistocene pakket ligt op een niveau van NAP -20 à -25 m (lit. 10).

In het zandwingebied "Tholensche Gat" is geen geologisch onderzoek uitgevoerd. De boringen in de nabijheid van deze zandwinplaats geven echter geen aanleiding om te veronderstellen dat de begrenzing van het holocene pakket op een andere niveau ligt dan ter plaatse van het zandwingebied "Speelmansplaten". Daarom wordt er vanuitgegaan dat ook hier de overgang van het holocene naar het pleistocene pakket ligt op een niveau van NAP -20 à -25 m. Zoals reeds eerder is vermeld (zie par. 3.1) is de ondergrond zettingsvloeiingsgevoelig, waarbij geldt dat het holocene zand veel gevoeliger is voor dit verschijnsel dan het pleistocene zand. Het is daarom niet uitgesloten dat, als gevolg van het winproces, een zettingsvloeiing zal ontstaan.

Om te voorkomen dat hierdoor bestaande konstrukties worden aangetaast mag de ondergrond beneden een helling 1:15 niet worden geroerd (gerekend vanaf de begrenzing van de wingebieden). Bij deze helling wordt geen onderscheid gemaakt tussen holocene en pleistocene zand, omdat niet bekend is in hoeverre het pleistocene zand ter plaatse zettingsvloeiingsgevoelig is. Om de informatie over het wingebied uit te breiden (met name in het wingebied "Tholensche Gat") zal in een later stadium een aantal aanvullende



Figuur 3.3.4 Histogram D_{50} -verdeling zandwinplaats "Speelmansplaten"

boringen worden uitgevoerd. Tevens kan dan worden nagegaan of het mogelijk is een eventueel aanwezige hoeveelheid grover zand in beide wingebieden te lokaliseren en te reserveren voor de moeilijkste fase van de sluiting.

Op grond van de thans beschikbare informatie mag er niet van uitgegaan worden dat zulk een hoeveelheid afzonderlijk winbaar is.

De winplaats "Speelmansplaten" bevat circa $8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ zand en de winplaats "Tholensche Gat" circa $2,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ zand, bij een win-diepte tot NAP -20 m en rekening houdend met taluds van 1:15. In elke winplaats is ruimte voor twee zuigers.

Gelet op de milieubelangen zal er naar worden gestreefd de diepe gedeelten van het Tholensche Gat westelijk van het eiland door middel van een smalle geul met elkaar te verbinden.

3.3.2 Zandkarakteristiek

Ter bepaling van het stortverlies wordt uitgegaan van de gemiddelde korreldiameter D50 van het winzand en ter bepaling van het bodemverlies van de D50 van het zand in de sluitgatbodem.

Voor de bepaling van de maatgevende korreldiameter van het zand in de winplaats en de sluitgatbodem is gebruikgemaakt van grondmechanisch onderzoek, waarbij het zand van het gehele wingebied is geklassificeerd aan de hand van de D50. Voor de bepaling van de gewogen gemiddelde D50 van het gehele gebied wordt de per klasse berekende hoeveelheid als vermenigvuldigingsfaktor gebruikt. Tevens is de standaardafwijking van de D50 bepaald (fig. 3.3.4).

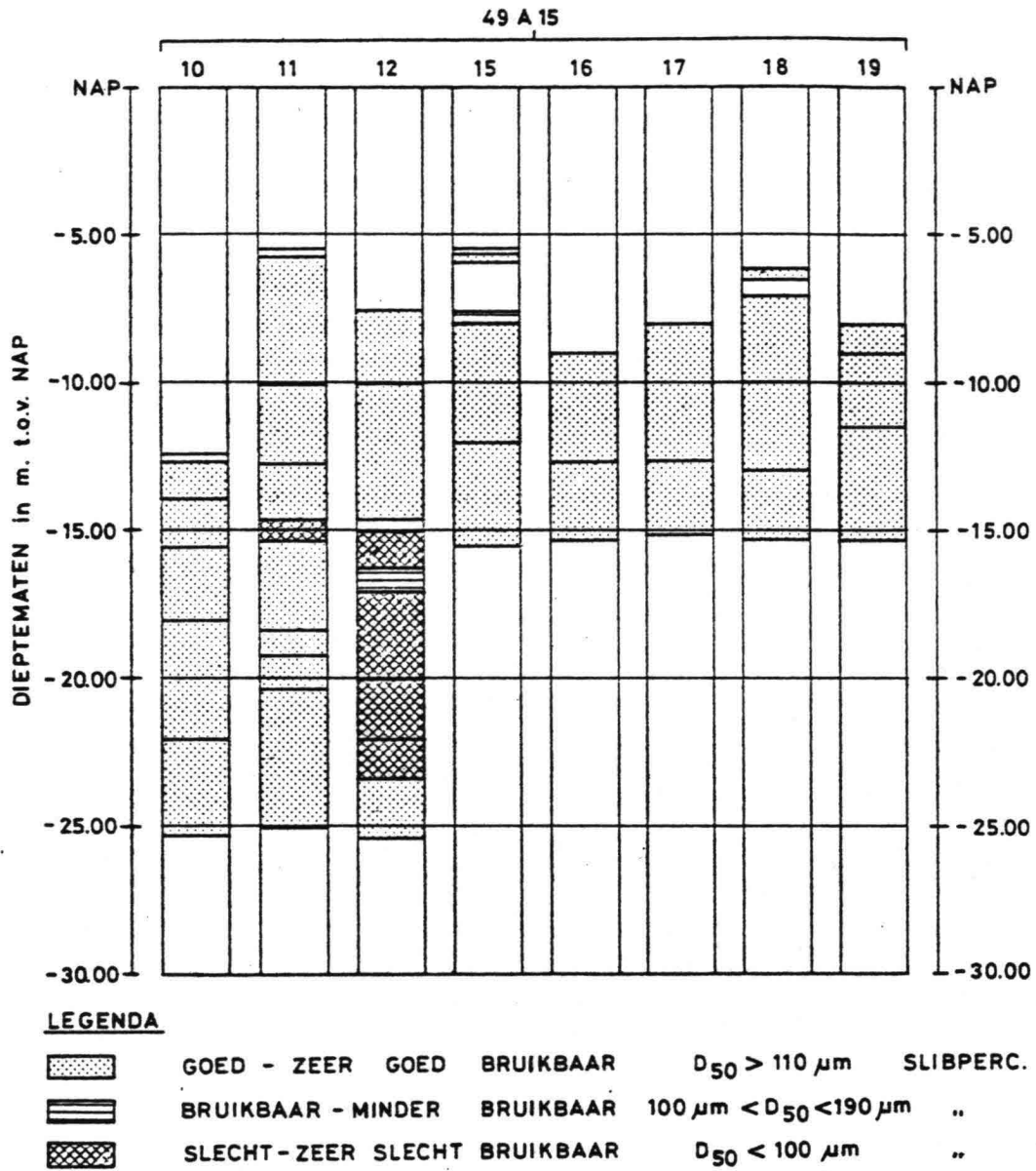
In tabel 3.3.1 zijn de volgens bovenstaande methode gevonden waarden weergegeven.

D50	sluitgatbodem	zandwinplaats "Speelmansplaten"
gemiddelde	215 μm	185 μm
standaardafwijking	60 μm	50 μm

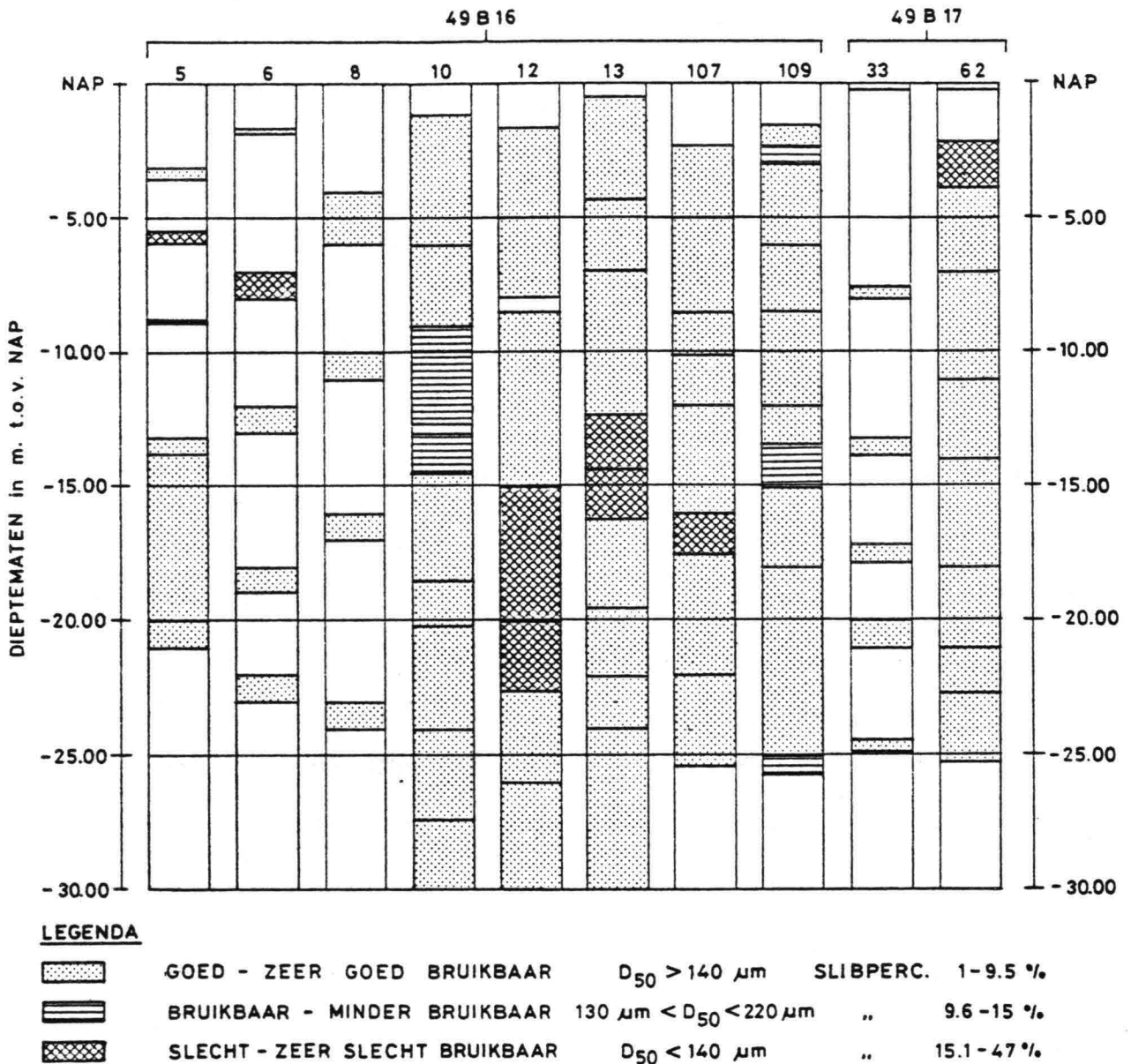
Tabel 3.3.1 Zandkarakteristiek zandwinplaats "Speelmansplaten"

Met de beschikbare grondmechanische gegevens in de omgeving van de winplaats "Tholensche Gat" is het niet mogelijk op de beschreven manier de gewogen gemiddelde korreldiameter van het zand in deze winplaats te bepalen. Uit een analyse van de beschikbare boringen vlakbij de zandwinplaats "Tholensche Gat" is gebleken, dat de zandkarakteristieken grote overeenkomst vertonen met die uit de zandwinplaats "Speelmansplaten".

In de figuren 3.3.5 en 3.3.6 is een aantal uitgevoerde boringen gepresenteerd voor respectievelijk de zandwinplaats "Speelmansplaten" en het gebied ten zuiden van de winplaats "Tholensche Gat", met behulp waarvan tevens een algemene indruk wordt gegeven over de mate van bruikbaarheid van het te winnen zand, waarbij een koppeling is gelegd met het slibpercentage (kleiner dan 63 μm).



Figuur 3.3.5 Boringen zandwinplaats "Speelmansplaten"



Figuur 3.3.6 Boringen nabij zandwinplaats "Tholensche Gat"

3.4 Materieel

3.4.1 Kapaciteiten/beschikbaarheid

Bij de sluitingen van de compartimenteringsdammen moeten in betrekkelijk korte tijd grote hoeveelheden zand verwerkt worden. Inzet van bijzonder materieel voor het bereiken van hoge producties gedurende de korte sluitingsoperaties werkt sterk kostenverhogend. Onder "bijzonder materieel" wordt hier verstaan speciaal voor de sluitingen gebouwd of verbouwd materieel, incurant materieel zoals zuigers van uitzonderlijk groot vermogen, of werktuigen die voornamelijk in het buitenland opereren. In verband met onzekerheden omtrent de kwaliteit van het zand, stroomcondities

en weersinvloeden op het moment van sluiting en vanwege de onzekerheid van de zandsluitingsberekeningen, moet gerekend worden met voldoende overcapaciteit aan zandproduktie en aan materieel op het stort.

Nat materieel

De sluiting van het Tholensche Gat vraagt grote zuigerkapaciteiten. Het aantal in te zetten zuigers wordt beperkt door de afmetingen van het te maken werk en van de zandwinplaatsen. Zowel winzuigers als (grote) cutterzuigers zijn in staat om hoge producties bij een winning tot NAP -20 m te realiseren.

De ligging van beide winplaatsen in en langs de geul van het Tholensche Gat en de bepaling dat, uit milieuoverweging, na het winnen geen putten dieper dan NAP -20 m achter mogen blijven, biedt een winzuiger weinig mogelijkheden de putproduktie op te voeren door de putdiepte te vergroten. Daar uit het grondmechanisch onderzoek bovendien blijkt dat het winzand plaatselijk verontreinigd is met klei- en veenlaagjes, moet gekonkludeerd worden dat de zandwinning met behulp van cutterzuigers moet worden uitgevoerd.

Uit een inventarisatie van zuigers, in bezit (of mede in bezit) van Nederlandse en Belgische aannemers blijken voldoende cutterzuigers, die tot deze diepte kunnen zuigen, voorhanden te zijn, die bovendien allemaal zijn voorzien van een onderwaterpomp met voldoende vermogen. Bij dergelijke zuigers is een netto produktie haalbaar van 2.500 á 3.000 m³/u. Deze inventarisatie is niet compleet; ongetwijfeld zullen meer zuigers voldoen of aangepast kunnen worden aan de gestelde eisen, terwijl bovendien regelmatig zuigers verbouwd en vervangen worden. Hoewel een aantal van deze zuigers momenteel in het buitenland werkzaam is (Midden-Oosten, Canada enz.), mag aangenomen worden dat de voor dit werk in aanmerking komende aannemers(kombinaties) te zijner tijd over voldoende geschikt materieel kunnen beschikken om in onderlinge concurrentie op het werk te kunnen inschrijven.

Droog materieel

Voor werkzaamheden op het stort, het aanvoeren en aankoppelen van leidingbuizen en voor drooggrondverzet in de laatste fase van de sluiting worden bulldozers, hydraulische kranen, loaders en eventueel dumpers ingezet. Een perskade, breed genoeg om met een hydraulische kraan over te kunnen rijden, heeft een inhoud van circa 50 m³/m. Een bulldozer type D8/D9 verzet per uur circa 150 m³. Aangenomen mag worden dat voor dit soort grote werken in aanmerking komende aannemers over voldoende bulldozers, hydraulische kranen, loaders enz. kunnen beschikken.

3.4.2 Benodigde kruinbreedte van de sluitkade tijdens de opbouw

Om de sluitingsduur zo kort mogelijk te houden en daarmee de zandverliezen te beperken wordt de kruinbreedte van de sluitkade minimaal gehouden. Over de kruin van de sluitkade worden leiding-



zandwinplaats Speelmansplaten



een breed stort



zandwinplaats Speelmansplaten

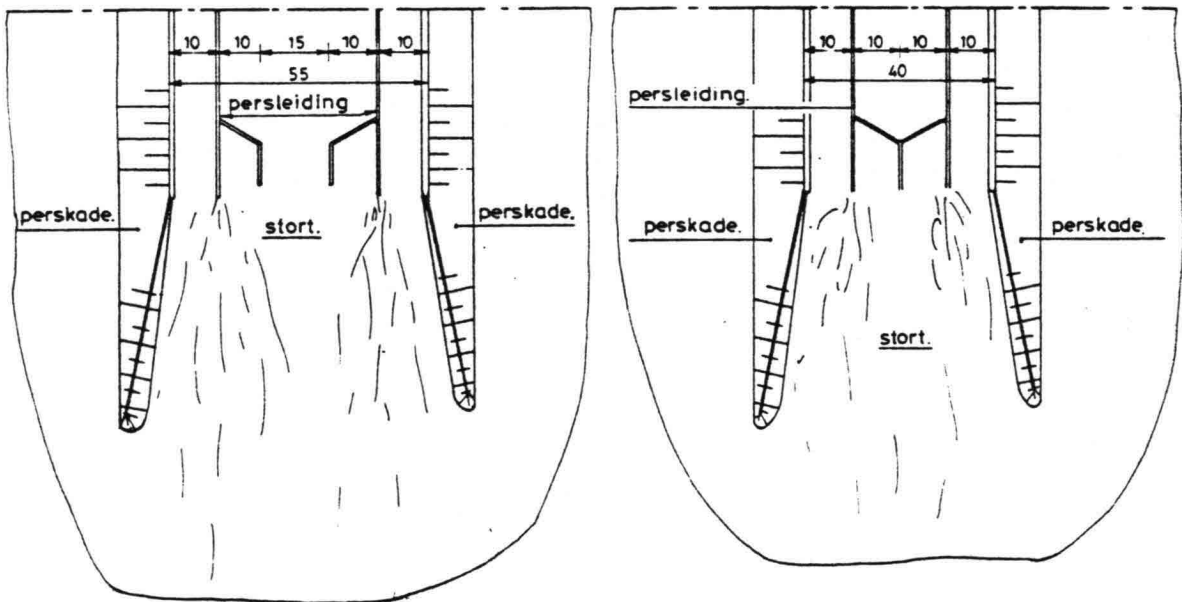


een breed stort

en naar het stort gelegd. Op de sluitkade moet voldoende ruimte aanwezig zijn voor het werken aan de leidingen (verlengen, wissel plaatsen) en voor de aanvoer van persleidingen en machines naar het stort. Voor de tussenruimte tussen twee leidingsystemen is minimaal circa 15 m nodig. Voor een rijbaan voor aanvoer van leidingen en materieel is een ruimte van 20 à 25 m gewenst. De kruinbreedte van de sluitkade kan beperkt worden door per twee zuigers één afgesplitste leiding aan te leggen in plaats van één per zuiger. Als algemene richtlijn kan tabel 3.4.1 gehanteerd worden (lit. 23):

Aantal zuigers	kruinbreedte kade
1	circa 40 m
2	40 à 55 m

Tabel 3.4.1 Benodigde kruinbreedte



Figuur 3.4.1 De leidingen op het stort voor twee zuigers

In fig. 3.4.1 wordt de inrichting van het stort geïllustreerd. Verschillende aannemers beschikken over een snelkoppelsysteem, waarmee het mogelijk is een leiding te verlengen zonder dat de produktie door die leiding stopgezet hoeft te worden. Indien tijdens de slotfase bij maximale capaciteit met een minimaal profiel moet worden gewerkt, zou bij toepassing van dit systeem de kruinbreedte aanzienlijk beperkt kunnen worden. Pijpenhandelingen en bulldozeractiviteiten moeten dan wel goed voorbereid en georganiseerd worden om op de minimale stortbreedte de maximale produktie te verwerken en deze onder controle te houden.

3.4.3 Werkbaarheid

Golven en wind

De significante golfhoogte met een overschrijdingsfrequentie van 10^{-2} per jaar voor de maand oktober bedraagt 1,20 m voor de westzijde van het sluitgat.

Grote zuigers met een drijvende leiding kunnen nog werken bij golven van 1 à 1,50 m. Met het benodigde grote materieel kan doorgewerkt worden tot windkracht 8 à 9.

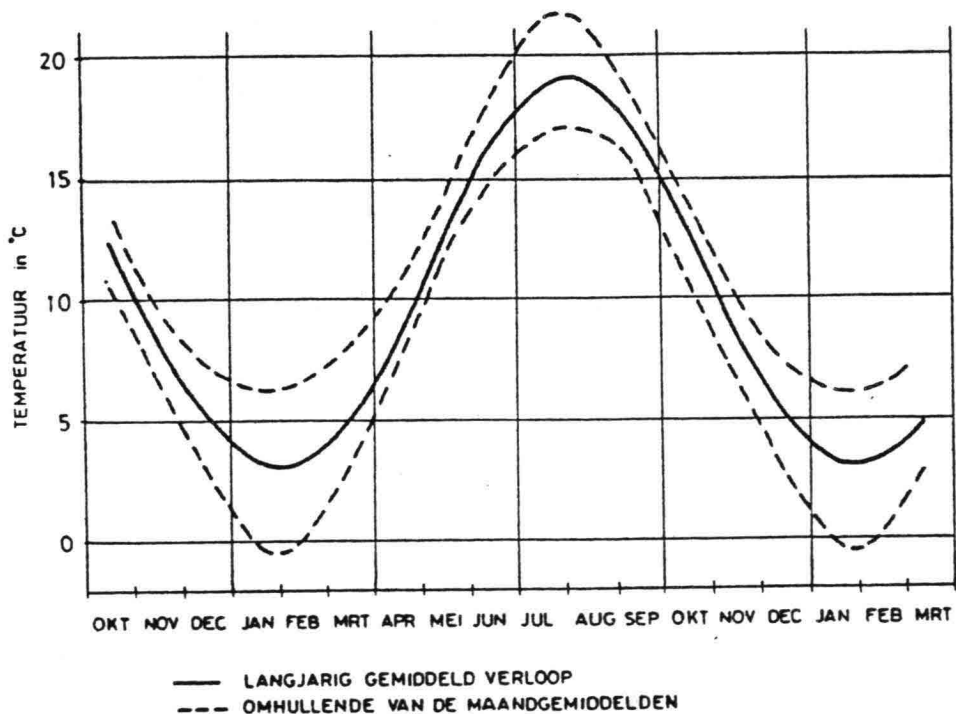
Stroom

Het maakt een groot verschil of het schip met de kop of met het achterschip op stroom kan liggen terwijl het werkt, of dat het onder een hoek met de stroom moet werken, zoals het geval kan zijn bij een cutterzuiger tijdens het bewegen langs de bres. Voor deze zuiger is vooral de situatie gevaarlijk als het water aan de ladderzijde aanstroomt. Het gevaar bestaat dat de zuiger rond zijn spudpaal valt, waarbij paal en drijvende leiding vernield kunnen worden. Voor de meeste grote cutterzuigers kan de grens op circa 1,5 à 2 m/s gesteld worden.

3.5 Vorst/ijsgang/mist/watertemperatuur

Vorst en ijsgang

Aangezien de sluiting van het Tholensche Gat in oktober wordt uitgevoerd hoeft met deze weersomstandigheden geen rekening gehouden te worden.



Figuur 3.5.1 Watertemperatuurverloop te Bruinisse

Mist

Met het voorkomen van mist tijdens de sluiting moet rekening worden gehouden. De hinder voor de werkvaart kan worden beperkt door de toepassing van geëigende middelen (radar, geluidsignalen).

Watertemperatuur

Het gemiddelde verloop van de watertemperatuur over het jaar is weergegeven voor het station Bruinisse in fig. 3.5.1. Tevens zijn de omhullenden getekend van de maandgemiddelde temperaturen die in de jaren 1971/1980 zijn opgetreden.

4 ONTWERP ZANDSLUITING

4.1 Inleiding

Een zandsluiting komt in feite neer op het met zand horizontaal uitbouwen van een sluitkade. Tijdens de sluiting treden verliezen op zowel op het stort, waar het zand uit de perspijp in overmaat wordt aangevoerd, als op de bodem van het sluitgat.

Om de voortgang van de sluiting te kunnen bepalen moeten zandverliesberekeningen worden uitgevoerd. De wijze waarop het zandverlies in het sluitgat kan worden berekend wordt beschreven in par. 4.2. In die paragraaf komt tevens het toepassingsgebied van de berekeningsmethode aan de orde.

In par. 4.3 is een aantal sluitingsvarianten vergeleken en is hieruit een keuze gemaakt.

Voordat de zandverliesberekeningen kunnen worden uitgevoerd moeten het dwarsprofiel en het stortprofiel van de uit te bouwen sluitkade worden vastgesteld (par. 4.4).

Om het sluitingsproces voor berekeningen toegankelijk te maken wordt de zandsluiting geschematiseerd tot een aantal bouwfasen (par. 3.2.4). Voor deze bouwfasen zijn de hydraulische randvoorwaarden berekend. Voor de berekeningen waarbij voor alle parameters de verwachtingswaarde is ingevuld, zijn tevens probabilistische berekeningen gemaakt in verband met de mogelijke afwijkingen van de verwachtingswaarden. De hiervoor gebruikte methode wordt behandeld in hoofdstuk 6.

In par. 4.5 wordt ingegaan op de manipulatie van de stormvloedkering. In par. 4.6 wordt de totale zuigerproduktie vastgesteld op basis van de beschikbare ruimte in de beide zandwinplaatsen. Verder volgens komen in par. 4.7 de zandsluitingsberekeningen aan de orde.

In par. 4.8 wordt nagegaan in hoeverre erosie in de omgeving van het sluitgat moet worden verwacht. In par. 4.9 wordt de grondmechanische stabiliteit van de ontworpen sluitkade en van de beide oevers gepresenteerd.

4.2 Methode van zandverliesberekeningen

De zandverliesberekeningen zijn per bouwfase berekend met het programma ZANDSOM. Dit programma is gebaseerd op de zandtransportformule van Morra-Kalinske. In de ontwerp-nota zandsluiting Krammer (lit. 17) wordt nader ingegaan op de berekeningsmethode van de zandtransportkapaciteit en de zandverliezen in een sluitgat. Uit een in lit. 17 opgenomen parameterinventarisatie van een aantal in het verleden uitgevoerde zandsluitingen blijkt, dat het ervaringsgebied bij zandsluitingen reikt tot een maximum stroomsnelheid van 2,5 à 3 m/s en tot een maximum diepte in het sluitgat van NAP -12 m. Beide maxima behoren niet bij eenzelfde sluiting. Dit betekent dat de zandsluiting van het Tholensche Gat moet worden uitgevoerd buiten het bestaande ervaringsgebied. Immers de maximum diepte is NAP -22 m, terwijl de maximum stroomsnelheden zullen oplopen tot 5 m/s bij een normaal gedempt getij (mA stormvloedkering = 16.700 m²).

Om nu met voldoende zekerheid te kunnen ontwerpen zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- a. De zuigerproduktie moet minimaal tweemaal het berekende zandverlies over een getij bedragen. In dit verband wordt nog opgemerkt dat in een later stadium van het ontwerpproces een probabilistische analyse is uitgevoerd waarbij de maximale verliezen worden vergeleken met de zuigerproduktie.
- b. De hydraulische randvoorwaarden in het sluitgat worden aangepast wanneer de maximale stroomsnelheden gemiddeld over het sluitgat 3 m/s bereiken. Het verticale getij in het sluitgat zal dan worden geknepen door manipulatie van de stormvloedkering waardoor de stroomsnelheden zullen afnemen.

4.3 Sluitingsvarianten

Voor een zandsluiting zijn in principe een drietal varianten mogelijk, te weten:

- a. een sluiting vanaf de noordzijde (eenzijdig stort);
- b. een sluiting vanaf de zuidzijde (eenzijdig stort);
- c. een sluiting vanaf beide zijden (tweezijdig stort).

Van belang hierbij is dat de totale zandverliezen afhankelijk zijn van de oppervlakte van het stort en van de bodem. Het verloop van het stortoppervlak tijdens de sluiting is belangrijk bij de keuze van de variant, omdat ter plaatse van het stort relatief grote verliezen optreden.

Op het lengteprofiel van het Tholensche Gat (fig. 3.1.2 en bijlage 4) is te zien dat niet echt sprake is van een ondiep gedeelte in de geul, in tegenstelling tot in het Krammer en het Slaak. In de laatste fase van de zandsluiting treden hoge stroomsnelheden op. Bij een sluiting naar één van beide oevers zou daardoor de stabiliteit van deze oevers in gevaar kunnen komen, tenzij over voldoende afstand stroombestendige verdedigingen worden aangebracht (variant a en b). Van de oever van het werkeiland is bekend dat deze zettingsvloeiingsgevoelig is terwijl de Tholense oever onderdeel is van de hoogwaterkering en gekenmerkt wordt door steile, afschuivingsgevoelige taluds (fig. 3.1.3). Van een omvangrijke verdediging van één van beide oevers zou kunnen worden afgezien als de stroom van het eiland zou worden weggehouden, bijvoorbeeld door de bouw van een damaanzet.

In lit. 4 is vastgesteld dat pas van enig ontlastend effect op de oever sprake is bij een lengte van de damaanzet van minstens 50 m. Bovendien moeten met het oog op ontgrondingen bij voorkeur flauwe koptaluds worden toegepast om de opwekking van drie-dimensionale effecten en wervelstraten tegen te gaan.

Als variant op het bouwen van een damaanzet in combinatie met een zandsluiting vanaf één zijde bestaat de mogelijkheid om vanaf twee zijden met zand te sluiten (variant c). Dit heeft als nadeel dat een groter deel van het sluitgat als stort moet worden beschouwd waardoor systematisch grotere zandverliezen zullen optreden. In feite is bij deze sluitingsvariant sprake van twee voortschrijdende damaanzetten waarvan de taluds zo flauw zullen zijn dat drie-dimensionale stromingen en wervelstraten niet of nauwelijks zullen optreden.

Voor het ontwerp van de zandsluiting is gekozen voor een tweezij-

dig stort (variant c), omdat in dit geval uitgebreide oeverbeschermingen achterwege kunnen blijven. De grotere zandverliezen die bij deze variant zullen optreden ten opzichte van een sluiting vanaf één zijde worden geaccepteerd.

4.4 Ontwerp van de sluitkade

4.4.1 Dwarsprofiel

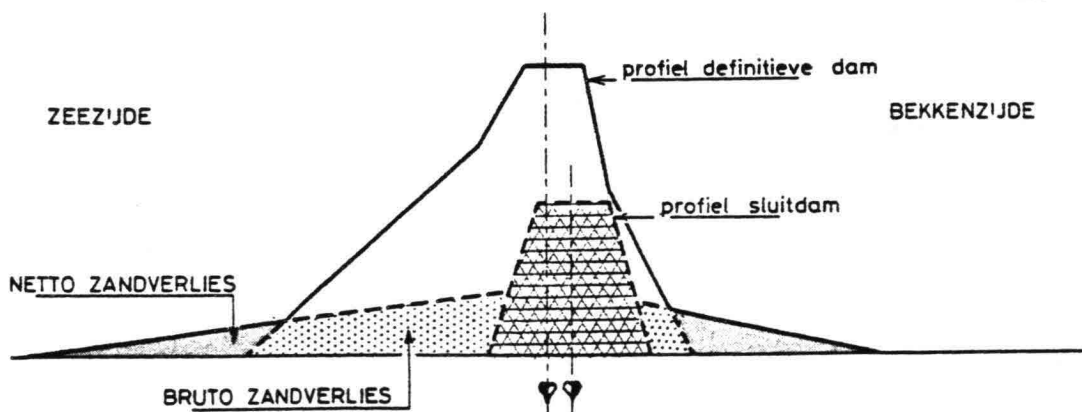
Het dwarsprofiel van de sluitkade wordt vastgelegd door kruinbreedte, kruinhoogte, zijtaluds boven en onder water en de bodemligging. Omdat de zandverliezen bij een kortere sluitingsduur lager zijn, wordt het profiel van de sluitkade minimaal gehouden. Aan de sluitkade worden lagere eisen gesteld dan aan de definitieve dam: alleen gedurende de relatief korte tijd van de sluitingsperiode moet het profiel voldoende volume en hoogte hebben om niet door golven en stroom uitgevlakt te worden. De definitieve dam daarentegen moet gedurende vele jaren als waterkering gehandhaafd blijven en overige functies vervullen.

Ter vaststelling van het dwarsprofiel dat in de berekeningen zal worden gebruikt zal op de volgende onderwerpen worden ingegaan:

- a. situering van de sluitkade
- b. kruinbreedte
- c. kruinhoogte
- d. zijtaluds

Situering van de sluitkade

Indien de zandverliezen in een overheersende richting zouden optreden, kan besloten worden het profiel van de sluitkade niet in het hart van de definitieve dam te situeren, maar zodanig dat de brutoverliezen nog zoveel mogelijk binnen het profiel van de definitieve dam vallen (fig. 4.4.1).



Figuur 4.4.1 Voorbeeld van verschuiving van de as van de sluitkade ten opzichte van de as van de definitieve dam in het geval van asymmetrische zandverliezen.

Het brutoverlies is het zand dat buiten het sluitkadeprofiel terecht komt en is relevant in verband met de voortgang van de sluiting. Het nettoverlies is het zand dat buiten het definitieve damprofiel terecht komt en is van belang voor de totale kosten.

Omdat de verliezen bij vloed en eb nagenoeg symmetrisch zijn en omdat de breedte een excentrische ligging niet toelaat, wordt de as van de sluitkade op de as van de definitieve dam gelegd.

Kruinbreedte

Bekeken is hoe het profiel van de sluitkade past in het profiel van de eindsituatie. Uit een vergelijking blijkt dat een stortbreedte van 50 m nog net past in het eindprofiel, daar waar de geul het diepst is (circa NAP -22 m). Een breder stortprofiel hier heeft dus als gevolg dat een aanzienlijke hoeveelheid zand buiten het eindprofiel gespoten wordt.

Figuur 3.4.1 laat zien dat 40 m de minimale stortbreedte voor twee zuigers is, waarbij de twee zuigers steeds met één gekombineerde doorstelleiding werken.

Kruinhoogte

Bij de keuze van de kruinhoogte moet aan de volgende voorwaarden worden voldaan:

- een zo gering mogelijke hoogte van de stortpijp boven water;
- een hoogwatervrije ligging van de stortpijp gemiddeld hoogwater is circa NAP +1,50 m);
- een aanvaardbaar kleine kans dat de sluitkade doorbreekt;
- een minimale daminhoud van de sluitkade;

Wanneer de kade gereed is op NAP + 3 m, zal de stormvloedkering weer het normale getij doorlaten. Binnen één dag wordt de kruin dan opgehoogd tot NAP +5 m. Uit een DUROS-berekening (lit. 5) voor een kruin op NAP +3 m blijkt, dat de kans op een doorbraak gedurende één dag $3 \cdot 10^{-3}$ bedraagt. Aangezien bij ongunstige weersomstandigheden de stormvloedkering één of twee getijden langer gesloten gehouden kan worden, kan een aanzienlijke reductie van de bezwijkkans worden verkregen. Voor de risico-analyse is een bezwijkkans van 10^{-3} gehanteerd. Uit een terugkoppeling van de risico-analyse blijkt dat een kruinniveau op NAP +3 m voldoende is.

Zijtaluds

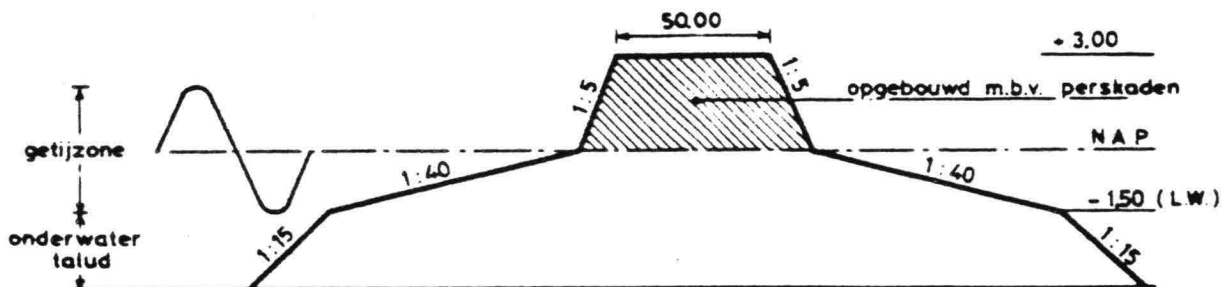
Onderscheid dient te worden gemaakt tussen het onderwatertalud, het talud in de getijzone en het talud daarboven. Verder kan er een verschil optreden tussen het zijtalud aan de zeezijde en aan de bekkenzijde van de sluitkade.

De zijtaluds worden niet als ontwerp-grootheid gekozen; ze ontstaan onder invloed van de korrelsamenstelling en van stroom en golven. Tengevolge van golfaanval kan het talud in de getijzone aan de zeezijde flauwer zijn dan aan de bekkenzijde.

Gezien de ervaringen die zijn opgedaan bij diverse sluitingen en bij de aanleg van verschillende damvakken en werkeilanden in het Oosterscheldegebied en gezien de samenstelling van het zand, is uitgegaan van de volgende taluds voor beide zijden:

- beneden laagwater 1:15
- laagwater tot NAP 1:40
- boven NAP 1:5

Hierbij is ervan uitgegaan dat boven NAP perskaden worden opgezet met bulldozers, kranen enz.. Een en ander resulteert in het dwarsprofiel volgens figuur 4.4.2.

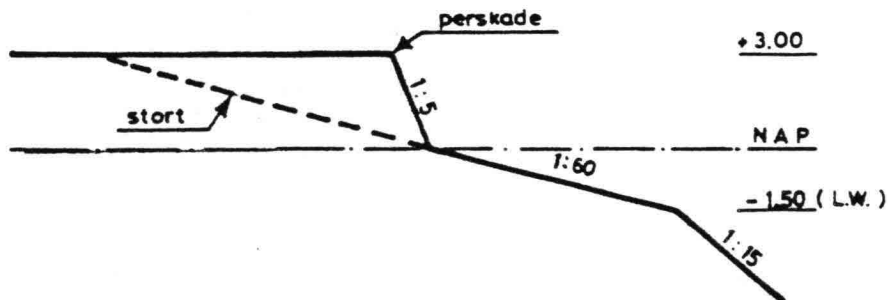


Figuur 4.4.2 Dwarsprofiel sluitkade

In hoofdstuk 6 wordt nagegaan in hoeverre het eindresultaat (totale zandverlies en sluitingsduur) gevoelig is voor de hier gemaakte keuzen.

4.4.2 Stortprofiel

Gedurende de sluiting verplaatst het stort zich voorwaarts zonder wezenlijke verandering van het talud. Het talud boven NAP is daarbij vrij steil, omdat dit gedeelte wordt opgesloten tussen, in de laagwaterperiode opgezette, perskaden. Het aangegeven talud betreft dus de perskade; het eigenlijke stort heeft een veel flauwer talud, maar dat is voor de berekeningen niet van belang (figuur 4.4.3).



Figuur 4.4.3 Stortprofiel

In hoofdstuk 6 is ook voor het stortprofiel de gevoeligheid van de taluds onderzocht.

4.4.3 Ontwerptekeningen sluitkade

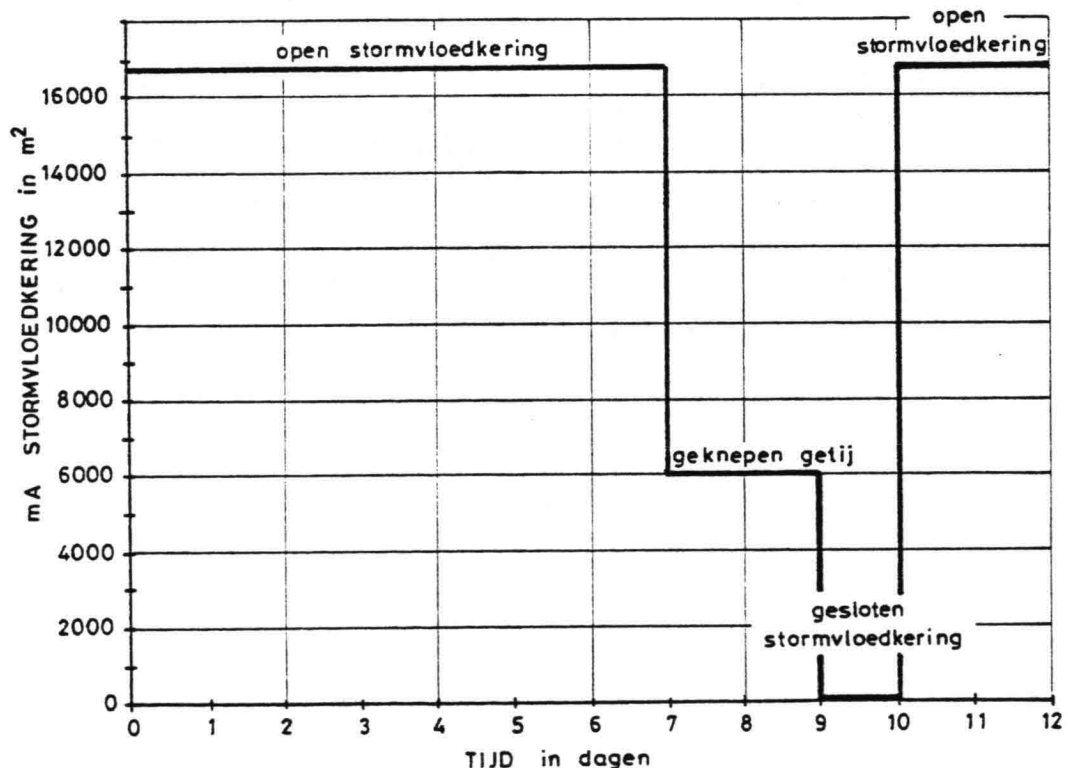
In de bijlagen 1 en 3 zijn de ontwerptekeningen van de sluitkade vastgelegd.

4.5 Manipulatie van de stormvloedkering

Voor het uitvoeren van de sluiting van het Tholensche Gat met zand is het manipuleren van de stormvloedkering, net als bij de Krammersluiting, onontbeerlijk. Getracht is, in verband met de milieu-belangen, een kortdurend en weinig ingrijpend gebruik van de stormvloedkering te maken. Om dit te bereiken wordt uitgegaan van het volgende gebruiksscenario (figuur 4.5.1):

- Een getij, waarbij de stormvloedkering geheel openstaat (MA-stormvloedkering = 16.700 m^2). Deze situatie zal gedurende de eerste week van de sluiting optreden.

- b. Wanneer het zandverlies over een getij tot 50% van de produktie over dezelfde periode is opgelopen, wordt de doorstroomopening van de stormvloedkering verkleind tot mA-stormvloedkering = 6.000 m². Het getij op de Oosterschelde wordt daardoor gedempt tot circa 40% (gemiddeld getijverschil te Yerseke = 1,25 m). Deze fase begint, wanneer het doorstroomprofiel van het Tholensche Gat nog circa 1700 m² bedraagt en duurt nagenoeg 2 dagen.
- c. Wanneer het zandverlies bij het geknepen getij opnieuw tot 50% van de produktie is opgelopen (bij mA sluitgat = circa 375 m²) wordt de stormvloedkering geheel gesloten. Daarbij wordt het Oosterscheldepeil op circa NAP -0,60 m gesteld in verband met milieubelangen. Vanwege het lekdebiet door de stormvloedkering zal het peil op de Oosterschelde in een dag naar circa NAP -0,25 m oplopen. Hierdoor en door translatiegolven en lokale windeffekten zal een getijverschil blijven bestaan van enkele decimeters, waarbij de snelheden in het sluitgat tot ruim 1 m/s kunnen oplopen. Deze fase met geheel gesloten stormvloedkering duurt circa 1 dag, waarin de laatste fase van de sluiting in den droge wordt uitgevoerd. Aan het eind van die dag is een sluitkade met een kruinhoogte van NAP +3 m aanwezig, waarna de stormvloedkering weer geopend kan worden.

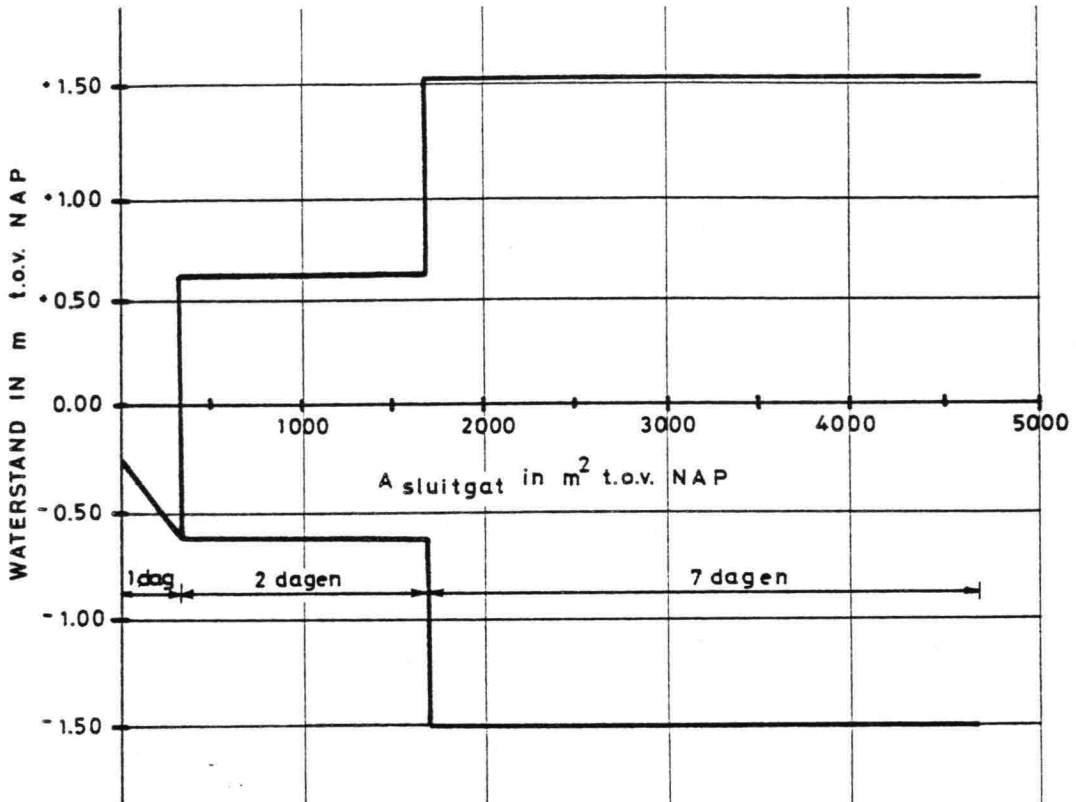


Figuur 4.5.1 Scenario manipulatie stormvloedkering

De invloed van de manipulatie op het gemiddelde getij bij Yerseke is geschetst in figuur 4.5.2.

Tijdens de gehele sluitingsduur en circa 1 week daarna worden de extreme risico's van hoogwater beperkt door een aangepast beheer van de stormvloedkering. In de dag direct na de sluiting wordt de sluitkade verhoogd tot circa NAP +5 m, waarna de dam onder pro-

fiel gebracht en bekleed wordt.



Figuur 4.5.2 Verloop gemiddelde hoog- en laagwaterstand te Yerseke tijdens de sluiting

4.6 Keuze van de zuigerproductie

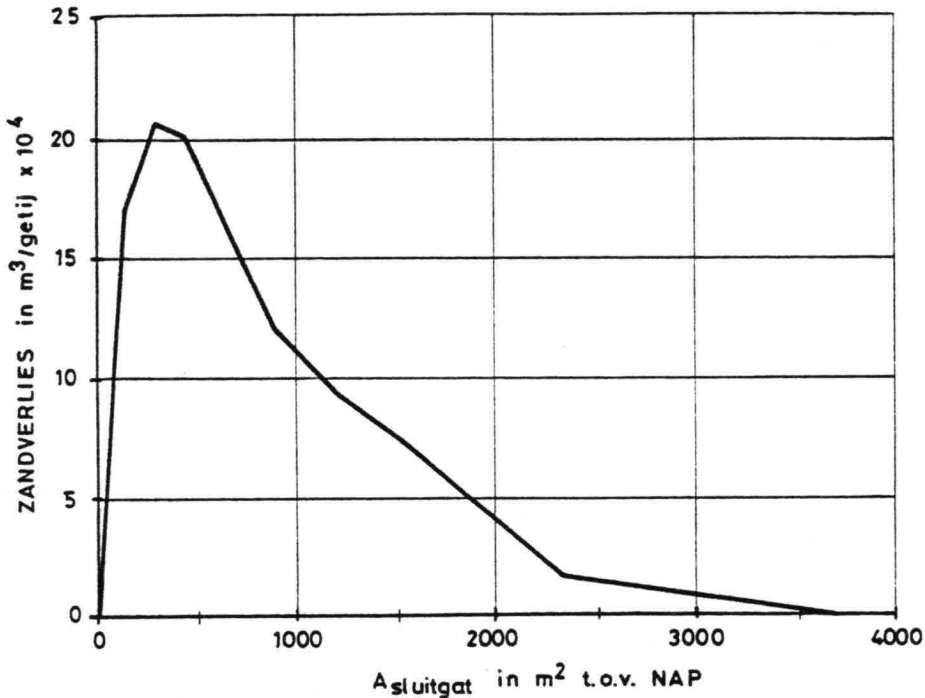
Naar analogie van de berekeningen ten behoeve van het ontwerp van de zandsluiting van het Krammer wordt gesteld, dat op economische gronden de produktie zo groot mogelijk moet worden gekozen. De maximaal haalbare produktie wordt bepaald door de afmetingen van de zandwinplaatsen. Er is slechts plaats voor twee zuigers in elke zandwinplaats. Gezien de samenstelling van de bodem en de geometrie van de zandwinplaatsen wordt met cutterzuigers gewerkt. Wil men niet in weinig courant materieel vervallen, dan geldt een netto capaciteit van $2.500 \text{ m}^3/\text{u}$ per zuiger als bovengrens (par.3.4.1). Voor het ontwerp wordt derhalve gekozen voor een netto produktie van $10.000 \text{ m}^3/\text{u}$, die verdeeld wordt over beide storten.

4.7 Resultaten van de zandsluitingsberekeningen

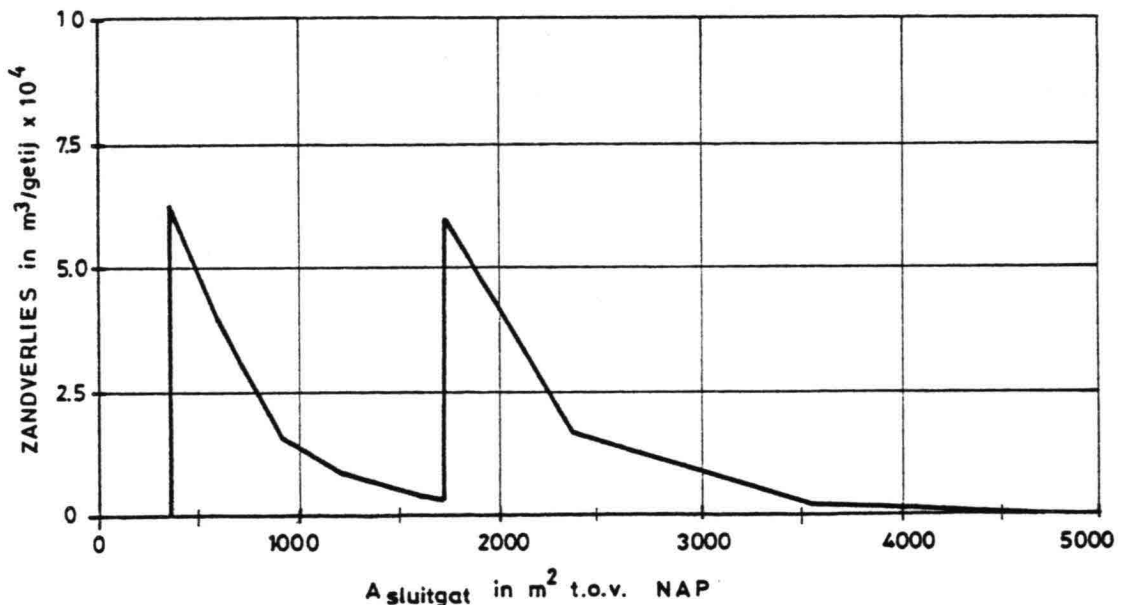
Allereerst is een zandverliesberekening uitgevoerd bij een gemiddeld getij (mA stormvloedkering= 16.700 m^2). Daarbij wordt een maximaal zandverlies gevonden van $18.000 \text{ m}^3/\text{u}$ gemiddeld over een getij. Een zandsluiting onder deze omstandigheden is dus uitgesloten. Bij een doorstroomprofiel in het sluitgat van 1.710 m^2 wordt het in par. 4.2 vermelde criterium voor het nog toelaatbare zandverlies (50% van de netto produktie berekend over een getij)

bereikt; de maximum stroomsnelheid in het sluitgat bedraagt dan circa 1,8 m/s.

Vervolgens is een analoge berekening uitgevoerd bij een tot 40% gedempt getij (mA stormvloedkering=6.000 m²). Het zandverlies bereikt dan een waarde van 60% van de netto zuigerproduktie bij een doorstroomprofiel van 300 m². Hieruit blijkt dan ook bij dit sterk gedempte getij het ontwerpkriterium wordt overschreden.



Figuur 4.7.1 Zandverlies bij gemiddeld getij (mA stormvloedkering = 16.700 m²)



Figuur 4.7.2 Zandverlies bij gebruik van de stormvloedkering



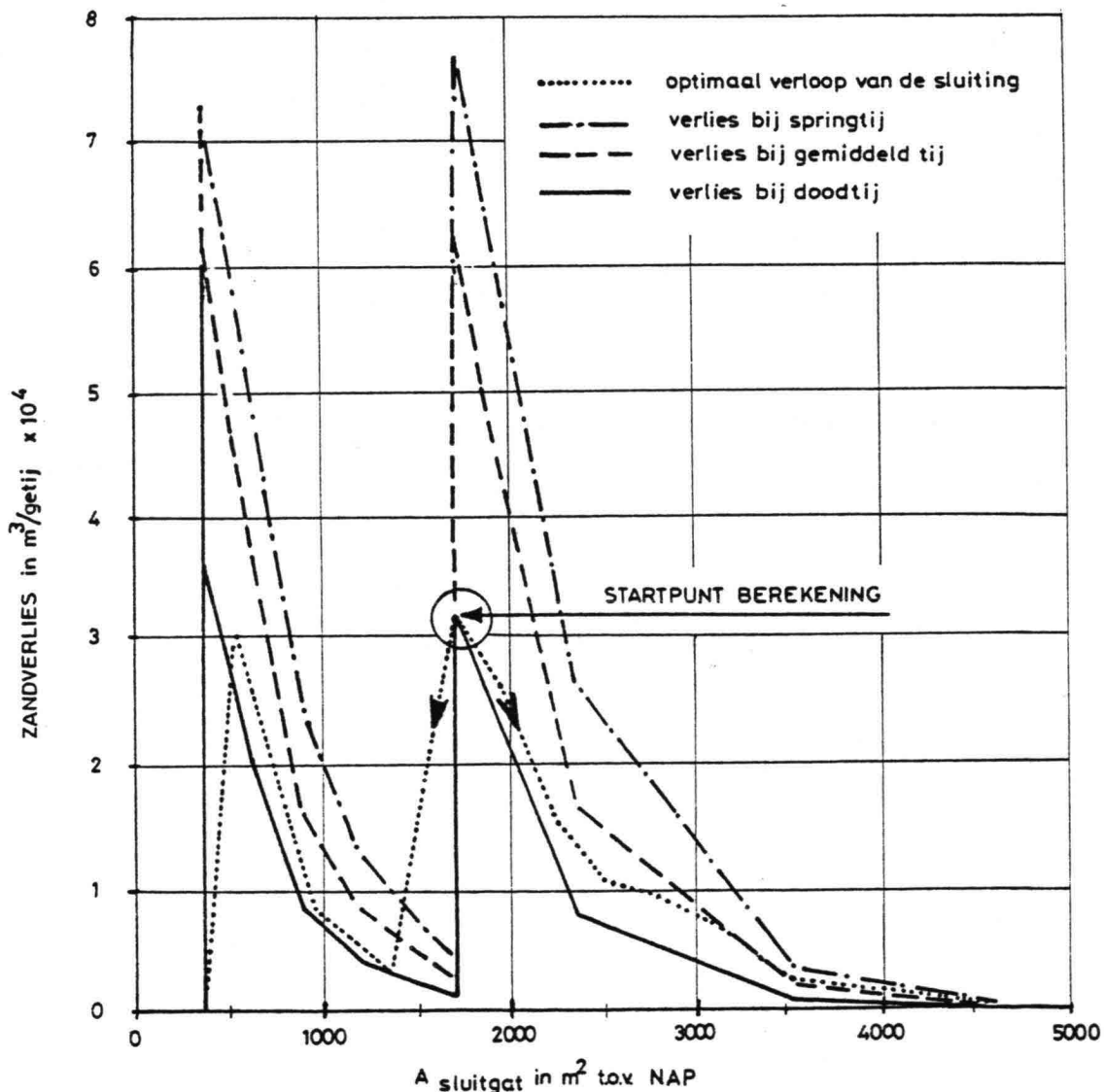
werkzaamheden op een zandstort



Deze overschrijding vindt plaats bij een doorstroomprofiel van circa 375 m^2 waarbij de maximum stroomsnelheid circa $2,5 \text{ m/s}$ bedraagt. Vanaf deze sluitingsfase zal de stormvloedkering gesloten moeten worden om de sluiting mogelijk te maken.

In fig. 4.7.1 is het zandverlies als functie van het resterende doorstroomprofiel van het sluitgat weergegeven voor het gemiddelde getij. In fig. 4.7.2 is het verloop van het zandverlies getekend bij het gebruik van de stormvloedkering. De totaal benodigde hoeveelheid zand bedraagt circa $2,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (tot NAP +3 m); de sluitingsduur bedraagt circa 10 dagen. Deze waarden moeten worden opgevat als verwachtingswaarden.

Omdat het getij een springtij-doodtij-cyclus kent, kunnen de berekeningen voor alleen gemiddeld getij te pessimistisch zijn, aangezien de sluitingsoperatie grotendeels in de doortij-fase van de getijcyclus gekozen kan worden. In figuur 4.7.3 is het verloop van de zandverliezen aangegeven rekening houdend met de getijcy-



Figuur 4.7.3 Zandverlies wanneer de getijcyclus in rekening wordt gebracht (startpunt = doortij).

clus. Het uitgangspunt hierbij is, dat het maximale verlies bij $A = 1710 \text{ m}^2$ samenvalt met doodtij. Ten opzichte van alleen gemiddeld getij is er dan een verkorting van de sluitingsduur met enkele procenten (circa 10 uur). Het maximale verlies neemt echter behoorlijk af en het lijkt zinvol om vlak voor of tijdens springtij te beginnen met de sluiting. De spreiding van de sluitingsduur is dan circa 2 dagen.

4.8 Erosie in de omgeving van het sluitgat

In figuur 3.2.3 is aangegeven dat reeds bij aanvang van de zandsluiting (sluitingsfase 2) het sluitgat onder water door twee stortten wordt bedekt, waardoor erosie van de sluitgatbodem wordt voorkomen. De stroom langs beide stortten wordt oververzadigd en zal onmiddellijk zand verliezen buiten het sluitgat ten gevolge van de stroomvertraging. Aangenomen wordt dat deze hoofdstroom verder stroomafwaarts volledig verzadigd blijft, waardoor de eroderende kracht beperkt wordt. Alleen wanneer de zandtransportcapaciteit toeneemt, b.v. door een (lokaal) grotere snelheid, turbulentie of drie-dimensionale effecten, zou weer erosie kunnen optreden. Gezien de toename van het beschikbare doorstroomprofiel stroomafwaarts van het sluitgat zowel bij vloed als bij eb, en de afwezigheid van obstakels, zal de transportcapaciteit geleidelijk afnemen en behoeft voor ernstige ontgrondingen in de geulbodem en langs beide oevers niet te worden gevreesd.

Benedenstreams van het sluitgat kunnen neren ontstaan die worden aangedreven door de hoofdstroom. Deze neren worden begrensd door de hoofdstroom, de oever en de uitgebouwde sluitkade. Dit stroombeeld zal pas optreden als het sluitgat verder wordt vernauwd vanaf circa 450 m^2 (sluitingsfase 8, zie figuur 3.2.3). De maximum gemiddelde snelheid in het sluitgat voor vloed en eb bedraagt circa 2,5 m/s. De stroomsnelheid die in de neer kan ontstaan bedraagt meestal 30 à 50% van deze snelheid. Dit betekent dat de stroomsnelheid in de neer zou kunnen oplopen tot maximaal 1,2 m/s. Deze snelheid vormt voor de stabiliteit van beide oevers geen probleem omdat vóór de afsluiting van het Markiezaat deze stroomsnelheden ook optreden langs beide oevers. Aan beide zijden van de reeds uitgebouwde sluitkade zou wel erosie kunnen optreden omdat de zandtransportcapaciteit van de neerstream hiervoor voldoende hoog wordt verondersteld. De duur van de sluiting vanaf een doorstroomprofiel van 450 m^2 zal echter nog circa 1,5 dag in beslag nemen waardoor ernstige ontgrondingen tengevolge van neerstroming langs de sluitkade niet worden verwacht.

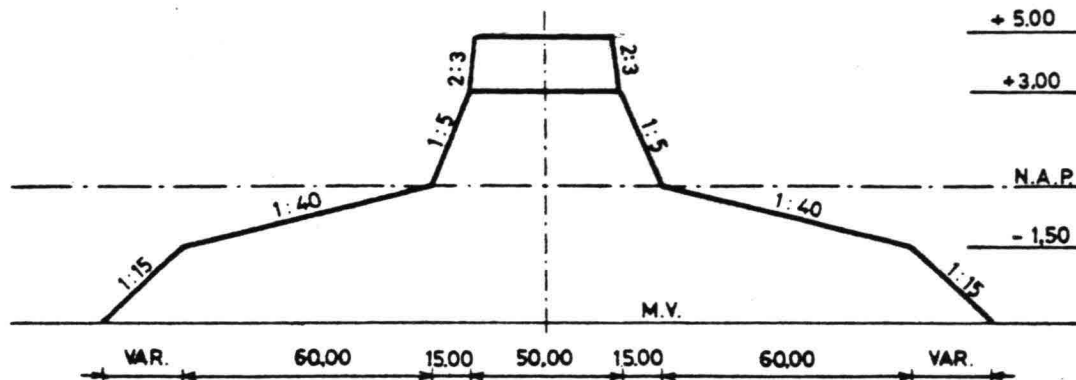
Ook golfaanval kan mogelijk erosie bij de sluitkade veroorzaken. Er wordt echter vanuitgegaan dat gedurende de uitvoering steeds tijdig maatregelen kunnen worden genomen om ongewenste ontgrondingen aan beide zijden van de sluitkade te voorkomen.

4.9 Grondmechanische aspecten

4.9.1 Algemeen

Bij de stabiliteit in grondmechanisch opzicht gaat het om de volgende mogelijkerwijs optredende grenstoestanden: macro-stabiliteit, micro-stabiliteit, afschuivingen en zettingsvloeiingen, interne erosie, zetting en klink, die hierna achtereenvolgens wor-

den beschouwd. Daarbij wordt voor de bouwfase van de sluitkade de geometrie gehanteerd die is weergegeven in figuur 4.9.1.



Figuur 4.9.1 Algemeen spuitprofiel

In figuur 3.1.3 is een geotechnisch profiel gegeven ter plaatse van de as van het damvak Tholensche Gat. Hieruit blijkt een duidelijk verschil in grondlagenopbouw tussen enerzijds de ondergrond onder het damvak ter plaatse van de Tholense oever en anderzijds de ondergrond onder het resterende gedeelte van het damvak. Dit verschil in grondlagenopbouw heeft uitsluitend consequenties voor de macro-stabiliteit en de zetting en klink van de constructies. Bij de beschouwing van deze grenstoestanden is daarom een onderscheid gemaakt tussen beide secties.

4.9.2 Macro-stabiliteit

Sektie 1: Geul en werkeiland Oesterdam

Onder de macro-stabiliteit wordt verstaan de stabiliteit van de

- kruinniveau in m t.o.v. NAP	+3,00	+ 5,00
- bodemniveau in m t.o.v. NAP	-20,00	-20,00
- waterstand in m t.o.v. NAP		
. in dam	+3,00	+ 5,00
. op Tholensche Gat	-2,00	- 2,00
- poriëngehalte	40%	40%
- γ zand in kN/m^3 (nat)	20	20
- φ -waarde	33°	33°
- c-waarde	0	0
- talud NAP tot NAP +3,00 m	1:5/1:4	1:5/1:4
- talud NAP +3,00 m tot NAP +5,00 m	-	2:3
- stabiliteitsfactor	1,70/1,38	1,18/1,10

Tabel 4.9.1 Macro-stabiliteit spuitprofiel

totale konstruktie, inclusief de ondergrond. Met behulp van het rekenmodel van Fellenius (cirkelvormige glijvakken) is de stabiliteitsfaktor van de konstruktie bepaald. In tabel 4.9.1 zijn naast de gehanteerde parameters en randvoorwaarden de berekende stabiliteitsfactoren weergegeven, uitgaande van verwachtingswaarden.

Toelichting op de tabel:

- kruinhoogte
Omdat direkt na de aanleg van de sluitkade een bovenstort wordt opgespoten tot een niveau van NAP +5 m zijn eveneens berekeningen gemaakt voor een kruinhoogte van NAP +5 m.
- bodemniveau
Omdat de weerstand tegen instabiliteiten bij een lager bodemniveau geringer is dan bij een hoger bodemniveau (minder massa in de zogenaamde passieve zone) is gerekend met een laagliggende bodem. Dit houdt in dat de situatie bij de aansluiting op het werkeiland gunstiger is.
- waterstand:
Bij de berekening is aangenomen dat het damvak volledig is verzadigd; een waterstand op de Oosterschelde lager dan NAP -2 m is niet in de berekening meegenomen, omdat de invloed hiervan op de totale konstruktie vrijwel nihil is.
- poriëngehalte:
Boven water afgezet zand vertoont een redelijk vaste pakking, ondermeer door de aanwezigheid van bulldozers op het stort. Bij een konstruktie die volledig is opgebouwd uit zand, blijkt dat de meest ongunstige glijcirkels in het bovenste deel van de geometrie liggen.
Om deze redenen is hier gekozen voor een poriëngehalte van 40%.
- γ zand:
Het gewicht van het zand, uitgedrukt in kN/m^3 , is gerelateerd aan het poriëngehalte. Bij de bepaling van het natte gewicht is uitgegaan van de soortgelijke massa van zand van 2650 kg/m^3 vaste stof.
- talud van NAP tot NAP +3 m:
Om aan te geven hoe groot de invloed is van een steiler talud zijn eveneens berekeningen gemaakt voor een helling 1:4.
- talud van NAP +3 m tot NAP +5 m:
Hierbij is uitgegaan van het gebruikelijke talud van een perskade. Bij volledige verzadiging is dit talud te steil. In werkelijkheid stelt zich een verhang in. Toepassing van folie maakt de stabiliteit nog beter. Niettemin bestaat de mogelijkheid dat het talud plaatselijk iets uitzakt. Dit is overigens van weinig betekenis.

De gevonden stabiliteitsfaktor voor de macro-stabiliteit van de voorgestelde konstruktie (talud 1:5 tot NAP +3 m) bedraagt voor een kruinniveau van NAP +3 m en NAP +5 m 1,70 respectievelijk 1,18.

De faalkansen zijn berekend met behulp van een komputerprogramma waarin de stabiliteitsberekening volgens de methode Fellenius is gekoppeld aan een verfijnde niveau II-methode (PROBAB 200). Berekeningen zijn gemaakt voor de geometrie volgens figuur 4.9.1. In tabel 4.9.2 is aangegeven welke variatie is gehanteerd ten aanzien van de hoek van inwendige wrijving (φ) en het gewicht van de grond (γ).

	μ	γ
φ ($^{\circ}$)	33	3
γ_{nat} (kN/m ³)	20	0,5
γ_{droog} (kN/m ³)	16	0,5

Tabel 4.9.2 Variatie grondparameters

Om aan te geven wat de invloed is op de faalkansen zijn eveneens berekeningen gemaakt voor een talud van NAP tot NAP +3 m van 1:4.

In tabel 4.9.3 zijn de berekeningsresultaten samengevat.

kruinniveau	talud NAP tot NAP +3,00	stabiliteitsfaktor	faalkans
NAP +3,00 m	1:5	1,70	$3,5 \cdot 10^{-5}$
NAP +3,00 m	1:4	1,38	$5,6 \cdot 10^{-3}$
NAP +5,00 m	1:5	1,18	$8,5 \cdot 10^{-2}$
NAP +5,00 m	1:4	1,10	$2,2 \cdot 10^{-1}$

Tabel 4.9.3 Berekeningsresultaten

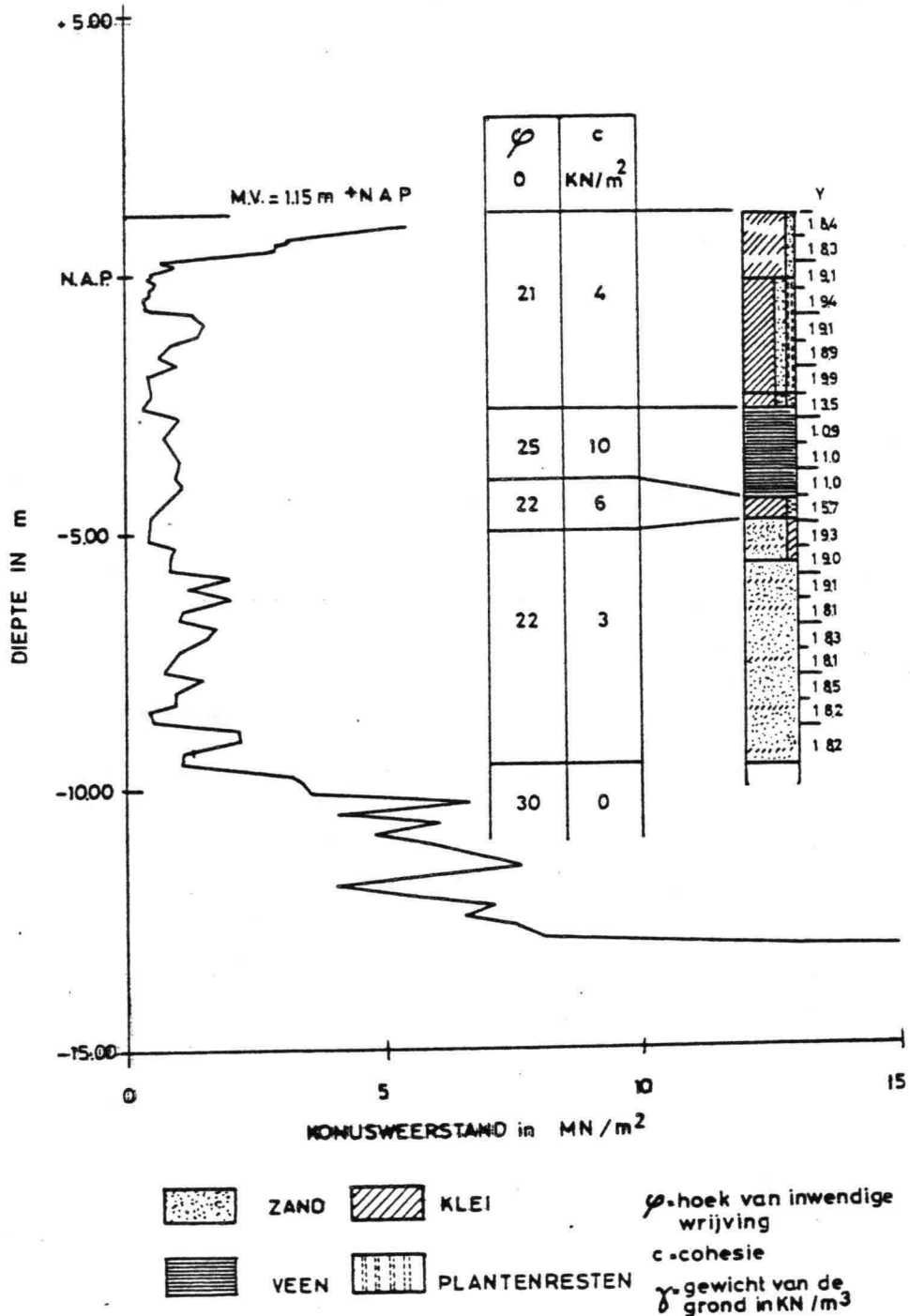
Uit de berekeningen blijkt, dat de glijcirkel behorend bij de stabiliteitsfaktor van 1,10 een klein segment van het zandlichaam boven NAP "afsnijdt". Een instabiliteit is dientengevolge gering van omvang. De kans dat ingrijpende aanpassingen nodig zijn is verwaarloosbaar. Wel zal rekening moeten worden gehouden met het herstellen van lokale taludverflauwingen.

Sectie 2: Tholensche oever

Ter plaatse van de aansluiting van het damvak Tholensche Gat op de hoogwaterkering van Tholen bestaat de ondergrond tot circa NAP -5 m uit slappe lagen. Figuur 4.9.2 geeft een illustratie van de grondlagenopbouw en de gemeten sondeerwaarden.

Uit de risico-analyse (par. 6) blijkt, dat voor een evenwichtig ontwerp de faalkans van de konstruktie niet groter mag zijn dan 10^{-3} . Uitgevoerde stabiliteitsberekeningen volgens Bishop (cirkelvormige glijvlakken) tonen aan dat de hiervoor benodigde karakteristieke stabiliteitsfaktor 1,3 bedraagt. Hierbij zijn karakteristieke grondparameters gehanteerd, die ontleend zijn aan lit. 13 en zijn weergegeven in figuur 4.9.2. Om de genoemde stabiliteitsfaktor te verkrijgen is aan beide zijden van de kon-

struktie een steunberm nodig op een niveau van NAP +2 m (bijlage 2).



Figuur 4.9.2 Boring, sondering en grondparameters Tholensche oever

4.9.3 Micro-stabiliteit

Onder de micro-stabiliteit wordt verstaan de stabiliteit van de zandkorrel op het talud onder invloed van de zwaartekracht en het verhang, dat in de dam aanwezig is. Voor een situatie waarbij de dam volledig is verzadigd en de waterstand op de Oosterschelde

NAP -2 m bedraagt, is de micro-stabiliteit bepaald met de formule:

$$f = \frac{\operatorname{tg} 1/2\psi}{\operatorname{tg}\alpha}$$

waarin:

f = stabiliteitsfaktor

ψ = hoek van inwendige wrijving

α = hellingshoek van het talud

Voor $\psi = 28^\circ$ ($=\mu = 1,64$) en $\alpha = 11,3^\circ$ (talud 1:5) bedraagt de stabiliteitsfaktor $f = 1,25$

Bij een talud van 1:4 bedraagt de stabiliteitsfaktor 1,0 bij een volledig verzadigd damlichaam. Mocht de helling door welke oorzaak dan ook steiler zijn dan 1:4, dan stelt zich door plaatselijk afschuiven van het talud een stabiele situatie in. Dergelijke voorkomende afschuivingen kunnen echter niet leiden tot doorgaand bezwijken van de totale konstruktie. In de praktijk zal de situatie gunstiger zijn. Een volledige verzadiging van het damlichaam inklusief perskaden treedt niet op, omdat zich een verhang vanaf de stortpijp naar de buitenwaterstand instelt. Als bovendien aan de stortzijde van de perskaden folie wordt gebruikt zal de waterstand in de perskaden nog lager zijn. Voor de kans op schade van de konstruktie tijdens het aanbrengen van het zand tussen de perskaden, ten gevolge van deze grenstoestand, wordt een verwaarloosbaar kleine waarde gehanteerd.

4.9.4 Afschuivingen en zettingsvloeiingen

Indien taluds over een grote hoogte te steil worden, kunnen grondmechanische instabiliteiten optreden.

Voor een ondergrond bestaande uit zand kunnen in taluds van beperkte hoogte (kleiner dan 4 m) door plaatselijke versteelingen (tot 1:2 à 1:3) afschuivingen ontstaan. De gemiddelde eindhelling na afschuiven is daarbij steiler dan of gelijk aan 1:6.

Bij vastgepakt zand (poriëngehalte kleiner dan 40 à 42%) zullen ook bij grotere taludhoogten afschuivingen kunnen optreden, waarbij de gemiddelde eindhelling eveneens steiler is dan of gelijk aan 1:6. Bij losgepakt zand (poriëngehalte groter dan 40 à 42%) kunnen in dat geval lokale afschuivingen overgaan in zettingsvloeiingen. De gemiddelde eindhelling na het optreden van een zettingsvloeiing is daarbij veel flauwer, maar blijft in de meeste gevallen beperkt tot een talud van 1:15.

Zettingsvloeiingen zijn langs vele oevers en zandbanken in het Oosterscheldegebied een regelmatig voorkomend verschijnsel. Met name recent afgezette holocene zandlagen staan bekend om hun zettingsvloeiingsgevoeligheid. Deze jonge afzettingen komen ook voor ter plaatse van het Tholensche Gat (par. 3.1).

Zoals vermeld in par. 4.8 zal tijdens de sluitingsoperatie nauwelijks sprake zijn van ontgrondingen. Dit betekent dat de kans op afschuivingen en/of zettingsvloeiingen verwaarloosbaar klein is.

4.9.5 Interne erosie

Het verhang over de sluitkade zal maximaal 5% bedragen. Hierbij is de kans op interne erosie verwaarloosbaar klein.

4.9.6 Zetting en klink

Sectie 1: Geul en werkeiland

Ten aanzien van de te verwachten verticale deformaties van het definitieve damvak dient te worden opgemerkt, dat de ondergrond ter plaatse van de geul en de aansluiting op het werkeiland bestaat uit zand met plaatselijk dunne kleilaagjes (fig. 3.1.3). De optredende deformaties kunnen worden opgesplitst in:

- klink van het aan te brengen zandlichaam door het eigen gewicht;
- zetting van de ondergrond door de belasting van het aangebrachte zandlichaam.

Om een beeld te krijgen van de deformaties zijn voor 2 situaties berekeningen uitgevoerd:

- situatie I : midden in de geul; bodemniveau NAP -22 m;
- situatie II: gemiddeld bodemniveau NAP -14 m.

De klink en de zetting zijn voor een aantal opeenvolgende lagen berekend met de formule van Terzaghi:

$$z = \frac{h}{C} \cdot \ln \frac{p + \Delta p}{p}$$

waarin voor een bepaalde laag geldt:

z = samendrukking (m)

h = laagdikte (m)

C = samendrukkingskonstante (-)

p = gemiddelde verticale korrelspanning (kN/m^2)

Δp = toename van de verticale korrelspanning door bovenbelasting (kN/m^2)

ad a. klink:

Voor het bepalen van de klink is aangenomen:

- conusweerstand q_c : 3 MN/m^2 (losse pakking)
- C-waarde: 30 à 50 maal de conusweerstand q_c .

ad b. zetting:

Voor het bepalen van de zetting is aangenomen:

- conusweerstand $q_c = 6 \text{ MN/m}^2$ (holoceen)
 15 MN/m^2 (pleistoceen)
- C-waarde: 30 à 50 maal de conuswaarde q_c .

In tabel 4.9.4 is een en ander samengevat.

	situatie I bodem NAP -22 m	situatie II bodem NAP -14 m
klink (m)	0,3 à 0,5	0,2 à 0,4
zetting (m)	0,1 à 0,2	0,2 à 0,3
totale deformatie (m)	0,4 à 0,7	0,4 à 0,7

Tabel 4.9.4 Deformaties sectie 1

Door de relatief hoge doorlatendheid van zowel het aan te brengen

zandlichaam als de ondergrond treden de deformaties op tijdens het aanbrengen van het zandlichaam.

Sectie 2: Tholense oever

De berekeningswijze is analoog aan die welke is gehanteerd voor sectie 1. De verticale deformaties van het definitieve damvak zijn minimaal waar de kruin van het damvak overgaat in de hoogwaterkering Tholen. De maximale verticale deformaties treden op waar de vooroever overgaat in het steile talud van de geul. Verder in zuidelijke richting nemen de deformaties af tot de waarden vermeld bij sectie 1 (waar in een verticale doorsnede geen slappe lagen in de ondergrond voorkomen). In tabel 4.9.5 is een en ander samengevat.

	overgang kruin damvak in hoog- waterkering Tholen	overgang vooroever in talud van de geul
klink (m)	0,05	0,1 à 0,2
zetting (m)	0,10	1,3 à 1,5
totale deformatie (m)	0,15	1,4 à 1,7

Tabel 4.9.5 Deformaties sectie 2

De klink treedt op tijdens het aanbrengen van het zand. Ten aanzien van de zetting geldt dat circa 50% hiervan zal optreden in de voorgestelde uitvoeringsperiode.

Zoals reeds is vermeld treden de verticale deformaties geheel (sectie 1) of voor een belangrijk deel (sectie 2) op in de voorgestelde uitvoeringsperiode.

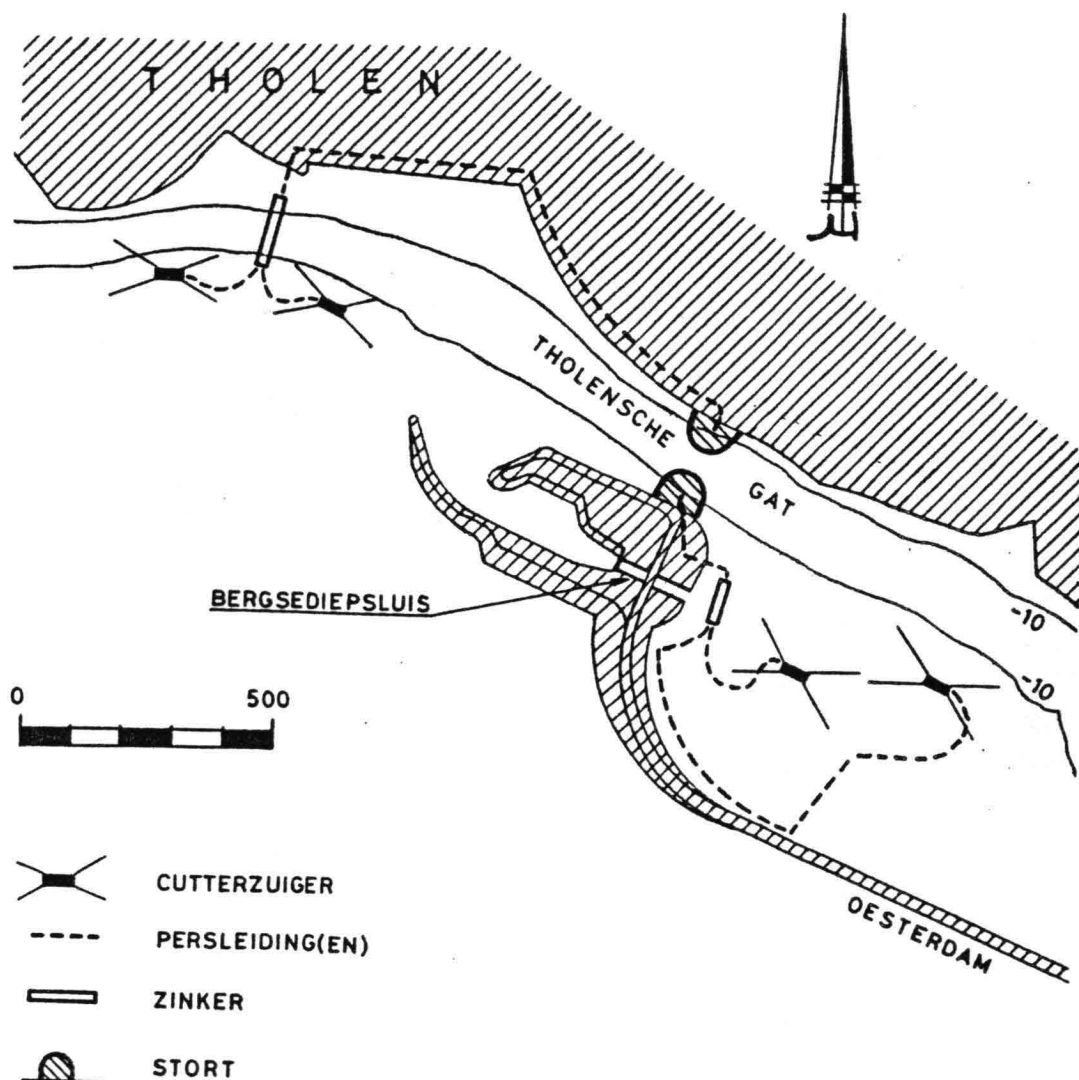
Gelet op de grootte van deze deformaties is de kans dat een grenstoestand wordt bereikt verwaarloosbaar klein.

Als gevolg van de aansluiting van het damvak op de Tholense oever zal de kruin van de hoogwaterkering Tholen daar ter plaatse eveneens zakken. Deze zakking bedraagt maximaal 0,1 m over een lengte van 25 m ter weerszijden van de as van de aansluiting. De verlaging van de kruinhoogte van deze hoogwaterkering met 0,1 m is minder dan de waterstandsreductie ten gevolge van de stormvloedkering. Derhalve is de veiligheid van Tholen niet in het geding.

5 UITVOERING

5.1 Sluitkade

De uitvoering van de sluitkade start gelijktijdig vanaf beide oevers met een produktie van netto $5.000 \text{ m}^3/\text{u}$ per stort. De winplaatsen bieden elk ruimte aan ten hoogste twee zuigers. Op het moment van de uitvoering in oktober 1986 is de Bergsediepsluis al in gebruik. Zoals figuur 5.1.1 laat zien zal, om het scheepvaartverkeer ongehinderd doorgang te kunnen verlenen, zowel ten westen als ten oosten van de sluis ter plaatse van de kruising van de persleidingen met de vaarroute gebruik gemaakt moeten worden van zinkers.



Figuur 5.1.1 Situering zuigers en persleidingen

Een goed uitgevoerde zinker loopt bij deskundige uitvoering weinig kans op beschadiging. Mocht dit echter toch voorkomen, dan vergt herstel circa 1 week tijd. Dit heeft consequenties voor de voortgang van het stort. Om dit risico te beperken wordt per twee

zuigers een reservezinker afgezonken. Eventueel kunnen drijvende leidingen in reserve worden gehouden om, in uiterste noodzaak, hiermee de geul te kruisen. Daarbij moet in aanmerking worden genomen dat de intensiteit van het scheepvaartverkeer (grotendeels pleziervaart en sportvissersvaartuigen) gering zal zijn in de maand oktober.

Gedurende de eerste dagen als de verliezen nog gering zijn, kan met een lagere produktie gewerkt worden. Dit zou kunnen gebeuren door die eerste dagen nog niet kontinu te werken, zodat voor wat betreft de organisatie en de personeelsbezetting een wat geleidelijker aanloop naar de uitvoeringspiek ontstaat. Deze optimalisatie hangt grotendeels af van de organisatiemogelijkheden van de aannemer die het werk uitvoert.

De op het stort aangevoerde hoeveelheid zand/watermengsel bedraagt maximaal circa $10 \text{ m}^3/\text{s}$. De hiervoor beschikbare stortbreedte tussen de perskaden is circa 40 m. Door terrasvorming op het stort zal de snelheid van het mengsel beperkt blijven. Daarbij zal een gemiddelde waterdiepte optreden, waarbij het materieel goed in staat is om het mengsel te reguleren en de perskaden te onderhouden.

Met storttaluds in de getijzone van 1:60 en daaronder 1:15 zullen de tenen van de twee storten elkaar vrijwel vanaf het begin van de uitvoering ontmoeten. Ter plaatse van de uitmondingen van de stortpijpen worden voorzieningen op beide oevers aangebracht in de vorm van kraagstukken met bestorting om erosie van deze oevers te voorkomen door aflopend stortwater.

Tot een doorstroomprofiel in het sluitgat van circa 1.700 m^2 wordt het normale, door de stormvloedkering gedempte getij, toegelaten. Bij een volkontinu bedrijf is dat circa zeven dagen, waarbij totaal circa $1.650.000 \text{ m}^3$ zand op beide storten is gespoten.

Daarna wordt het getij geknepen door de netto-doorstroomopening van de stormvloedkering te reduceren tot 6.000 m^2 . Op beide storten wordt volkontinu doorgespoten met op elk stort nog steeds een netto produktie van $5.000 \text{ m}^3/\text{u}$ waarbij, als gevolg van de vernauwing van het sluitgat, de stroomsnelheden toenemen. Als na twee dagen de zandverliezen weer zijn opgelopen tot 50% van de produktie wordt de stormvloedkering gesloten. Dit is bij een sluitgatopening van circa 375 m^2 . Er is dan totaal ruim 2.10^6 m^3 zand in het sluitgat gespoten.

Door met volle produktie verder te spuiten wordt het sluitgat zo klein mogelijk gemaakt en de bodem in het sluitgat zo hoog mogelijk. Hierbij moet worden voorkomen dat, als gevolg van het samenkomen van het stortwater van de twee elkaar naderende storten, diepe afvoergeulen in het sluitgat ontstaan. Het zand wordt dan aan weerszijden buiten het sluitgat afgezet. Hiertoe wordt de produktie gereduceerd vanaf het moment dat dit verschijnsel geconstateerd wordt. De door de produktievermindering vrijgekomen zuigerkapaciteit wordt benut voor het spuiten in het bovenstort, en voor de aanleg van zanddepots bij het sluitgat.

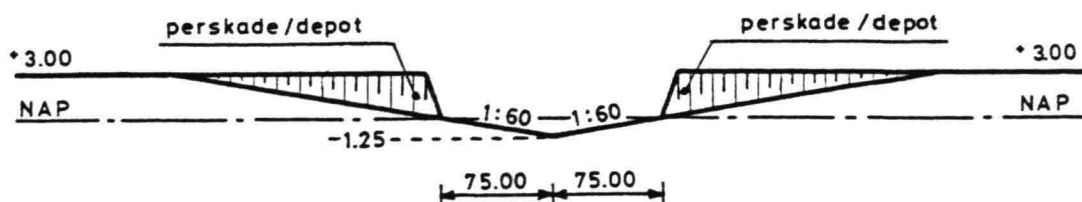
Het zand voor de depots wordt met bulldozers uit de storten gehaald. Aldus wordt doorgewerkt tot een situatie is bereikt waarin het afstromende perswater een voldoende voortgang van de perskaden en het stort belemmert. Het doorstroomoppervlak onder NAP bedraagt dan naar schatting nog 100 m^2 (figuur 5.1.2).



een sluitgat in de laatste fase



aantasting van schorranden



Figuur 5.1.2 Langsprofiel stort

Er resteert dan nog een sluitgat lengte van maximaal 150 m op NAP (figuur 5.1.2). Hoewel de stormvloedkering gesloten is, staat er nog een gering verval over het sluitgat met snelheden van ruim 1 m/s. Door op de stortten te blijven spuiten worden de zandverliezen gecompenseerd en de stortten aangevuld. Uit de aan weerszijden van het sluitgat aangelegde depots en voor zover mogelijk direct uit de stortten, wordt het zand aangeschoven om met een westelijke perskade de stroming door het sluitgat geheel te blokkeren. Voor deze sluitkade met een kruinbreedte van 10 m op NAP +3 m is circa 9.500 m^3 zand nodig. Voor alle zekerheid wordt in de depots een voorraad zand van 15.000 m^3 opgeslagen. Twaalf bulldozers en vier hydraulische kranen sluiten de westelijke kade in circa 9 uur. Vervolgens wordt met één zuiger vanuit het noorden en één vanuit het zuiden achter deze kade gespoten.

Zodra de hoogte van het stort dit mogelijk maakt (circa NAP +1 m) wordt uit het stort een achterkade opgezet, zodat tenslotte het laatste gedeelte van de sluitkade in een gesloten stort tot NAP +3 m wordt volgespoten.

Als de sluitkade over de gehele lengte op NAP +3 m is gebracht, is hierin circa $2,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ zand verwerkt.

5.2 Afwerken damvak

Om van de sluitkade op NAP +3 m tot het volledige eindprofiel te komen is nog circa 34.000 m^3 zand nodig.

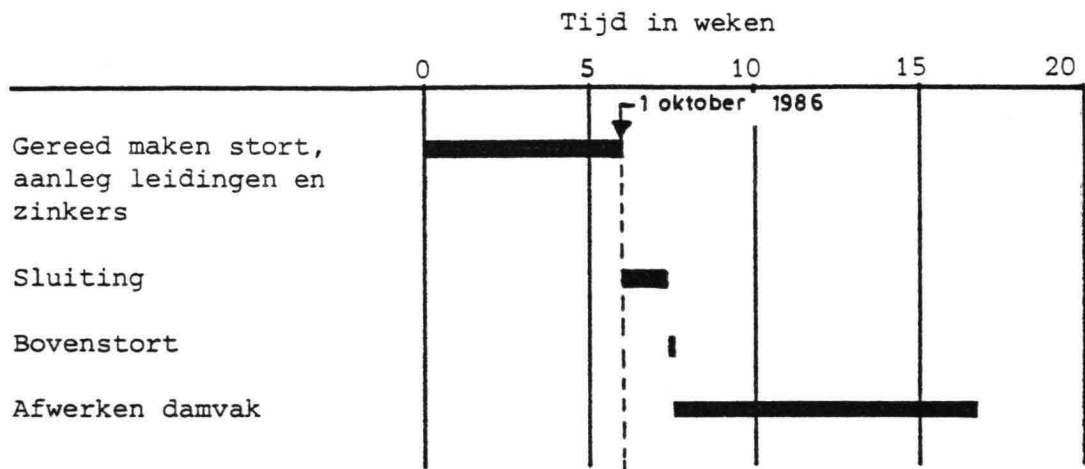
Gedurende de tijd dat niet alle aanwezige zuigerkapaciteit meer wordt ingezet voor de aanleg van de sluitkade, is al circa 10.000 m^3 in het bovenstort gebracht. De resterende hoeveelheid van circa 24.000 m^3 wordt met één zuiger vanuit het noorden en één vanuit het zuiden in één dag aangebracht.

Zo snel mogelijk na het gereedkomen van het spuitwerk wordt het zandlichaam geprofileerd en verdedigd.

De verdedigingskonstruktie aan de westzijde, bestaande uit circa 4.000 m^2 kraagstukken met bestorting en circa 7.000 m^2 glooiing van koperslak- en betonblokken, wordt in vijf weken aangebracht. Gelijktijdig wordt de taludverdediging aan de oostzijde, circa 3.500 m^2 kunststofweefsel met bestorting, aangebracht. De verdere afwerking van het damvak met het aanbrengen van de kleibekledingen wordt in vijf weken uitgevoerd.

5.3 Uitvoeringsduur

De tijdsduur van de werkzaamheden in het Tholensche Gat is aangegeven in figuur 5.3.1.



Figuur 5.3.1 Uitvoeringsduur sluiting Tholensche Gat

6 RISIKO ANALYSE

6.1 Inleiding

Teneinde inzicht te verkrijgen in aard en grootte van de risico's die optreden bij het afsluiten der getijgeulen in het oostelijk deel van de Oosterschelde, is voor ieder sluitgat en per soort sluiting een risicoanalyse opgesteld. De in dit hoofdstuk beschreven analyse richt zich op de zandsluiting van het Tholensche Gat.

Bij de analyse wordt als ongewenste topgebeurtenis het optreden van een aantal weken vertraging van het werk beschouwd. Dit biedt de mogelijkheid zowel uitvoeringsproblemen, konstruktieve aspecten, als externe oorzaken parallel in de analyse te betrekken. De gebeurtenissen en omstandigheden die kunnen leiden tot het optreden van de ongewenste topgebeurtenis worden door het opstellen van foutenbomen opgespoord en systematisch weergegeven.

De volgende stap in de analyse is het toekennen van optredensansen aan de verschillende gebeurtenissen van de foutenboom. Voor wat betreft het konstruktieve deel (het optreden van grenstoestan-standen) kan dit veelal geschieden met behulp van probabilistische sterkteberekeningen. Voor de kwantificering van gebeurtenissen die de uitvoering beïnvloeden, zal geput worden uit databanken en ervaringsgegevens (veelal incidentele gebeurtenissen) en verder uit gegevens omtrent de dagproducties van de diverse soorten materieel (voor de situatie waarbij het werk uitloopt als gevolg van veel kleine tegenvallers).

Nadat de foutenboom of een deel daarvan gekwantificeerd is, kan het resultaat leiden tot een aanpassing in de konstruktie of de uitvoeringsmethode. Deze aanpassingen, die meestal vanuit een economisch oogpunt ontstaan, zijn b.v. uitvoerbaar voor de kruinhoogte en -breedte van de sluitkade. Ook de uitvoeringsmethode is voor een dergelijke analyse toegankelijk.

In de volgende paragraaf zal aandacht besteed worden aan het opstellen van de foutenbomen. Vervolgens zal aangegeven worden hoe de kwantificering daarvan verloopt en wordt de evenwichtigheid van de optredensansen van de diverse ongewenste gebeurtenissen getoetst.

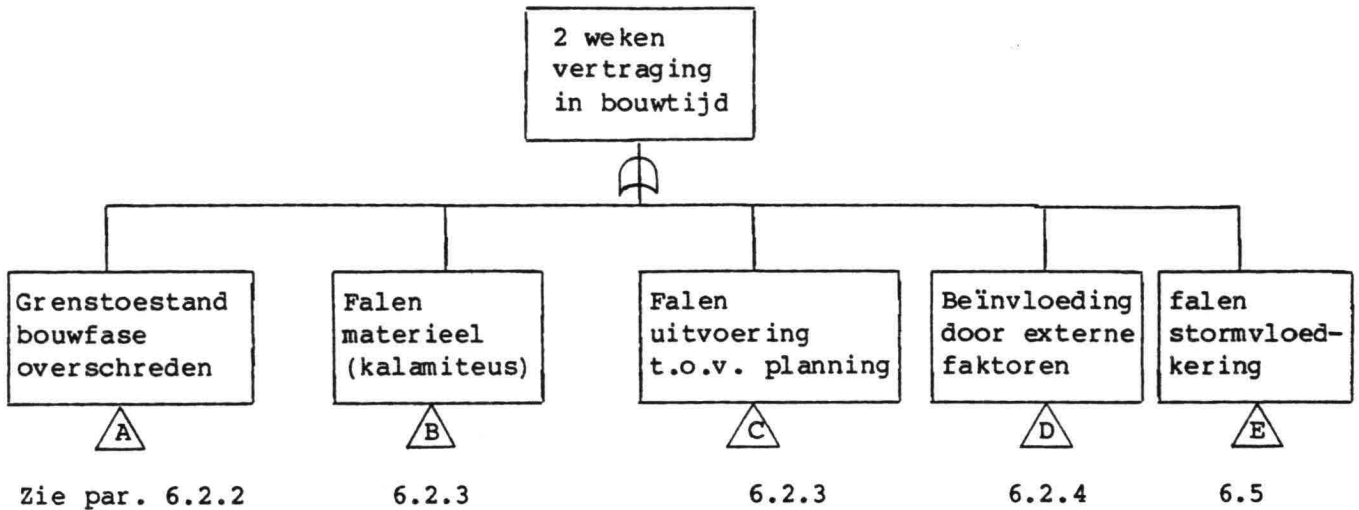
6.2 Foutenbomen

6.2.1 De hoofd-foutenboom

Een uitloop van de uitvoeringsduur met 2 weken wordt als ongewenste topgebeurtenis aangemerkt. Deze vertraging kan in hoofdzaak voortvloeien uit vijf klassen van tegenvallers.

In de eerste plaats kan de konstruktie tijdens een bouwfase bezwijken. Ten tweede is het mogelijk dat het gebruikte materieel zodanig beschadigd raakt dat een vertraging van 2 weken onvermijdelijk is. Verder kan een samenloop van meerdere ongunstige omstandigheden en (op zich) kleine tegenvallers tot gevolg hebben dat de geplande totale bouwduur sterk overschreden wordt. Ook is het mogelijk dat het werk door externe factoren, zoals staking en milieu-akties beïnvloed wordt. Tenslotte kan het falen van de stormvloedkering een ongewenste topgebeurtenis veroorzaken. Dit eerste onderscheid leidt tot de volgende hoofd-foutenboom voor de

zandsluiting Tholensche Gat.



Figuur 6.2.1 Hoofd-foutenboom

De eerste twee aspecten hebben een incidenteel, kalamiteus karakter; de derde beschouwt het normale uitvoeringsbedrijf met de hiertoe behorende stochastische afwijkingen in productie-kapaciteit, werkcoëfficiënten, onwerkbaar weer. De invloed van deze factoren komt tot uiting in een stochastische sluitingsduur, waarvan naast de verwachtingswaarde de standaardafwijking bepaald wordt.

6.2.2 Grenstoestanden en foutenboom voor bezwijken

De bezwijkmechanismen die het werk bedreigen bestaan niet alleen uit die van de sluitkade zelf; ook de omgeving speelt een rol. Nавolgende foutenboom geeft de hoofdonderdelen aan.

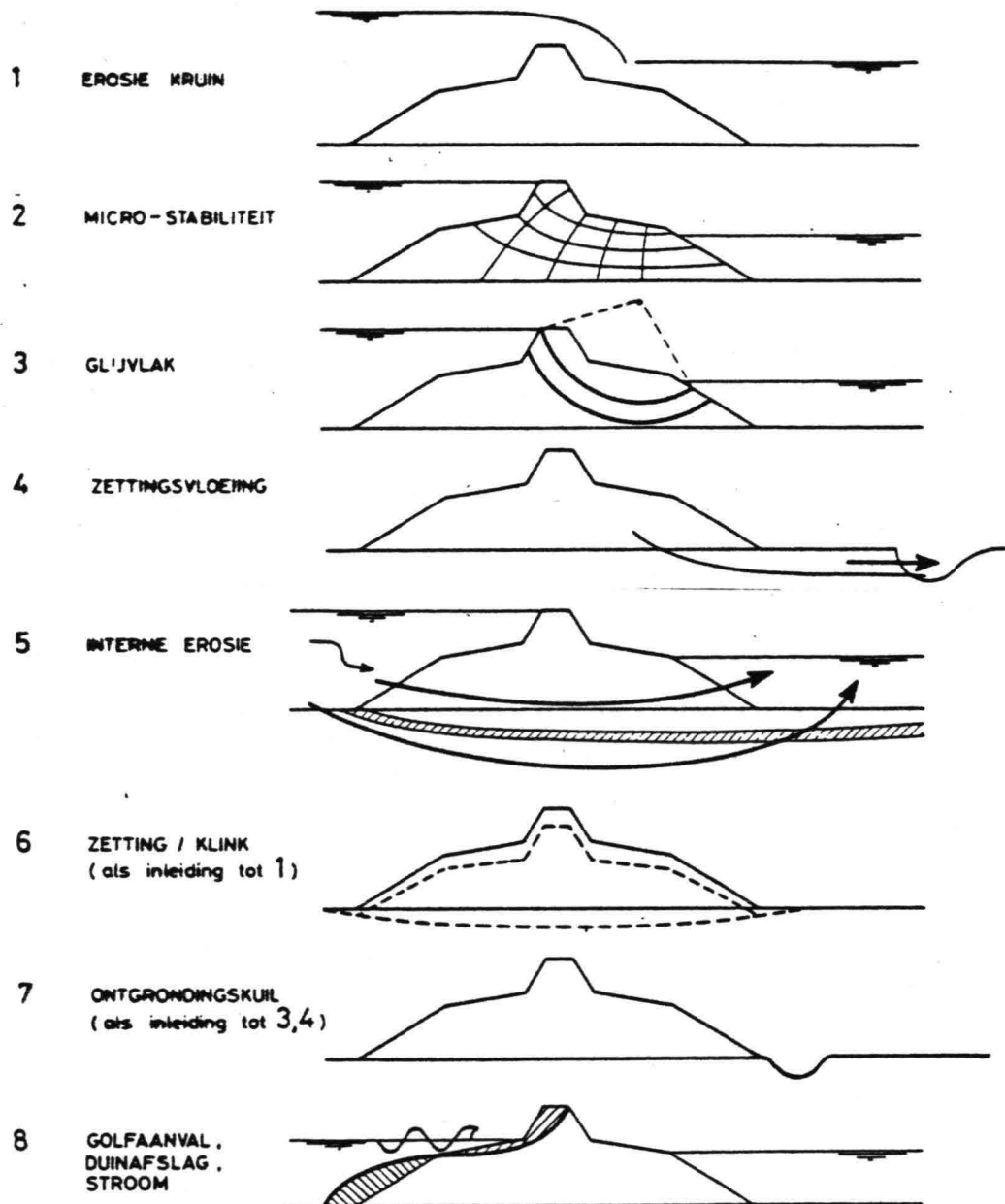


Figuur 6.2.2 Foutenboom voor het overschrijden van grenstoestanden

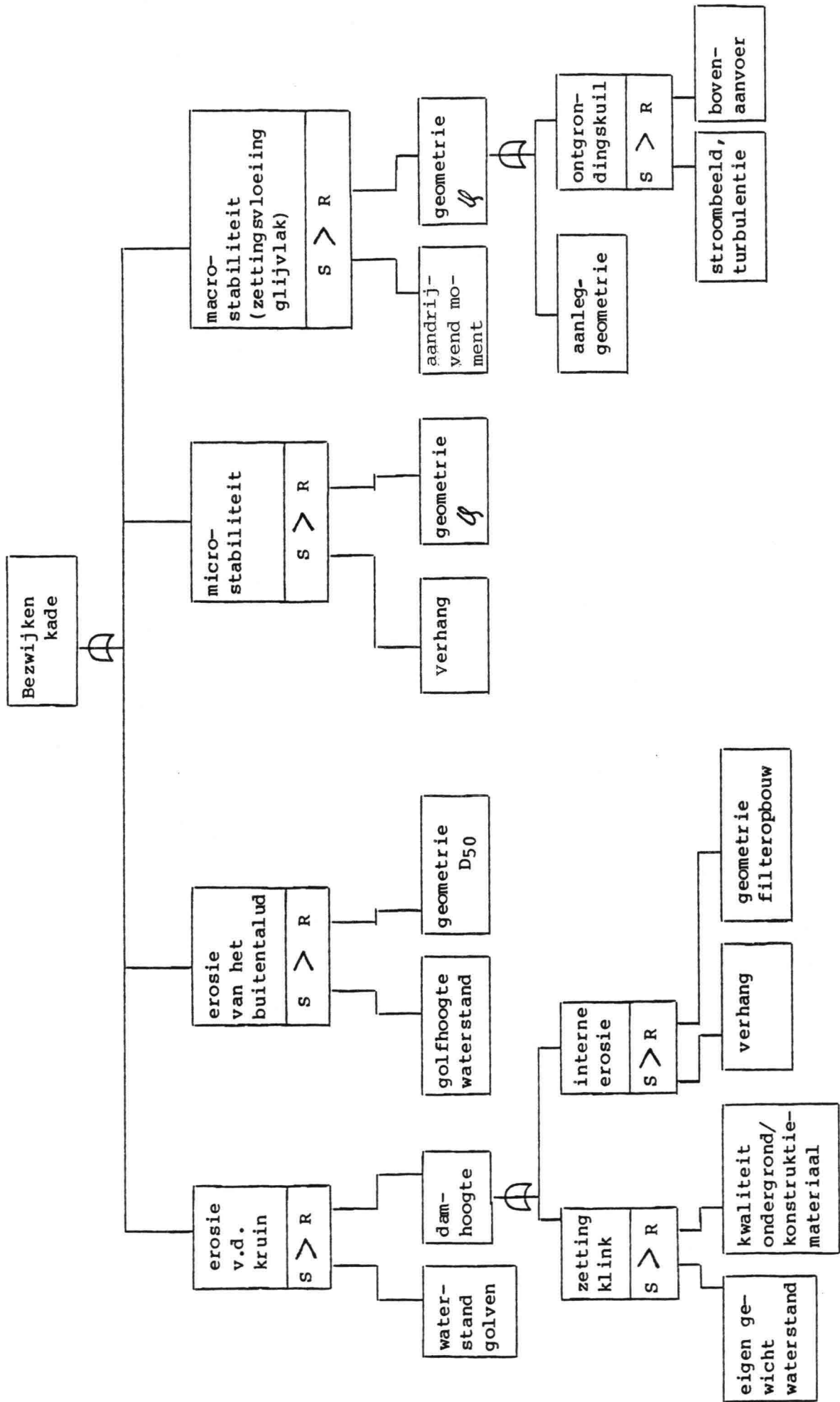
Nadat eerst een lijst van grenstoestanden is opgesteld, teneinde de mogelijke bedreigingen van de konstrukties compleet te inventariseren (figuur 6.2.3), zal voor de bovengenoemde gebeurtenis-

sen een deel-foutenboom gepresenteerd worden. Daar de deel-foutenboom van de sluitkade en de perskaden en die van de beide oevers nauwelijks van elkaar verschillen wordt volstaan met de presentatie van twee deel-foutenbomen (figuur 6.2.4 en figuur 6.2.5).

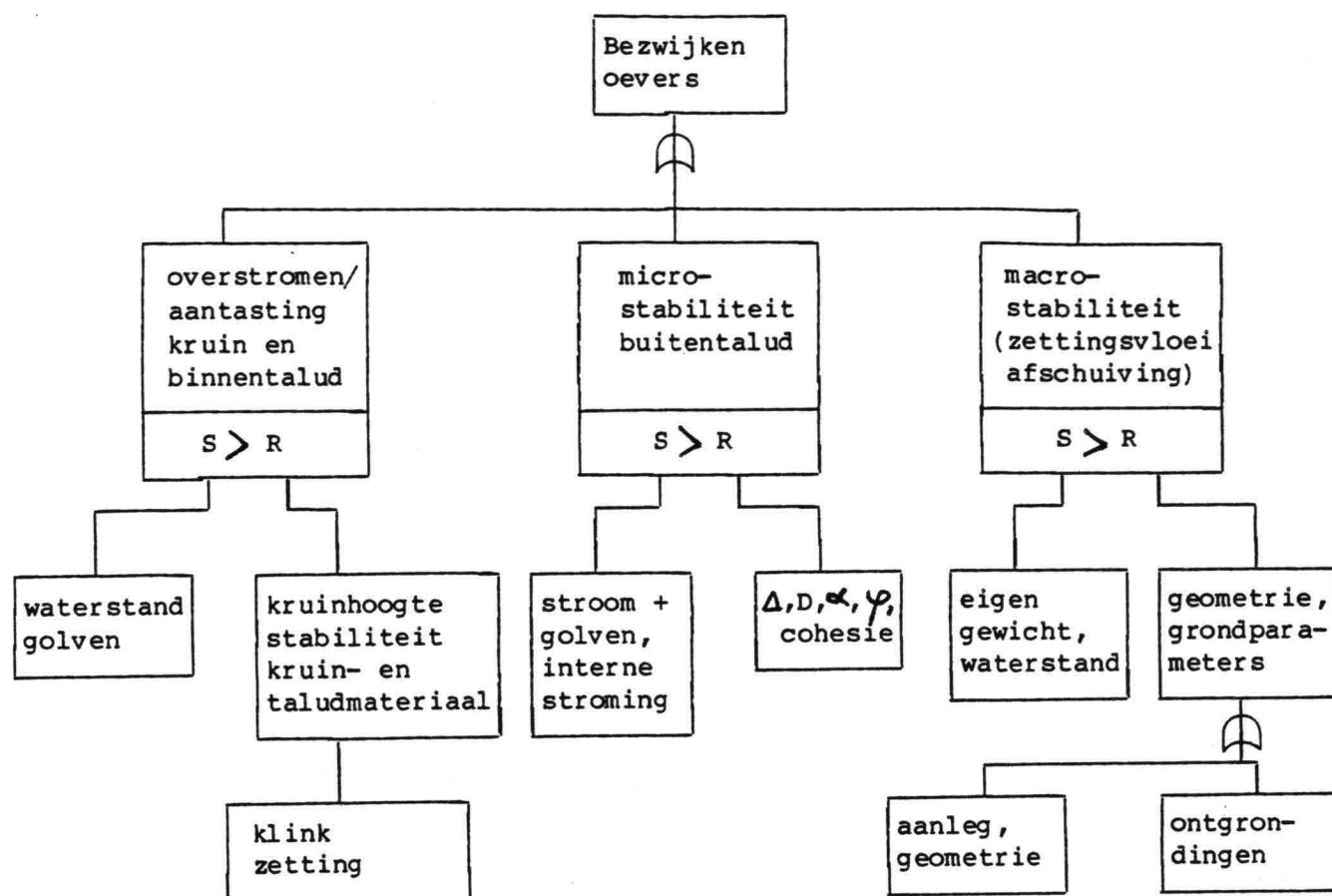
In de foutenbomen worden de letters R en S gehanteerd voor sterkte respectievelijk belasting. $S > R$ duidt op een mogelijke bepaling van de bezwijkkans met behulp van probabilistische berekeningen.



Figuur 6.2.3 Inventarisatie van grenstoestanden



Figuur 6.2.4 Deel-foutenboom voor de sluitkade en de perskaden ten behoeve van de laatste fase.



Figuur 6.2.5 Deel-foutenboom voor de oever van Tholen en het werkeiland.

6.2.3 Analyse en foutenbomen uitvoeringssysteem

Algemeen

Voor een volledige analyse van de totale uitvoering zou het noodzakelijk zijn elke verschillende fase van het uitvoeringsproces te analyseren.

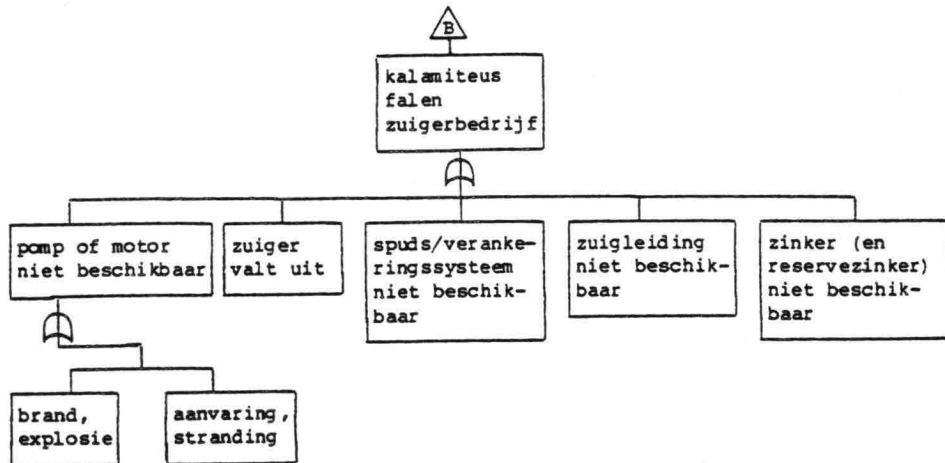
Aangezien het succes van de zandsluiting bijna volledig wordt bepaald door de voortgang van het zandstort in het sluitgat, zal de analyse primair hierop gericht zijn.

Foutenbomen uitvoering

Zoals reeds bij het opstellen van de hoofd-foutenboom is opgemerkt, maken we onderscheid tussen kalamiteus falen van materieel en het optreden van kleine tegenvallers tijdens de uitvoering.

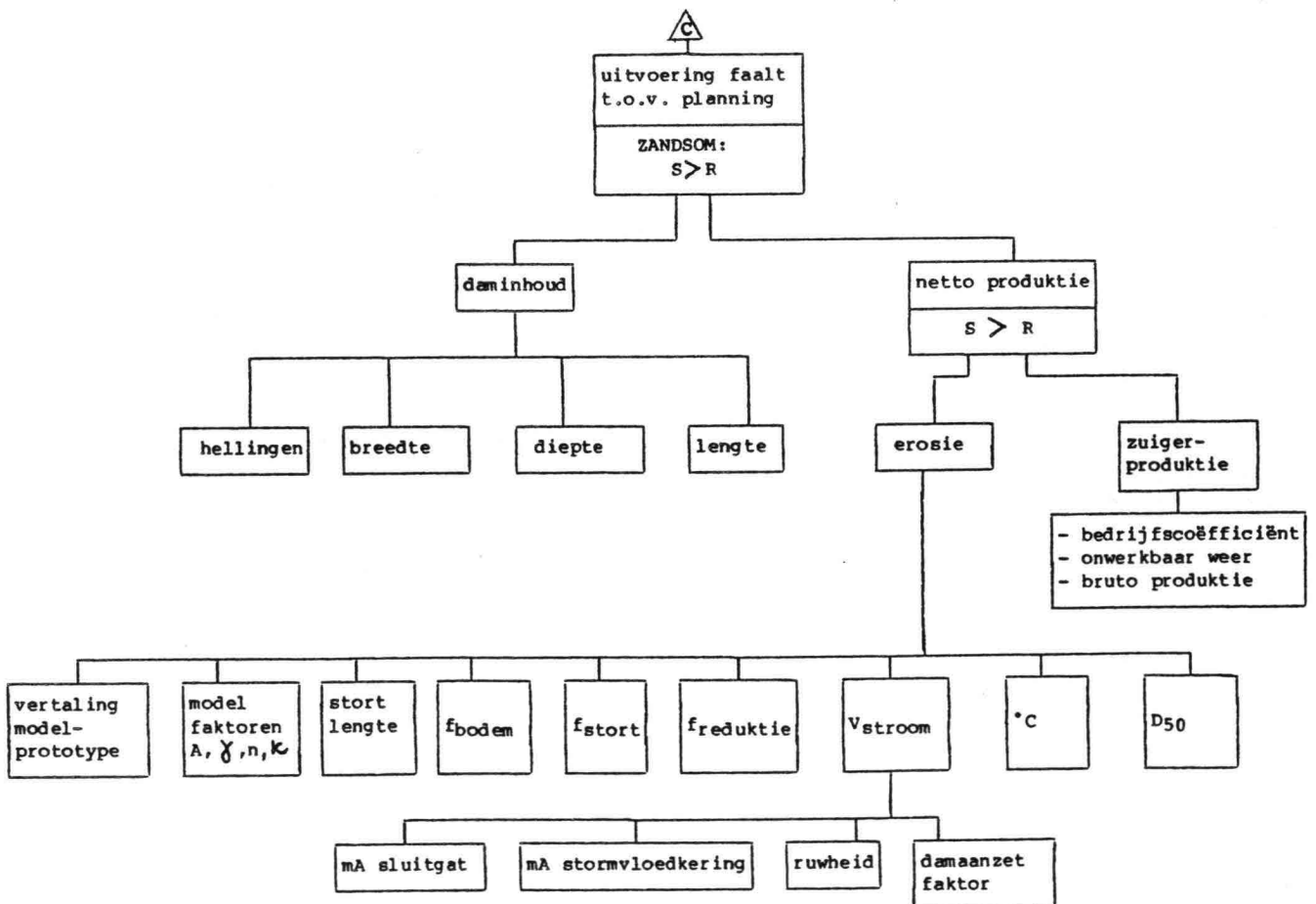
In fig. 6.2.6 wordt de foutenboom voor kalamiteus falend materieel gepresenteerd.

In principe zijn in de foutenboom alleen die gebeurtenissen opgenomen waarvoor geldt dat de hersteltijd lang is ten opzichte van de sluitingsduur, zodat het optreden van een dergelijke gebeurtenis betekent dat de zuiger voor de rest van het werk onbruikbaar is. Zo is het beschadigd raken van de drijvende leiding niet meegenomen omdat verwacht mag worden dat dit binnen korte tijd te herstellen is. Deze overige (kleinere) gebeurtenissen worden mee-



Figuur 6.2.6 Foutenboom voor kalamiteus falen van een zuiger

genomen in de foutenboom voor het normale bedrijf, zoals die in fig. 6.2.7 gepresenteerd wordt.

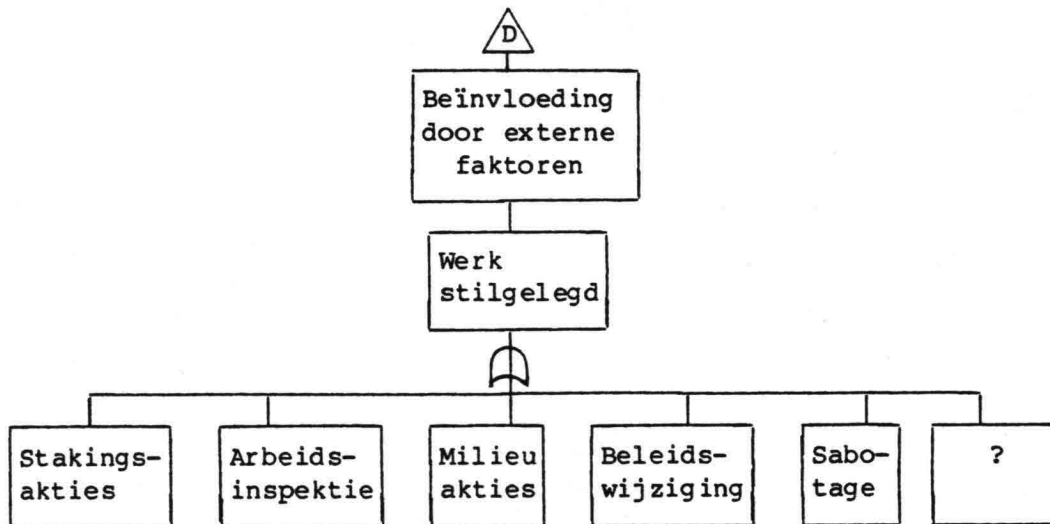


Figuur 6.2.7 Foutenboom voor het falen van de uitvoering ten opzichte van de planning

Door een probabilistische berekening te maken voor de sluitingsduur met de ontwerpproductie van $10.000 \text{ m}^3/\text{u}$ wordt een indruk verkregen van de faalkans, gegeven de omstandigheid dat de zuiger normaal werkt. Vervolgens kan een probabilistische som van de sluiting gemaakt worden met een, door het uitvallen van een zuiger, gereduceerde produktie. Vermenigvuldigd met de kans dat er inderdaad een zuiger uitvalt geeft dit een bijdrage in de totale kans op het optreden van de ongewenste topgebeurtenis.

6.2.4 Beïnvloeding door externe factoren

De deel-foutenboom voor vertraging van het werk door externe factoren wordt in fig. 6.2.8 gepresenteerd. Het sociaal/bestuurlijke karakter van de genoemde gebeurtenissen maakt kwantificering van de boom vrijwel onmogelijk. Bovendien vallen dergelijke ongewenste gebeurtenissen buiten de invloedssfeer en de verantwoordelijkheid van de technische ontwerpers; de presentatie ervan dient meer als een "pro memori" post te worden gezien.



figuur 6.2.8 Foutenboom externe factoren

6.3 Kwantificering foutenbomen

6.3.1 Algemeen

Teneinde de uiteindelijke faalkans van het systeem te bepalen is het nodig de optredenskans van de deelgebeurtenissen te kennen. Er zijn verschillende manieren om hieromtrent een uitspraak te doen. Bij het bepalen van een bezwijkkans (het overschrijden van een grenstoestand) zal veelal gebruik gemaakt worden van probabilistische berekeningen. Uitgaande van de kansdichtheidsfunctie van de variabelen die belasting en sterkte van het systeem beschrijven wordt de kans op bezwijken (belasting groter dan sterkte) bepaald.

Voor het bepalen van optredensansen van gebeurtenissen bij het uitvoeringsproces zal enerzijds geput kunnen worden uit

data-banken, anderzijds zullen door schattingen uit opgedane ervaring en redenerenderwijs kansen afgeleid worden. Wanneer de optredens-kansen van de deelgebeurtenissen bekend zijn, kan de foutenboom van onder naar boven doorgerekend worden. Hierbij worden de kansen onder een "en-poort" (A treedt op als B én C beide optreden) vermenigvuldigd ($P(A) = P(B) \times P(C)$) en de kansen onder een "of-poort" (A treedt op als B óf C optreedt) opgeteld ($P(A) = P(B) + P(C)$). Voor de codering van een "en-" en "of poort" wordt verwezen naar de symbolenlijst. Het uiteindelijke resultaat is de optredenskans van de topgebeurtenis.

6.3.2 Grenstoestanden bouwfasen

In de ontwerpnota zandsluiting Krammer (lit. 17) is voor elk onderscheiden bezwijkmechanisme een waarde voor de optredens-kans bepaald. Hierbij bleek dat deze optredens-kansen veelal verwaarloosbaar klein zijn, voornamelijk als gevolg van de flauwe taluds en de geringe diepte van de ontgrondingskuilen bij de aanleg van de sluitkade. In par. 4.9 worden met name voor de mechanismen zettingsvloeiing, micro-stabiliteit en interne erosie kleine optredens-kansen aangegeven. Een uitputtende behandeling van de bezwijkmechanismen lijkt om deze reden niet zinvol. Er zal volstaan worden met een beschouwing van de maatgevende mechanismen.

Macro-stabiliteit sluitkade en werkeilandoever

In par. 4.9.2 wordt het mechanisme macro-stabiliteit behandeld. Daar wordt voor het overschrijden van de grenstoestand bij de aanleg van de sluitkade met taluds 1:5 een kans van circa 4.10^{-5} gevonden. Voor de taluds 1:4 bedraagt de bezwijkkans circa 6.10^{-3} . Alhoewel het ontwerp uitgaat van bovenwatertaluds van 1:5 is bij de uitvoering een talud van 1:4 niet ondenkbaar. Voor de optredens-kans van een macro-instabiliteit wordt een tussenliggende waarde gehanteerd: 5.10^{-4} .

Opgemerkt zij nog dat in par. 4.9.1 voor de fase waarbij de bovenslag aangebracht wordt (met een talud 2:3) een bezwijkkans van circa 9.10^{-2} genoemd wordt (voor een talud van de sluitkade van 1:5). Daar de hierbij optredende instabiliteit zeer lokaal zal zijn en de sluitkade zelf niet aangetast zal worden, wordt deze relatief grote kans niet in beschouwing genomen.

Macro-stabiliteit Tholense oever

Voor deze grenstoestand heeft een terugkoppeling van de risico analyse naar het ontwerp plaatsgevonden, teneinde tot een ontwerp met evenwichtige risico-gevoeligheid te komen. Dit heeft geleid tot een ontwerp-faalkans van 10^{-3} . Deze waarde houdt bovendien in dat de huidige veiligheid tegen inundatie van Tholen niet gereduceerd wordt tijdens de sluiting.

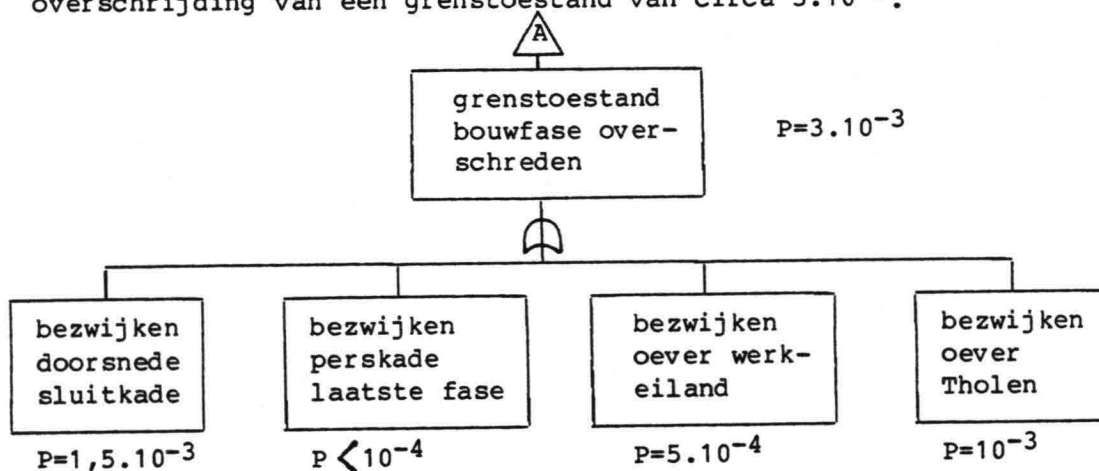
Voor de optredens-kans van een macro-instabiliteit van de Tholense oever wordt, door middel van het aanbrengen van steunbermen (zie par. 4.9.2) een waarde van 10^{-3} gerealiseerd.

Erosie van het buitentalud of de kruin

Bij een optredende storm is het mogelijk dat de combinatie van een hoge waterstand en grote golven leidt tot afslag van het zandprofiel en zelfs tot een doorbraak. Met behulp van het computermodel DUROS is de optredensfrequentie hiervan (inclusief kruinerosie) bepaald op 1,2 keer per jaar. Voor de sluiting betekent dit, bij een expositieduur van de sluitkade aan deze mogelijke omstandigheden van minder dan een dag (sluitkade gereed, stormvloedkering open, bovenslag nog te spuiten) een optredenskans kleiner dan $3 \cdot 10^{-3}$. Aangezien bij verwachte zeer slechte weersomstandigheden de stormvloedkering 1 of 2 getijden langer gesloten gehouden kan worden, kan deze bezwijkkans desgewenst nog aanzienlijk gereduceerd worden. Er wordt een kans van 10^{-3} gehanteerd.

Bezwijkkans bouwphase

Optelling van bovenvermelde optredensansen van de belangrijkste mechanismen levert voor de totale bouwphase een kans op overschrijding van een grenstoestand van circa $3 \cdot 10^{-3}$.



Figuur 6.3.1 Gekwantificeerde foutenboom voor het overschrijden van een grenstoestand.

6.3.3 Kalamiteus falend materieel

Algemeen

In deze paragraaf worden de optredensansen van de onderscheiden deelgebeurtenissen die leiden tot het kalamiteus falen van een zuiger gekwantificeerd. De gepresenteerde kansen gelden per zuiger en voor de duur van het werk.

Brand en explosie

Volgens gegevens uit het bestand van scheepsongevallen van de Dienst Verkeerskunde zijn globaal 40 beroepsvaartuigen per jaar in Nederland betrokken bij een brand of explosie. Bij een bestand van circa 7.000 schepen levert dit per 2 weken een kans op van $2,5 \cdot 10^{-4}$.

Aanvaring, stranding

Bij het aanlopen van de havens Hansweert en Terneuzen worden door het Nederlands Maritiem Instituut frekventies van $6,2 \cdot 10^{-6}$ respektievelijk $2,7 \cdot 10^{-6}$ genoemd voor "aan de grond lopen". Op grond hiervan wordt als globale schatting een frekventie van $4 \cdot 10^{-6}$ per scheepsbeweging aangehouden. Als per zuiger 1 scheepsbeweging per week aangenomen wordt (doordat de zuigers op ankers werken lijkt deze lage schatting reëel), verkrijgen we voor de kans op stranding $P = 10^{-5}$.

Het zandwingsgebied ligt zover van de Schelde-Rijnverbinding verwijderd dat de kans verwaarloosbaar klein mag worden geacht dat een binnenvaartschip een zuiger zal aanvaren. Ter plaatse passeren in het jaar van sluiting slechts rekratie-, vissers- en werkvaartuigen. Deze worden niet in staat geacht om zodanige schade aan een zuiger aan te richten, dat deze onbruikbaar raakt. Voor de kans op aanvaring of stranding van de zuiger wordt een waarde van 10^{-4} gehanteerd.

Verlies zuigleiding

Het verloren gaan van een zuigbuis is in principe mogelijk; vooral wanneer op grote diepte gewerkt wordt en in ruwe omstandigheden. In het onderhavige geval zal de diepte van de winputten beperkt blijven tot NAP -20 m, hetgeen de kans op het vastraken van de zuigbuis in het ongekontroleerd toestromende zand aanzienlijk verkleint. Verder dient overwogen te worden dat door de beschutte omstandigheden (geen grote golven, geen deining), het vastraken van een zuigbuis niet betekent dat deze verloren gaat. Op grond van bovenstaande overwegingen wordt een kleine optredenskans voor deze gebeurtenis aangehouden; arbitrair wordt $5 \cdot 10^{-4}$ gehanteerd.

Spuds/verankeringsysteem niet beschikbaar

Wanneer een cutterzuiger onder een hoek met de stroom moet werken bestaat bij grote stroomsnelheden (1,5 à 2 m/s) de mogelijkheid dat de zuiger om de spudpaal valt en deze (en de drijvende leiding) beschadigt. De stroomsnelheid waarbij dit gevaar reëel is, zal tijdens de sluiting ter plaatse van het zandwingsgebied waarschijnlijk niet optreden. Voor de kans dat een zuiger blootgesteld wordt aan een dergelijke stroomsnelheid wordt, gelet op de hydraulische randvoorwaarden, 10^{-2} à 10^{-3} gehanteerd. Daar vervolgens door tijdig anticiperen de kalamiteit voorkomen kan worden wordt deze kans arbitrair nog met een faktor 10 gereduceerd. Overigens is het in het voorkomende geval wellicht mogelijk dat (binnen korte tijd) verder gewerkt kan worden met een nood-verankeringsysteem. Derhalve is een optredenskans van 10^{-4} gehanteerd.

Zinker niet beschikbaar

Bij reeds uitgevoerde werken is gebleken dat de zinker een gevoelig onderdeel van het zandbedrijf is. Als faaloorzaken zijn aanvaring, opdrijven, verzanden en schade door een krabbend anker te

noemen. Ter plaatse passeren circa 100 vissersschepen per week. De overige (recreatie-)vaart zal door de scheepsafmeting en het seizoen verwaarloosd kunnen worden. Voor de kans op aanvaring of schade door een krabbend anker wordt $5 \cdot 10^{-5}$ gehanteerd. Dit levert een faalkans van de zinker op van circa 10^{-2} voor de duur van het werk.

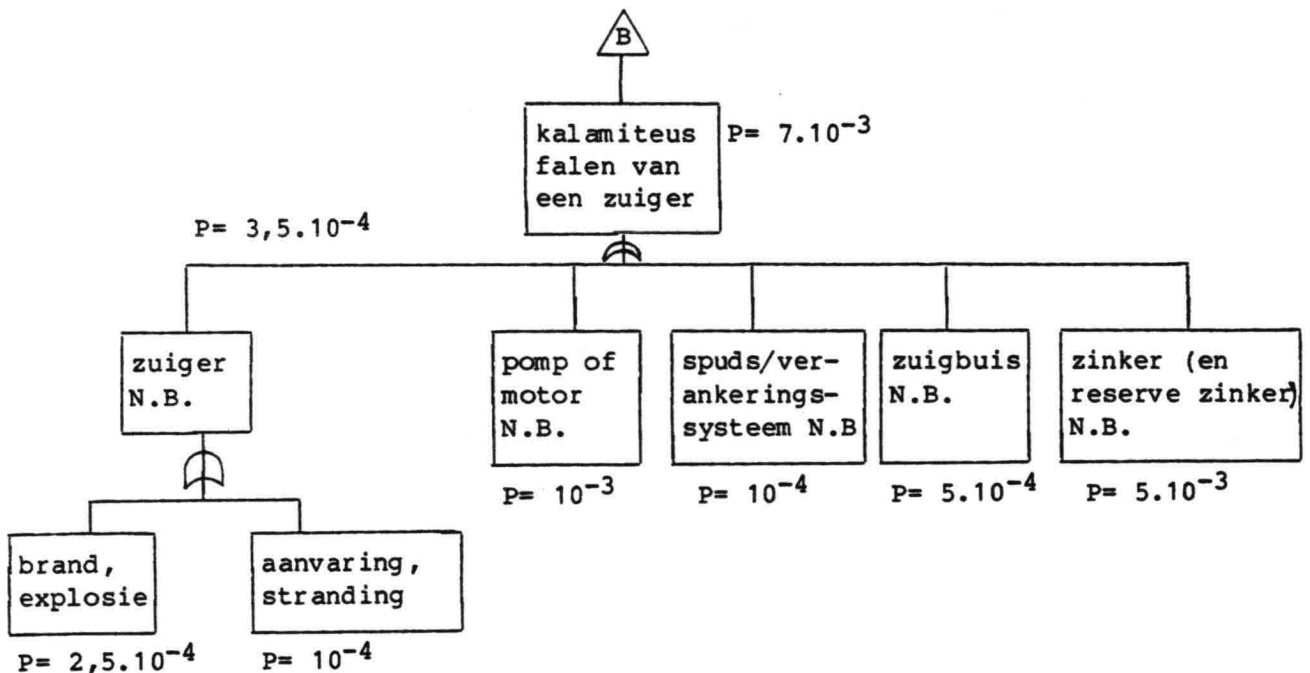
Voor de kans op opdrijven of verzanden van de zinker wordt als oorzaak gedacht aan het menselijk falen. Dit leidt tot een faalkans van 10^{-1} à 10^{-2} . Ook kan de uitvoeringservaring van het zandbedrijf bij de Markiezaatskade als basis genomen worden. Hier heeft de zinker twee keer gefaald bij een werk van circa 3 maanden. Hoewel dit exceptioneel was, blijkt toch dat een faalkans van enkele procenten reëel moet worden geacht.

Om deze reden wordt in hoofdstuk 5 reeds voorgesteld per 2 zuigers een reservezinker beschikbaar te hebben. Bovendien kan, in noodgevallen, een drijvende leiding toegepast worden, hetgeen echter wel stremming van de scheepvaart zou betekenen.

Voor de faalkans van een zuiger ten gevolge van een falende zinker wordt, er vanuit gaande dat genoemde reservezinker voorhanden is, een waarde van $5 \cdot 10^{-3}$ verkregen.

Pomp of motor niet beschikbaar

Om een nauwkeurige uitspraak te kunnen doen over de optredenskans van deze gebeurtenis is het nodig de te gebruiken zuigers in detail te analyseren. De faalkans kan sterk gereduceerd worden door het eventueel gebruik van parallelle of uitwisselbare systemen. Gelet op de faalkans van een dieselmotor ($1,5 \cdot 10^{-3}$ per uur) en van een pomp ($1,5 \cdot 10^{-5}$ per uur) en voor de kans op niet repareren-



N.B. = niet beschikbaar

Figuur 6.3.2 Gekwantificeerde deel-foutenboom voor kalamiteus falend materieel

baar zijn $2 \cdot 10^{-2}$ aannemend, wordt een faalkans van 10^{-2} verkregen. Wanneer de bovengenoemde reserve van een parallelsysteem aanwezig is, reduceert dit de faalkans van 10^{-2} tot $(10^{-2})^2 = 10^{-4}$. Op voorhand is niet te zeggen of dit het geval zal zijn; er wordt een faalkans van 10^{-3} gehanteerd.

Gekwantificeerde foutenboom

In figuur 6.3.2 is de foutenboom voor het kalamiteus falen van een zuiger gepresenteerd. De optredenskans van deze gebeurtenis bedraagt circa $7 \cdot 10^{-3}$, waarbij de kansen op falen van de motor en de zinker het grootste aandeel hebben. De kans op het uitvallen van één van de vier zuigers tijdens de sluiting bedraagt circa 3%.

6.4 Uitlooptijd bij planmatige uitvoering

6.4.1 Inleiding

Ook wanneer de uitvoering volgens plan verloopt kan, door diverse oorzaken, de sluiting tegenvallen. In de eerste plaats kan de zandproduktie, ten gevolge van een tegenvallende werkcoëfficiënt of bruto-productie, kleiner zijn dan verwacht. Ook kunnen de diverse parameters die in de zandverliesberekening ingevoerd worden, in ongunstige zin afwijken. In de volgende paragrafen zal eerst voor deze parameters nagegaan worden welke spreiding ze kunnen vertonen. Hierbij is de vereenvoudiging toegepast dat een passende normale verdeling is gezocht bij de flank van de kansdichtheidsfunctie die een ongunstige invloed op het berekeningsresultaat heeft. Vervolgens is het mogelijk de spreiding van de berekeningsresultaten (zandverlies in de kritieke fase, sluitingsduur en totale zandhoeveelheid) door middel van probabilistische berekeningen te bepalen. Het resultaat hiervan is dat, naast de verwachtingswaarde, de standaardafwijking van deze grootheden bekend is, waaruit de kans op overschrijding van een bepaalde waarde is af te leiden. Bij de berekeningen zijn alleen die parameters in de beschouwing betrokken waarvan uit de berekeningen voor de Krammersluiting (lit. 17) bleek dat ze een significant aandeel hebben in de spreiding van de interessante grootheden. Verder hebben de berekeningen betrekking op de gekozen zuigerproduktie van $10.000 \text{ m}^3/\text{u}$.

6.4.2 Spreiding in parameterwaarden

Het model dat gebruikt wordt voor het berekenen van zandsluitingen berust op de zandtransportformule van Morra-Kalinske. In de nota zandsluiting Krammer (lit. 17) wordt hierop ingegaan. Alhoewel de formule een fysische achtergrond heeft, wordt hij meer als "black box"-model gebruikt. Om een uitspraak te kunnen doen omtrent de nauwkeurigheid van het model wordt toch vanuit de fysische achtergrond een analyse opgezet, daar voldoende materiaal voor een verantwoorde ijking op korte termijn niet beschikbaar is. In lit. 17 worden de betreffende parameters behandeld en wordt, op grond van de fysische achtergrond, de spreiding ingeschat.

Naast de parameters en coëfficiënten uit de zandtransportformule

zijn er externe factoren die invloed hebben op het berekeningsresultaat. Onderstaand worden zowel deze factoren als de beschouwde ZANDSOM-parameters kort behandeld, waarbij de te gebruiken standaardafwijking wordt afgeleid.

Stroomsnelheid

De stroomsnelheden die als randvoorwaarde bij de sluiting zullen optreden kunnen afwijken van de bij de berekening gehanteerde waarden. Hierbij spelen de volgende factoren een rol:

- natuurrandvoorwaarden;
- doorstroomopening stormvloedkering;
- gebruik stormvloedkering;
- IMPLIC-nauwkeurigheid;
- ontwikkeling van het snelheidsprofiel in het sluitgat.

Het lijkt redelijk om het effect hiervan in rekening te brengen door een standaardafwijking van 15% op de stroomsnelheid te hanteren.

Korrel diameter

Volgens par. 3.3.2 is de verwachtingswaarde van de korrel diameter 185 μm en de standaardafwijking 50 μm . Bij de berekening van het momentane zandverlies is een spreiding van 25% aangehouden. Voor de berekeningen betreffende de gehele sluiting is de standaardafwijking gereduceerd tot 15% van het gemiddelde, omdat het niet waarschijnlijk is dat gedurende de gehele sluiting de korrel diameter zeer sterk zal tegenvallen.

Taluds

De volgende waarden worden voor de zij- respectievelijk storttaluds reëel geacht:

	zijtalud	storttalud
boven NAP:	1:4 à 1:6	1:4 à 1:6
getijzone:	1:30 à 1:50	1:30 à 1:80
onder gemiddeld laagwater:	1:10 à 1:25	1:10 à 1:25

Op grond hiervan zijn de volgende verwachtingswaarden en standaardafwijkingen in de berekeningen gebruikt:

	zijtalud		storttalud	
	μ	σ	μ	σ
boven NAP:	1:5	1:0,5	1:5	1:0,5
getijzone	1:40	1:5	1:60	1:10
onder gemiddeld laagwater:	1:15	1:5	1:15	1:5

Zuigerproductie

De standaardafwijking van de netto-zuigerproductie is afhankelijk van de onzekerheid in de bruto-productie en in de werkcoëfficiënt. Een schatting voor de spreiding in de bruto-productie is moeilijk. Op grond van de ervaring lijkt voor de werkcoëfficiënt een standaardafwijking van 5 à 10% redelijk. Wanneer voor de netto-productie per zuiger een standaardafwijking van 20% gehanteerd wordt (hetgeen een veilige aanname lijkt), wordt voor de totale productie (een parallel systeem met 4 onafhankelijk veronderstel-

de zuigers) een standaardafwijking van 10% verkregen.

Overige parameters

De overige relevante parameters (stort- en bodemcoëfficiënt f_s , f_b , Manning-waarde n en konstante van Von Karman K) zijn inherent aan het ZANDSOM-model. Als zodanig is, zo mogelijk op grond van de fysische achtergrond, in de ontwerpnota zandsluiting Kramer (lit. 17) de standaardafwijking afgeleid. Hier wordt volstaan met het weergeven van het resultaat.

	μ	σ
$f_s; f_b$	2; 0,25	1; 0,125
n	0,024	0,0048
K	0,4	0,13

6.4.3 Probabilistische berekeningen

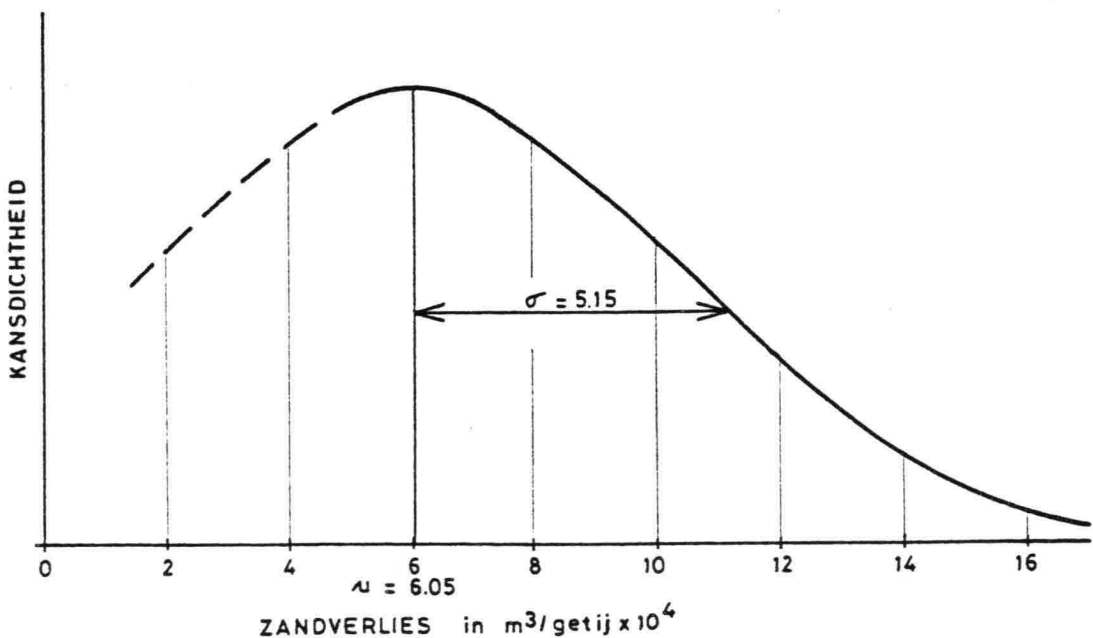
De probabilistische berekeningen worden op niveau II (klasse 1) uitgevoerd. Hierbij wordt de standaardafwijking van de berekende grootte (Z) bepaald uit de standaardafwijkingen van de verschillende parameters (die normaal verdeeld zijn aangenomen) met behulp van onderstaande formule

$$\sigma(Z)^2 = \sum_{n=1}^i \left(\frac{\partial Z}{\partial x_n} \cdot \sigma(x_n) \right)^2$$

waarin:

x_n = variabele

i = aantal variabelen



Figuur 6.4.1 Kansdichtheidsfunctie van het zandverlies in de kritieke fase

		max. verlies (m ³ /getij)	sluitingsduur (u)	totale zandhoe- hoeveelheid (m ³)
verwachtings- waarde	μ	60.500	220	2,2.10 ⁶
standaard- afwijking	σ	51.500	60	0,6.10 ⁶
variatie- coëfficiënt	σ/μ	0,85	0,27	0,25
variabele:	aandeel in de spreiding:			
v		22%	11%	14%
D ₅₀		44%	9%	11%
α		-	47%	55%
Productie		-	16%	-
f _{s, b}		16%	7%	9%
n		15%	8%	9%
K		3%	2%	2%

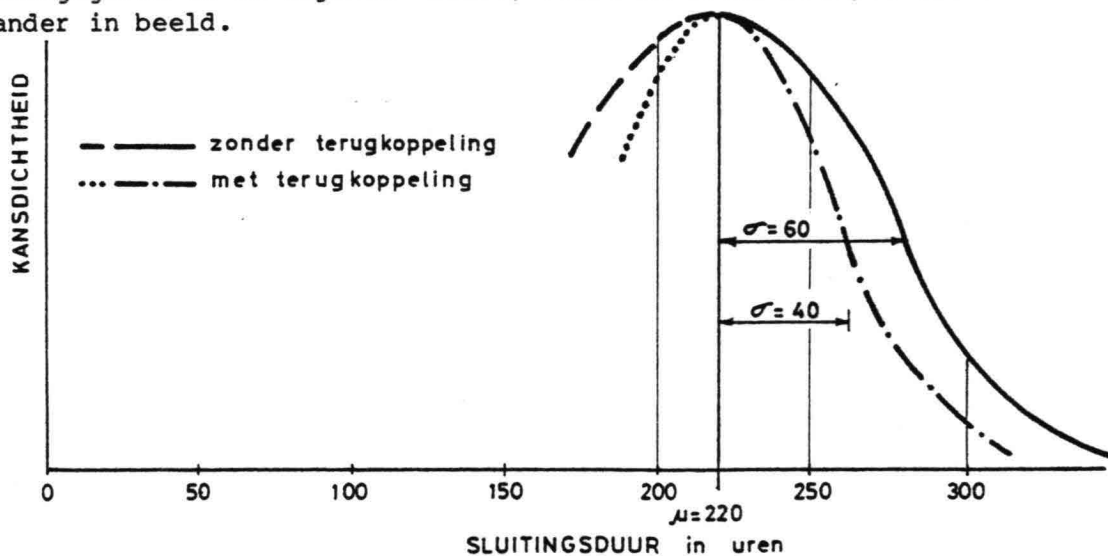
*) Inclusief laatste sluitingsfase; exclusief drooggrondverzet.

Tabel 6.4.1 Verwachtingswaarde en standaardafwijking van het zandverlies in de kritieke fase, de sluitingsduur en de totale zandhoeveelheid, en het aandeel van de diverse parameters daarin.

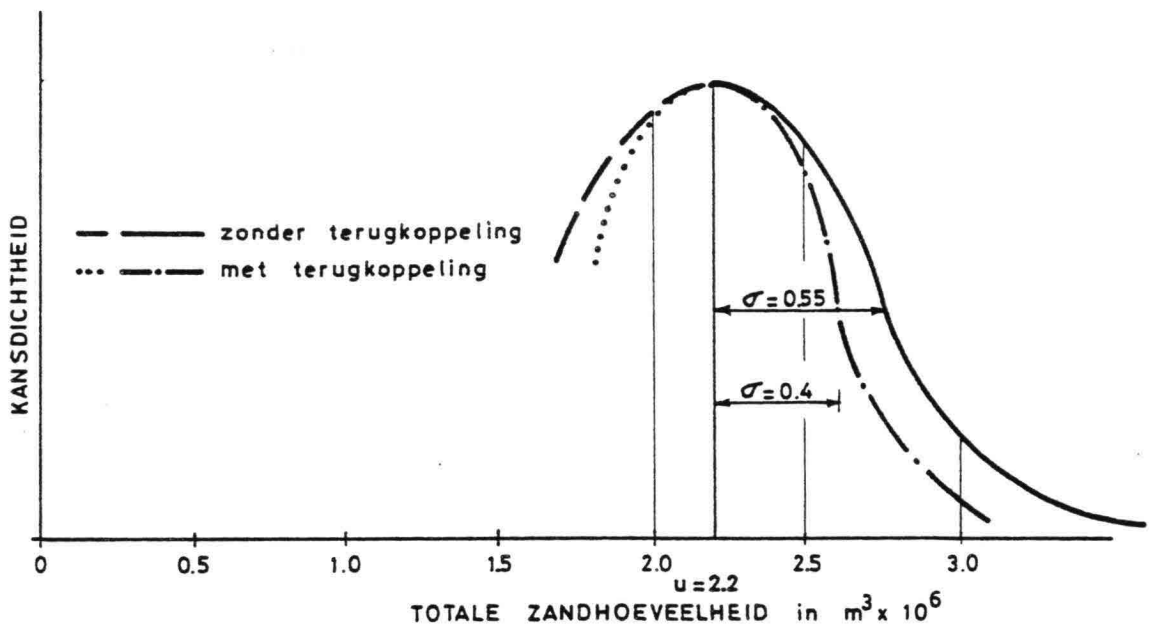
De berekeningen zijn uitgevoerd voor:

- het zandverlies in de kritieke fase (m³/getij), bij een sluitgatopening van 1710 m²;
- de sluitingsduur (u);
- de totale zandhoeveelheid (m³).

Naast de bepaling van de standaardafwijkingen van de interessante grootheden kan bepaald worden hoe groot het aandeel is van de spreiding van een bepaalde variabele in de spreiding van het berekeningsresultaat. In tabel 6.4.1 zijn de berekeningsresultaten weergegeven en de figuren 6.4.1, 6.4.2 en 6.4.3 brengen een en ander in beeld.



Figuur 6.4.2 Kansdichtheidsfunctie van de sluitingsduur



Figuur 6.4.3 Kansdichtheidsfunctie van de totaal benodigde zandhoeveelheid

Uit tabel 6.4.1 en de figuren 6.4.1, 6.4.2 en 6.4.3 kunnen de volgende konklusies getrokken worden.

- De invloed van de ZANDSOM-parameters op de spreiding van de interessante grootheden is niet zeer groot (circa 30% voor het zandverlies en circa 20% voor de sluitingsduur en de totale zandhoeveelheid).
- De invloed van de spreiding in de snelheid blijft beperkt tot 10 à 20% (voor respectievelijk sluitingsduur en zandverlies; voor de totale zandhoeveelheid 14%). De spreiding in de zandproduktie heeft slechts een significante invloed op de sluitingsduur; deze blijft echter beperkt tot 16%. De spreidingen in de korreldiameter en taluds hebben een grote invloed; de korreldiameter heeft 45% aandeel in de spreiding van het zandverlies in de kritieke fase en de taludonzekerheid een aandeel van 55% in de totale zandhoeveelheid, en van 45% in de sluitingsduur. Hieruit kan direkt afgeleid worden dat voor het in de hand houden van de sluitingsduur en zandhoeveelheid veel aandacht besteed dient te worden aan de taluds.
- Het blijkt dat de spreiding van het zandverlies in de kritieke fase groot is, terwijl die van de sluitingsduur en totale zandhoeveelheid toch beperkt blijft. De kans, dat de zandproduktie in de kritieke fase (A sluitgat = 1.710 m^2) overschreden wordt door het verlies, kan bepaald worden uit de verwachtingswaarde en standaardafwijking van de beide grootheden. Deze bedraagt: $P(\text{verlies} > \text{produktie}) = 12\%$. Dit betekent echter niet dat de kans op falen van de sluiting 12% bedraagt; de omstandigheden gedurende de volgende getijcyclus kunnen gunstiger zijn (grotere D_{50} b.v.) en er kan door middel van de stormvloedkering eerder een geknepen getij ingesteld worden. Bovendien kan deze kans nog gereduceerd worden door de kritieke fase(n) te laten samenvallen met doottij.
- Uit de kansdichtheidsfunctie van de sluitingsduur kan de kans op de ongewenste topgebeurtenis bij een planmatige uitvoering bepaald worden. Deze is verwaarloosbaar klein ($< 10^{-4}$), het-

geen veroorzaakt wordt doordat de marge van 2 weken groot is ten opzichte van de geplande uitvoeringsduur (circa 10 dagen).

Opgemerkt zij nog dat in de voorgaande berekeningen voor de sluitingsduur en de totale zandhoeveelheid het moment van overschakelen van een normaal getij op een geknepen getij en vervolgens op het dichtzetten van de stormvloedkering niet gevarieerd is. In werkelijkheid zal, wanneer eerder dan verwacht de toestand optreedt dat het zandverlies gelijk is aan 50% van de produktie, eerder overgeschakeld kunnen worden. Dit verkort de sluitingsduur tot het tijdstip dat de stormvloedkering dichtgezet wordt, maar verlengt de periode daarna. Wanneer de zandverliezen meevallen zal het omgekeerde het geval zijn. Hiermee rekening houdend worden de berekeningsresultaten uit tabel 6.4.1. als volgt aangepast:

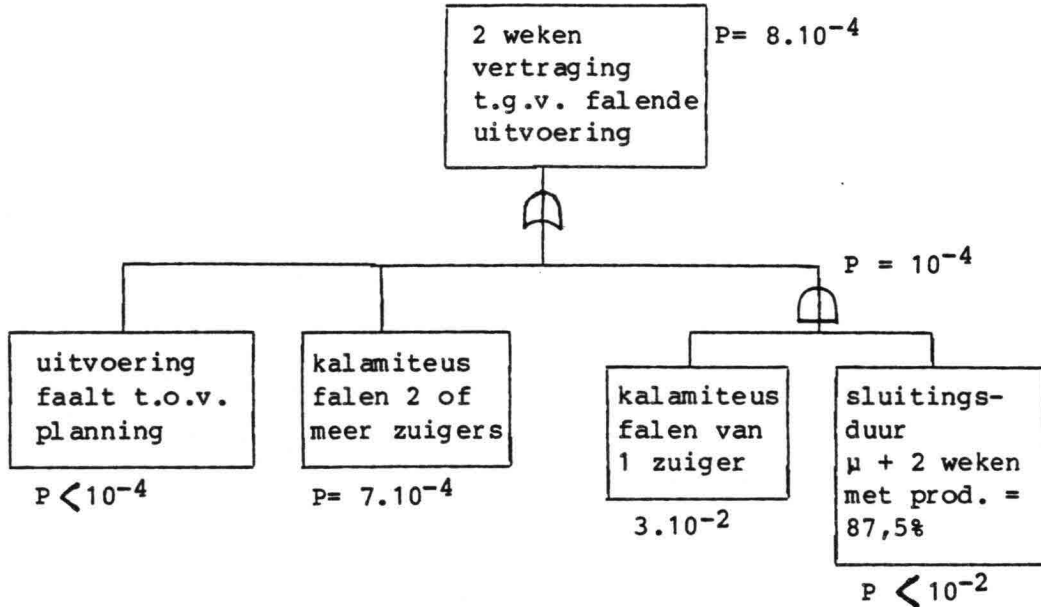
	maximum verlies (m ³ /getij)	sluitings- duur (u)	totale zand- hoeveelheid (m ³)
verwachtingswaarde	60.500	220	2,2.10 ⁶
standaardafwijking	0	40	0,4.10 ⁶

Tabel 6.4.2 Verwachtingswaarde en standaardafwijking van het maximumverlies, sluitingsduur en totale zandhoeveelheid bij terugkoppeling van het 50% criterium.

De standaardafwijking voor de duur dat de stormvloedkering dicht is, bedraagt 9 uur, terwijl de standaardafwijking van de totale sluitingsduur nu 40 uur bedraagt. In tabel 6.4.2 is de standaardafwijking voor het maximumverlies op nul gesteld, hetgeen alleen mogelijk is indien er een optimale terugkoppeling is naar het beheer van de stormvloedkering.

6.4.4 Kombinatie falend materieel en tegenvallende uitvoeringsduur

Het uitvallen van één zuiger leidt niet direkt tot de ongewenste topgebeurtenis. Afhankelijk van het moment van uitvallen wordt de produktie-kapaciteit, gemiddeld over de sluitingsduur, gereduceerd en zal de sluiting langer duren. Zo zal, wanneer direkt aan het begin van het werk een zuiger uitvalt, de gehele sluiting met 75% van de ontwerpproduktie gerealiseerd dienen te worden. Bij het uitvallen van een zuiger aan het eind van het werk heeft dit nauwelijks of geen invloed. Voor het geval dat één zuiger uitvalt wordt de kans op 2 weken vertraging met een produktie van 87,5% bepaald. Bij het uitvallen van 2 zuigers mag worden aangenomen dat de ongewenste topgebeurtenis optreedt. De foutenboom in figuur 6.4.4 illustreert dit en geeft de optredensansen weer. Hierbij is de faalkans bij een produktie van 87,5% met behulp van omrekenfactoren afgeleid uit de gegevens van tabel 6.4.1. Hierbij dient nog wel bedacht te worden dat in dit geval de sluiting asymmetrisch zal gaan verlopen. Het kan dan nodig zijn een zuiger tijdens de sluiting van stort te laten wisselen om ongewenste stroombeelden te voorkomen. Dit zal de faalkans echter nauwelijks beïnvloeden.



Figuur 6.4.4 Gekwantificeerde foutenboom voor een falend uitvoeringssysteem.

6.5 Falen van de stormvloedkering

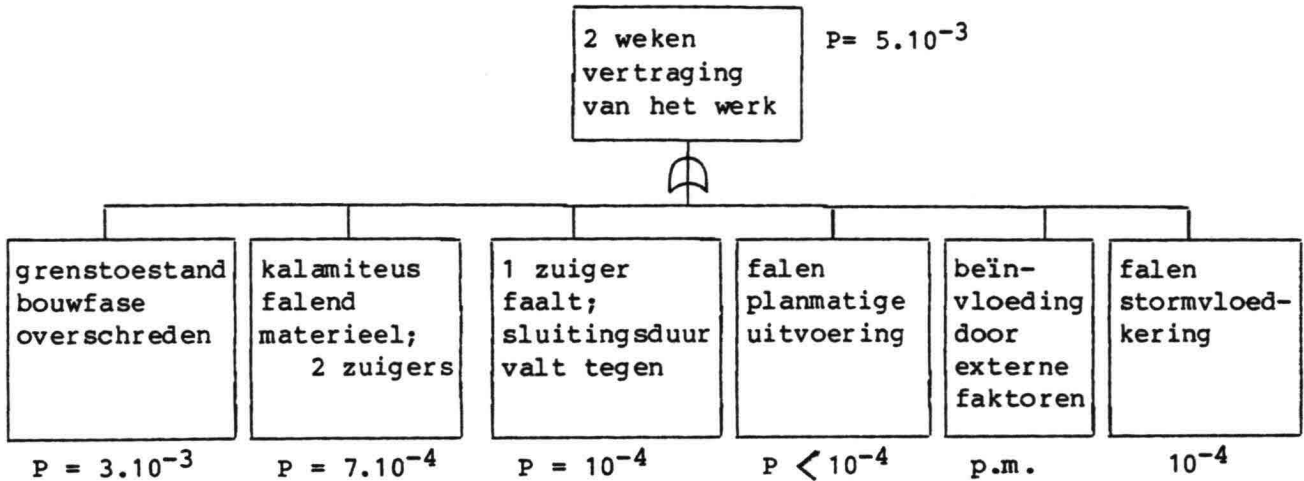
Bij de zandsluiting van het Tholensche Gat zal gebruik gemaakt worden van de stormvloedkering om de stroomsnelheden in het sluitgat te reduceren. Weliswaar bevindt de stormvloedkering zich tijdens de sluiting van het Tholensche Gat nog in het begin van de operationele fase waarbij het optreden van aanloopproblemen niet uitgesloten mag worden geacht. Anders dan bij de zandsluiting van het Krammer zal hier echter geen ingewikkeld systeem van voorspellen, meten en afregelen van de doorstroomopening van de kering toegepast worden. Wanneer de sluitgatopening van het Tholensche Gat verkleind is tot circa 1700 m², wordt een verkleinde doorstroomopening van de stormvloedkering ingesteld. Tijdens de laatste fase van de sluiting wordt de kering gedurende korte tijd geheel gesloten.

Bovenstaande strategie betekent dat bij de sluiting van het Tholensche Gat, in tegenstelling tot bij de Krammersluiting, slechts een eenvoudig gebruik van de stormvloedkering gemaakt zal worden. Bovendien zal het te laat of onvolmaakt reageren van de stormvloedkering niet direkt leiden tot het optreden van de ongewenste topgebeurtenis. Slechts wanneer een groot aantal schuiven gedurende meer dan een week (in geopende toestand) onbruikbaar is zal dit kunnen leiden tot de ongewenste topgebeurtenis. Voor de optredenskans hiervan wordt, mede gelet op het hieromtrent in de ontwerpnota Zandsluiting Krammer gestelde, een waarde van 10⁻³ gehanteerd.

6.6. Gekwantificeerde hoofd-foutenboom, totale faalkans en konklusies.

Nu de optredenskans van de onderscheiden deelgebeurtenissen bepaald zijn kan de uiteindelijke hoofd-foutenboom gekwantificeerd worden.

Figuur 6.6.1 geeft het resultaat.



Figuur 6.6.1 Gekwantificeerde hoofd-foutenboom.

Het blijkt dat de sluiting van het Tholensche Gat een kans op een werkvertraging van 2 weken of meer bezit van circa 0,5%.

Verder kan gekonkludeerd worden dat het overschrijden van een grenstoestand (bereiken van een bezwijkmechanisme) de grootste bijdrage hieraan levert, gevolgd door het geval dat 2 zuigers tijdens de sluiting falen. Er zou overwogen kunnen worden, om de kans op het overschrijden van een grenstoestand te verkleinen, teneinde het ontwerp evenwichtiger te doen zijn. Dit zou bewerkstelligd kunnen worden door het toepassen van flauwere taluds (verbetering van grondmechanische stabiliteit) en/of het iets langer gesloten houden van de stormvloedkering (kruin- en taluderosie). Gezien de benodigde investering en de nu reeds geringe bezwijkkans lijkt een aanpassing van het sluitkade-ontwerp niet noodzakelijk. De mogelijkheid tot aanpassing van het beheer van de stormvloedkering blijft aanwezig; bij voorspelde ongunstige omstandigheden kan alsnog besloten worden de kering langer gesloten te houden.

7 MILIEU, VISSERIJ, SCHEEPVAART EN WATERHUISHOUDING

7.1 Milieu

Wanneer de netto doorstroomopening van de stormvloedkering gereduceerd wordt tot 6.000 m² heeft dit voor de vogels een geringe vermindering van het voedselareaal tot gevolg. Aangezien echter de vogels bij het fourageren de waterlijn blijken te volgen en deze lijn zich in het voedselrijke gebied beweegt, levert dit weinig problemen op. Voor de bodemdieren boven NAP +0,50 m betekent dit droogstand. Gezien de relatief geringe dichtheid aan bodemdieren in de zone boven NAP +0,50 m en het gegeven dat deze dieren beter tegen droogstand bestand zijn, worden weinig problemen verwacht.

Het dichtzetten van de stormvloedkering tijdens de laatste 1 à 2 dagen kan het beste beginnen op laagwaterkentering aan het begin van de dag. Door de lek van de kering stijgt de waterspiegel in twee dagen tot ongeveer NAP. De vogels worden dan langzaam hun voedselareaal doorgeleid; rekening houdend met de beperkte duur van deze fase behoeven geen grote problemen te worden verwacht. De platen staan gedurende deze laatste fase droog; de delen onder NAP wat minder lang dan boven NAP. De kans op droog en zonnig weer met als gevolg veel verdamping is in oktober echter gering, zodat ook hier geen grote problemen verwacht worden. Mogelijk treedt enige sterfte van bodemdieren op de hogere delen op; dit valt echter in een periode, waarin de totale biomassa minder wordt door natuurlijke sterfte zodat van een ernstige verstoring van het ecosysteem geen sprake zal zijn.

7.2. Visserij

De mosselcultuur is economisch gezien de belangrijkste. Door onderschrijding van het gewenste zoutgehalte kunnen voor de mossels enige risico's ontstaan; in de sluitingsperiode is de mosselhandel in volle gang. De effecten zullen afhangen van de actuele weersituatie, doch door de korte duur van de getijmanipulatie zullen de gevolgen waarschijnlijk niet groot zijn.

7.3. Scheepvaart

Met ingang van de maand oktober is scheepvaartverkeer via het Tholensche Gat niet meer mogelijk. In de Oesterdam wordt een schutsluis gebouwd met beperkte afmetingen, die tijdens de sluiting van het Tholensche Gat provisorisch bedienbaar is. Dit houdt in, dat gedurende enkele uren per dag mogelijk niet gesloten kan worden. In de fase tot april 1987 (sluiting Krammer) kan scheepvaartverkeer vanuit het Zoommeer en het Volkerak nog ongehinderd via het Krammer naar de Oosterschelde varen. Wel moet gewezen worden op de dwarsstroomproblematiek bij de uitmonding van de Schelde-Rijnverbinding in het Volkerak (lit. 25).

7.4 Waterhuishouding

In lit. 2 wordt gekonkludeerd dat geen wezenlijke reducties van capaciteiten van de bestaande gemalen welke lozen op Oosterschelde, Volkerak, Eendracht en Zoommeer, optreden. Hierbij is als

uitgangspunt gehanteerd, dat thans nog bestaande uitwaterings-
sluizen in het kader van de aanpassing van waterstaatswerken vol-
gens de Deltawet te zijner tijd door gemalen zijn vervangen.
Ten aanzien van het waterstandverloop voor, tijdens en na de
zandsluiting van het Tholensche Gat mag worden gekonkludeerd, dat
ook hier de capaciteiten voldoende blijven. De lozingscapaciteit
van het Veerse Meer zal sterk verminderen; gezien de korte duur
van de getij-manipulatie mag de bergingscapaciteit van het Veerse
Meer echter voldoende worden geacht.
De getijdemping op het Volkerak en het Zoommeer voor, tijdens en
na de zandsluiting van het Tholensche Gat levert voor de Brabant-
se Rivieren geen problemen op; de lozingscapaciteit is groter dan
die in de eindsituatie.

8 OVERIGE ASPEKTEN

8.1 Begeleiding van de uitvoering

Om de uitvoering van de zandsluiting van het Tholensche Gat te laten verlopen op een efficiënte wijze, waarbij enerzijds het ontwerp zo goed mogelijk wordt gerealiseerd en anderzijds wordt ingespeeld op allerlei ontwikkelingen in (de directe omgeving van) het sluitgat en op de Oosterschelde, moet een intensieve begeleiding worden verzorgd. Deze begeleiding zou kunnen worden verricht door een team van deskundigen en betrekking moeten hebben op de sluitingsoperatie. Bovendien moet evaluatie van het project achteraf mogelijk worden gemaakt.

In de ontwerpnota Zandsluiting Krammer (lit. 17) is nader ingegaan op de operationele begeleiding (hydraulische randvoorwaarden, uitvoering en voortgang van het werk), de evaluatie en de organisatie van de begeleiding van de uitvoering. Gezien de vele overeenkomsten met de zandsluiting Krammer wordt verder verwezen naar lit. 17.

8.2 Verrekeningswijze en aanbestedingsvorm

In (lit. 17) is uitgebreid ingegaan op de verrekeningswijze van het zand en op de aanbestedingsvorm. Evenals in de voorgaande paragraaf wordt voor een behandeling van beide aspecten verwezen naar lit. 17.

8.3 Mogelijkheden tot optimalisatie

Nadere studie en/of onderzoek zal moeten uitwijzen of het ontwerp verder geoptimaliseerd kan worden en welke kostenbesparingen dan bereikt worden.

Mogelijkheden tot optimalisatie lijken vooral aanwezig bij de toegepaste berekeningsmethode voor de zandverliezen in het sluitgat. Hiervoor wordt verwezen naar lit. 17.

Voor de optimalisatie van de uitvoering wordt verwezen naar de reeds in lit. 17 genoemde mogelijkheden. Verder kan gedacht worden aan een planning die zo goed mogelijk gebruikmaakt van de getijcyclus. Er is een uitgebreider onderzoek gewenst naar de zandwinplaatsen waarbij o.a. moet worden nagegaan of het mogelijk is een eventueel aanwezige hoeveelheid grover zand in beide wingebieden te lokaliseren en te reserveren voor de moeilijkste fase van de sluiting. Verder kan uit een beter inzicht in de winbaarheid van het zand blijken, dat een cutterzuiger beter vervangen kan worden door een goedkopere winzuiger.

9 SAMENVATTING

9.1 Inleiding

In de voorliggende nota is het ontwerp van de zandsluiting van het Tholensche Gat uitgewerkt. Deze sluiting is een alternatief voor de steensluiting van het Tholensche Gat waarover een aparte ontwerpnota is opgesteld (lit. 4).

Door de reductie van het getij ten gevolge van de aanleg van de stormvloedkering wordt de kom van de Oosterschelde kwetsbaarder voor zoetwaterinvloeden in perioden van zware regenval, en voor het zoetwaterbezwaar via de Kreekraksluizen. Door een tijdige aanleg van de Oesterdam wordt de kom van de Oosterschelde afgeschermd voor de genoemde invloeden.

In lit. 2 is de mogelijkheid van een zandsluiting onderzocht. Uit deze studie bleek dat dit echter alleen mogelijk is als gebruik wordt gemaakt van de stormvloedkering om het getij zo te beïnvloeden dat de stroomsnelheden in het sluitgat, vooral tijdens de kritieke fasen van de sluiting, in voldoende mate kunnen worden beperkt. De stormvloedkering is volgens de huidige planning operationeel op 1 oktober 1986. Gelet op het voorgaande is gekozen voor een zandsluiting in oktober 1986. De zandsluiting is aantrekkelijk vanwege het grote financiële voordeel ten opzichte van de steensluiting en aanvaardbaar uit oogpunt van milieu, visserij, scheepvaart en waterhuishouding.

9.2. Ontwerpaanpak

De zandsluiting van het Tholensche Gat komt in feite neer op het uitbouwen van een sluitkade door middel van zandsputten vanaf één of beide oevers. In het kleiner wordende sluitgat nemen de snelheden toe en stijgen de zandverliezen. De hoeveelheid zand die nodig is om de sluiting uit te voeren hangt af van het netto volume van de sluitkade en de optredende zandverliezen. Deze laatste zijn behalve van de eigenschappen van het zand (korreldiameter) en enkele andere parameters, vooral afhankelijk van de duur en de grootte van de stroomsnelheden. De laatste twee grootheden spelen een belangrijke rol in het ontwerpproces dat een iteratief karakter heeft.

De grootte van de snelheden kan worden beïnvloed met behulp van de stormvloedkering. Ten behoeve van het ontwerp is hiervoor een gebruiksscenario opgesteld, waarvan het effect op de sluiting wordt bepaald door het uitvoeren van zandverliesberekeningen. De duur van de sluiting is mede afhankelijk van de toegepaste zandproductie. Hoe groter de productie, des te sneller de voortgang van de zandsluiting en des te kleiner de totale zandverliezen.

Het gehanteerde gebruiksscenario voor de stormvloedkering is aan een onderzoek onderworpen en getoetst aan randvoorwaarden voor milieu, visserij, etc.. Vervolgens zijn zandsluitingsberekeningen uitgevoerd uitgaande van een maximum haalbare netto zandproductie en een vooraf gekozen dwarsprofiel voor de sluitkade. Het zandsluitingsontwerp is tenslotte onderworpen aan een uitgebreide risicoanalyse.

9.3 Uitgangspunten en randvoorwaarden

Voor het uitvoeren van de zandsluitingsberekeningen moest worden volstaan met een eenvoudig model, ZANDSOM. Een meer geperfectioneerd quasi-driedimensionaal model, SLUITZAK, is nog in ontwikkeling.

Voor het ontwerp van de sluiting is uitgegaan van de bestaande situatie in het sluitgat. De getijberekeningen zijn uitgevoerd met het ééndimensionale model IMPLIC. De afvoercoëfficiënt van het sluitgat is afhankelijk van het doorstroomprofiel en varieert van 1 in de eerste fase tot 0,75 à 0,85 in de laatste bouwfasen. Voor een aantal bouwfasen zijn de hydraulische randvoorwaarden berekend. Bij het vernauwen van het sluitgat zullen de snelheden toenemen. De maximale snelheden bij gemiddeld getij lopen op tot circa 5 m/s indien de stormvloedkering niet wordt gebruikt.

Uit geologisch onderzoek volgt, dat er een onderscheid moet worden gemaakt tussen de grondslag onder de Tholense oever en de grondslag onder het resterende deel van het sluitgat.

Bij de Tholense oever komt tot een diepte van NAP -8,5 m à NAP -11 m een cohesieve holocene laag voor, bestaande uit min of meer zandige klei, waartussen zich een 1 à 2 m dikke veenlaag bevindt. Deze cohesieve laag wordt gevolgd door een voornamelijk uit zand bestaande holocene formatie (afzettingen van Calais) tot een diepte van NAP -27 m à NAP -30 m; daaronder bevinden zich pleistocene lagen. Door de wijze van afzetting van de genoemde holocene formatie, en de aanwezigheid van de oppervlakte-kleilaag is de Tholense oever als niet-zettingsvloeiingsgevoelig aangemerkt.

De grondslag in het resterende deel van het sluitgat (geul en oever werkeiland) bestaat uit jong zeezand dat wel zettingsvloeiingsgevoelig is.

Het zand wordt gewonnen in twee zandwingebieden. Voor het zand uit deze winplaatsen wordt een gemiddelde korreldiameter van 185 μm aangehouden met een standaardafwijking van 50 μm . In elke winplaats is ruimte voor ten hoogste twee cutterzuigers die per stuk een maximale netto produktie van 2.500 m³/u leveren.

9.4 Ontwerp van de zandsluiting

Alvorens zandverliesberekeningen zijn gemaakt, is het dwarsprofiel van de sluitkade vastgesteld. De kruinhoogte van de sluitkade bedraagt NAP +3 m, op welk niveau een breedte aanwezig is van 50 m. De taluds voor beide zijden zijn: beneden laagwater 1:16, tussen laagwater en NAP 1:40 en boven NAP 1:5.

De taluds van het stortprofiel zijn respectievelijk 1:15, 1:60 en 1:5. Van de mogelijke sluitingsvarianten is een sluiting vanaf beide zijden gekozen.

De rekenmethode is gebaseerd op de zandtransportformule van Morra-Kalinske, waarin de gebruikelijke waarden voor de diverse modelparameters zijn ingevuld; deze rekenmethode is bij eerdere sluitingen toegepast. De toepasbaarheid van de methode voor grootschalige sluitgaten met een grotere diepte en hogere snelheden dan bij de eerdere zandsluitingen noopt tot voorzichtigheid.

- Daarom wordt een tweetal voorwaarden aan de toepassing opgelegd:
- a. het zandverlies per getij mag niet meer dan 50% van de produktie bedragen;
 - b. de maximale snelheid gemiddeld over het sluitgat is 3 m/s.
Wordt aan deze voorwaarden niet voldaan dan worden de snelheden in het sluitgat met behulp van de stormvloedkering verlaagd.

9.5 Manipulatie van de stormvloedkering

Voor het uitvoeren van de sluiting van het Tholensche Gat met zand is het gebruik van de stormvloedkering, net als bij de Krammersluiting, onontbeerlijk. Anders is, dat voor het Tholensche Gat volstaan wordt met de meest eenvoudige vorm van manipulatie. Wanneer het zandverlies tot 50% van de produktie is opgelopen, wordt de doorstroomopening van de stormvloedkering verkleind van 16.700 m² tot 6.000 m². Het getij op de Oosterschelde wordt daardoor gedempt tot een gemiddeld getijverschil te Yerseke van ca. 1,25 m. Wanneer opnieuw het zandverlies bij het geknepen getij oploopt tot 50% van de produktie wordt de kering gesloten. Als over de volledige lengte van het sluitgat de sluitkade is uitgebouwd tot NAP + 3,00 m, met een kruinbreedte van 50 m, wordt de stormvloedkering weer geopend.

9.6 Keuze van de produktie

Naar analogie met de uitgevoerde berekeningen ten behoeve van het ontwerp van de zandsluiting van het Krammer is uit kostenoverwegingen een zo groot mogelijke produktie gekozen. De maximum haalbare produktie wordt bepaald door de afmetingen van de zandwinplaatsen. Uitgaande van een capaciteit van netto 2500 m³/u per cutterzuiger, bedraagt de maximale produktie 10.000 m³/u (5000 m³/u per stort).

9.7 Resultaten zandsluitingsberekeningen

Gedurende de eerste zeven dagen kan de sluiting plaatsvinden bij een normaal getij met een mA stormvloedkering van 16.700 m². Bij een sluitgatopening van ca. 1700 m² bedraagt het zandverlies 50% van de produktie (gerekend over een getij); de maximale stroomsnelheid bij gemiddeld getij is dan 1,8 m/s.

De netto doorstroomopening van de stormvloedkering wordt dan gereduceerd tot 6.000 m². Na twee dagen is het sluitgat verder vernauwd tot 375 m² wanneer de zandverliezen wederom 50% van de produktie bedragen; de maximale stroomsnelheid bedraagt dan ca. 2,5 m/s.

Op dat tijdstip wordt de stormvloedkering geheel gesloten bij een laagwaterstand op de Oosterschelde van NAP -0,60 m. De fase met geheel gesloten stormvloedkering duurt bijna één dag, waarin tevens de laatste klap in den droge wordt uitgevoerd. Aan het einde van die dag is over het volledige sluitgat een kruinhoogte van NAP +3,00 m aanwezig, waarna de stormvloedkering weer wordt geopend. Onmiddellijk daarna wordt de bovenslag tot NAP +5,00 m aangebracht.

9.8 Erosie in de omgeving van het sluitgat

Vrijwel vanaf de aanvang van de zandsluiting bereiken de beide onderwaterstorten elkaar, waardoor erosie van de sluitgatbodem wordt voorkomen. Als het sluitgat is vernauwd tot 450 m² wordt pas daadwerkelijk vanaf de beide oevers een sluitkade bovenwater uitgebouwd. De optredende neren benedenstrooms van het sluitgat zullen geen zwaardere belasting op de beide oevers uitoefenen dan tijdens de situatie voorafgaande aan de sluiting van de Markiezaatskade. Hoogstens zou enige erosie aan beide zijden van de sluitkaden kunnen ontstaan ten gevolge van de neerstroming en ten gevolge van golfaanval. Gelet op de dan nog resterende duur van de sluiting, en gelet op mogelijke uitvoeringsmaatregelen worden verder geen problemen verwacht.

9.9 Uitvoeringsaspecten

De uitvoering van de zandsluiting stuit niet op bijzondere problemen. In de eerste fase van de sluiting is van groot belang dat de werkzaamheden op het stort, met name het opzetten van perskaden, zo goed mogelijk gebeurd om de zand/waterstroom te reguleren. De laatste klap wordt uitgevoerd met droog materieel waartoe van te voren depots zijn aangelegd.

9.10 Risikoanalyse

Voor de risicoanalyse van de sluiting is als ongewenste topgebeurtenis het optreden van enkele weken vertraging beschouwd, waarbij uitvoeringsproblemen, konstruktieve aspecten en externe oorzaken worden betrokken. Voor de ongewenste topgebeurtenis is een hoofd-foutenboom opgesteld die is samengesteld uit deel-foutenbomen voor:

- het overschrijden van een grenstoestand
- het kalamiteus falen van materieel
- het falen van de uitvoering ten opzichte van de planning
- beïnvloeding door externe factoren
- het falen van de stormvloedkering

Voor het overschrijden van een grenstoestand zijn de grenstoestanden geïnventariseerd en zijn vervolgens voor de hoofdonderdelen van de konstruktie (sluitkade, perskade in laatste fase, oever werkeiland en Tholense oever) aparte foutenbomen opgesteld. De verschillende gebeurtenissen en omstandigheden uit de foutenbomen zijn gekwantificeerd. Enkele konklusies uit de risicoanalyse zijn:

- de afwijkingen van de gekozen taluds zijn in sterke mate bepalend voor de sluitingsduur en de totale zandhoeveelheid.
- door het gebruik van de stormvloedkering is de kans dat de sluiting mislukt klein, terwijl de spreiding in sluitingsduur en totale zandhoeveelheid aanzienlijk wordt beperkt.
- de verwachte sluitingsduur bedraagt 220 uren (ruim 9 dagen) met een standaardafwijking van 40 uren (1,7 dagen). De kans dat een uitloop van meer dan 2 weken optreedt bedraagt circa 0,5%.

Naar verwachting is voor de zandsluiting 2.200.000 m³ zand nodig; hierbij moet met een standaardafwijking van 400.000 m³ rekening worden gehouden.

9.11 Milieu, visserij, waterhuishouding en scheepvaart

De effecten van de zandsluiting op de omgeving zijn voor de aspecten milieu, visserij, scheepvaart en waterhuishouding nagegaan. Vooral het manipuleren van de stormvloedkering, waarbij het verloop van de waterstanden en stroomsnelheden wordt gewijzigd, speelt een grote rol in deze effecten. Uit de analyse blijkt dat geen grote bezwaren verbonden zijn aan de manipulatie van de stormvloedkering. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door de relatief korte duur ervan.

In de periode na de sluiting zal een scheepvaartbegeleiding moeten worden ingesteld bij de noordelijke ingang van de Schelde-Rijnverbinding in verband met de daar optreden dwarsstroming.

9.12 Overige aspecten

Begeleiding van de uitvoering

De uitvoering moet begeleid worden door het verrichten van metingen, die voor een deel onmiddellijk worden verwerkt en gebruikt voor de sluitingsoperatie.

Regelmatige metingen en waarnemingen zijn ook nodig om de voortgang van het werk vast te stellen en de omgeving te bewaken. Verder zijn metingen nodig om het projekt achteraf te kunnen evalueren, hetgeen nodig is om de opgedane kennis en ervaring beschikbaar te maken voor de zandsluiting Krammer. Aan de normale uitvoeringsorganisatie moet een begeleidingsgroep worden toegevoegd, die zich vooral richt op het gebruik van de stormvloedkering en zonodig op het aanpassen van het ontwerp. Deze groep moet in een vroegtijdig stadium worden gevormd.

Verrekeningswijze en aanbestedingsvorm

Het zandsluitingsbestek kan zonder bezwaar openbaar worden aanbesteed. In verband met het gebruik van de stormvloedkering en de daarmee samenhangende zandverliezen is een aangepaste verrekeningswijze noodzakelijk.

Optimalisatiemogelijkheden

Er bestaat een aantal mogelijkheden om besparingen te bereiken ten opzichte van het voorliggende ontwerp. Hierbij wordt gedacht aan de uitvoeringswijze en aan de toepassing van meer geavanceerde berekeningsmethoden voor zandsluitingen.

LITERATUUROPGAVE

- Lit.1 Interim nota "Sluitingsmiddelen Philipsdam en Oesterdam bij sluitingen bij het volle getij", werkgroep Sluitingsmiddelen juni 1978.
- Lit.2 Nota nr. 4 "Faserings- en sluitingsmethode Compartimenteringsdammen", 14-7-1982.
- Lit.3 Overeenkomst DED 1938 "Tussen Rijkswaterstaat Deltadienst en Provinciale Waterstaat Zeeland, voor het maken van een weg op de Oesterdam", 27-4-1981.
- Lit.4 Ontwerpnota DD.WWO.83-20.010 "Steensluiting Tholensche Gat", 30 december 1983.
- Lit.5 WL-rapport M1263 deel IV "Rekenmodel voor de verwachting van duinafslag tijdens stormvloed", 1982.
- Lit.6 Konzeptnota DD.WWO 83-20.014 "Rapportage en evaluatie ontwerp damvak Zuid van de Oesterdam".
- Lit.7 Konzeptnota "Overwegingen bij de vaststelling van de ontwerppeilen van de compartimenteringsdammen in de Oosterschelde", maart 1982.
- Lit.8 Nota "Vormgevingsalternatieven Oesterdam", projectgroep OEVIL, oktober 1979.
- Lit.9 Modelonderzoek M1795 "Grootschalig onderzoek ten behoeve van de Oesterdam", juli 1982, Waterloopkundig Laboratorium de Voorst.
- Lit.10 RGD-rapport nr. 10210 "Geologie van het gebied in de omgeving van de Oesterdam".
- Lit.11 RGD-rapport nr. 10267 "De geologie van twee kabelbaantracé's voor de Oesterdam".
- Lit.12 RGD-rapport 10210E "Geologisch onderzoek ten behoeve van de Oesterdam-noordelijk talud werkeiland".
- Lit.13 LGM-rapport-CO-413690 "Dijkversterkingen Tholen".
- Lit.14 "Tussen afsluitdammen en Deltadijken, II, Noord-Zeeland (Schouwen-Duiveland, Tholen en St. Philipsdland, M.H. Wilderom
- Lit.15 Konzeptbesprekingsverslag over zettingsvloeiingsproblematiek Tholensche Gat, LGM, november 1983.
- Lit.16 22 RABO-N-82009 "2e stand van zaken Oosterscheldekering, rand bodembescherming", 1982.
- Lit.17 Ontwerpnota DD.WWO 83.20.012 "Zandsluiting Kramer", 30 december 1983.

- Lit.18 WL-rapport M1437-29 "Vervolgonderzoek zandsluiting Krammer en Tholensche Gat", augustus 1980.
- Lit.19 Nota DDWT 80.014 "Golfrandvoorwaarden voor de Oesterdam", mei 1980.
- Lit.20 Konzeptnotitie "Golfrandvoorwaarden voor het Tholensche Gat uitgesplitst over de maanden van het jaar".
- Lit.21 Notitie DDWT 83.414 "Nauwkeurigheid golfrandvoorwaarden voor Oesterdam en Philipsdam", juli 1983.
- Lit.22 CCO-nota DD.WWO 80-20.004 "Zandwinning compartimenteringswerken", 16 maart 1980
- Lit.23 Nota "Ervaring zandsluitingen", januari 1982.
- Lit.24 SIBAS-nota "Beleidsanalyse uitstel compartimenteringswerken Oosterschelde", SIBAS-Kader Het Nederlands Instituut en het Waterloopkundig Laboratorium, februari 1983.
- Lit.25 WL-rapport R1889 "Dwarsstroomhinder bij de uitmonding van de Schelde-Rijnverbinding in het Volkerak", juli 1983.

SYMBOLENLIJST

A	doorstroomprofiel	(m ²)
A	ijkkonstante (zandtransportber.)	(-)
c	cohesie	(kN/m ²)
C	samendrukkingskonstante	(-)
D ₅₀	gemiddelde korreldiameter	(µm)
f	stabiliteitsfactor	(-)
f _b	verliescoëfficiënt voor de bodem	(-)
f _r	reduktiefactor stortverlies	(-)
f _s	verliescoëfficiënt voor het stort	(-)
h	laagdikte	(m)
H _s	signifikante golfhoogte	(m)
i	aantal variabelen	(-)
m	afvoercoëfficiënt	(-)
n	Manningwaarde	(m ^{-1/3} /s)
p	vertikale korrelspanning	(kN/m ²)
P	kans	(%)
q _c	conusweerstand	(MN/m ²)
R	sterkte	
S	belasting	
T _s	bij H _s behorende golfperiode	(s)
v	stroomsnelheid	(m/s)
x _n	variabele	(-)
z	samendrukking	(m)
α	hellingshoek van een talud	(graden)
β	ijkkonstante (zandtransportber.)	(-)
γ	soortelijk gewicht	(kN/m ³)
Δ	relatieve dichtheid	(-)
K	konstante van Von Karman	(-)
μ	verwachtingswaarde	(-)
σ	standaardafwijking	(-)
φ	hoek van inwendige wrijving	(graden)
DD	"of" poort	(-)
DD	"en" poort	(-)
Δ	verwijzing	(-)

OVERZICHT VAN DE BIJLAGEN

1. Tekening 83-10.408 Situatie sluitkade
2. Tekening 83-10.410 Eindsituatie damvak
3. Tekening 83-10.407 Dwarsprofielen sluitkade en eindsituatie
4. Tekening 83-10.458 Lengteprofiel in as hoofdrijbaan

FOTOVERANTWOORDING

Bart Hofmeester: omslag, na blz. 31

Rijkswaterstaat Reprografie: na blz. 42, 53

