

VEILIG GETIJ

Beheer en gebruik Stormvloedkering
Oosterschelde, ervaring en bijstelling

onderbouwende nota evaluatie Oosterschelde

Nota nr AX 91.090
ISBN 90-73286-07-2

november 1991

Rijkswaterstaat
directie Zeeland
postbus 5014
4330 KA Middelburg

tel.01180-86000

Inhoudsopgave

Samenvatting.	7
1. Inleiding.	11
1.1 Doel van de evaluatie.	11
1.2 Uitgangspunten	11
1.3 Relevante resultaten BARCON studie	11
1.4 Aanpak van de evaluatie	12
2. Begrippen in verband met gebruik kering en veiligheidsfilosofie.	13
2.1 Het veiligheids criterium.	13
2.2 Stormvloedkering.	13
2.3 Waterkeringen.	14
3. Het gebruik van de kering in de evaluatieperiode.	21
3.1 Gebruik van de kering tijdens stormvloeden.	21
3.2 Ervaringen operationeel gebruik tijdens stormomstandigheden.	26
3.3 Gebruik van de kering in niet stormomstandigheden.	26
4. Veiligheid bepalende factoren.	29
4.1 Natuurlijke (waterstands) randvoorwaarden op de Noordzee.	32
4.2 Eigenschappen stormvloedkering, getijvoortplanting bekken en windeffect.	34
4.3 Beheersstrategie stormvloedkering.	38
4.4 Standzekerheid waterkeringen.	40
4.5 Toekomstige ontwikkelingen.	41
5. Veiligheidsanalyse	43
5.1 Stormvloeden.	43
5.2 Sluitfrequentie kering.	44
5.3 Veiligheid waterkeringen	44
5.4 Binnenpeilstrategie in relatie tot de veiligheid.	50
6. Effecten keringgebruik voor de functies van de Oosterschelde.	51
6.1 Effecten van sluitingen op milieu en visserij	51
6.1.1 Inleiding	51
6.1.2 Voorspelde en waargenomen effecten per relevante component.	52
6.1.3 Samenvatting en conclusies	54
6.2 Consequenties van het beheer voor andere aspecten en functies	55
6.2.1 Inleiding	55
6.2.2 Waterkeringen	55
6.2.3 Scheepvaart	55
6.2.4 Afwatering	56
6.2.5 Buitendijkse objecten	56
7. Aanbevelingen voor het beheer.	59
7.1 Sluitpeilen.	59
7.2 Binnenpeilen.	59
7.3 Overige aanbevelingen.	60
8. Literatuurlijst	61

COLOFON

Deze nota is samengesteld door een redactiegroep die bestond uit :
ing. S. Vereeke (RWS/dir. Zeeland),
ir. H.A.Q Verhees (RWS/dir. Zeeland),
ir. J. Vroon (RWS/dir. Zeeland) en
drs. C.J. van Westen (RWS/DGW)

Aan de nota is voorts bijgedragen door :
W. Houmes, R. Postma
(beiden: RWS/dir. Zeeland)

Eindredactie : ing. S. Vereeke (RWS/dir. Zeeland)
en ir. J. Vroon (RWS/dir. Zeeland).

Ontwerp omslag: Leo Smalheer, Pitman b.v.
Grafisch verzorging en drukwerk: Pitman b.v.
Lay-out: Bram de Buck, Rijkswaterstaat Directie
Zeeland

Verantwoording

De rapportage van het project Evaluatie Oosterschelde bestaat uit de evaluatienota 'de evaluatie van de Oosterschelde na 5 jaar stormvloedkering' (AX91.089) en twee onderbouwende nota's: 'Beheer stormvloedkering Oosterschelde: ervaring en bijstelling' en 'De effecten van de waterbouwkundige werken op het getijdemilieu van de Oosterschelde' (AX91.091; GWW591.088).

Deze nota is gebaseerd op onderzoek dat is uitgevoerd in de periode 1987-1991. Het onderzoek bestond enerzijds uit veldwaarnemingen anderzijds uit nader theoretisch onderzoek betreffende de door de projectgroep BARCON ten tijde de aanleg van de kering geformuleerde uitgangspunten. Bij de interpretatie van de gegevens is gebruik gemaakt van de nieuwste wetenschappelijke inzichten. Tevens is gebruik gemaakt van nieuwe rekentechnieken.

Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van directie Zeeland van Rijkswaterstaat.

De studie is begeleid door de projectgroep EOS-Veiligheid met als deelnemers :

Ir. H.A.Q. Verhees (RWS/dir. Zeeland, projectleider), ing. A.P.A. Abrahamse (Provinciale Waterstaat, tot maart 1991), ing. M.J. Gijlam (Zeeuwse Waterschapsbond, tot okt. 1990), P. Hengst (Provinciale Waterstaat), W. Houmes (RWS/dir. Zeeland), ing. P. van der Maas (Zeeuwse Waterschapsbond), G. Mol (RWS/DGW), ir. D.C. van Ooijen (RWS/DWW), ir. H. Ruijter (RWS/dir. Zeeland, tot 1989) en ir. J.B.A. Weijers (RWS/DWW).

Het project Evaluatie Oosterschelde stond onder supervisie van de projectgroep EOS die bestond uit :

Drs. W. Iedema (projectleider), ir. L. Boom (projectleider tot 1989), ing. K. Boone, ir. L. Bijlsma (projectleider tot 1990), ir. T. Pieters, ir. P. Schakel, drs. A.C. Smaal, ir. H.A.Q. Verhees, W. de Vos, ir. J. Vroon en drs. C.J. van Westen.

Samenvatting.

Stormvloedkering 6 maal ingezet tegen hoge waterstanden.

Vanaf 1 oktober 1986 tot 1 juni 1991 is de kering 18 maal bemand geweest als gevolg van een verwacht hoog waterpeil op de Noordzee. Dit heeft geleid tot 6 stormsluitingen, waarbij in totaal 11 maal de schuiven zijn neergelaten, zie onderstaande tabel.

Hierbij is de sluiting op 20 oktober 1986 meegeteld, hoewel de schuiven al dicht waren ten behoeve van de bouw van de Oesterdam. Voor de goede orde: tijdens een stormperiode kunnen meerdere hoogwatertoppen voorkomen, zodat gedurende één stormperiode de schuiven meerdere hoogwaters gesloten kunnen worden.

hoogwaterperioden werd gesloten, waarvan de eerste drie maal aaneensluitend (3-tops stormvloed).

Tijdens deze sluitingen is, zoals vastgelegd in de procedures, de 1-2-1 wisselstrategie toegepast. Hierbij wordt op het bekken bij de eerste hoogwatertop een peil van NAP + 1.00 m nagestreefd. Voor een tweede en derde hoogwatertop gelden resp. NAP + 2.00 m. en NAP + 1.00 m.

Voor eventueel volgende toppen wordt de reeks van afwisselend NAP + 2.00 m. en NAP + 1.00 m. voortgezet. Tijdens de stormsluiting hebben de gerealiseerde binnenpeilen goed aan de 1-2-1 wisselstrategie voldaan.

nr.	Datum storm vloed	Verwachte waterstand Noordzezijde in m tov NAP	Hoogste waterstand Noordzezijde in m tov NAP	Hoogste waterstand te Stavenisse in m tov NAP	Maximale stagnantie duur
1	861020	*	+ 2,94	- 0,20	19 uur
2	861218	+ 2,90 **	+ 2,73	+ 1,03	6 uur
	861219	+ 2,85 **	+ 2,71	+ 0,97	5,2 uur
3	890214	+ 3,00	+ 3,17	+ 1,70	5,5 uur
4	900227	+ 3,00	+ 3,17	+ 1,02	7,3 uur
	900227	+ 3,29	+ 3,69	+ 2,06	4,5 uur
	900228	+ 3,14	+ 3,25	+ 1,06	7,5 uur
	900301	+ 3,20	+ 3,25	+ 1,07	7,3 uur
5	900921	+ 3,05	+ 2,92	+ 1,02	6,5 uur
6	901212	+ 3,05	+ 2,80	+ 0,93	9,5 uur
	901213	+ 3,06	+ 2,65	+ 1,98	4,5 uur
<p>* Kering was reeds gesloten t.b.v. laatste fase sluiting Tholense Gat ** Maatgevende peilverwachting en Noodsluitpeil: NAP + 2,75 m. Vanaf 1-10-'87 zijn beide peilen opgetrokken naar: NAP + 3,00 m. Binnenpeilstrategie: 1-2-1 wisselstrategie</p>					

Op 14 februari 1989 en 21 september 1990 was er sprake van een ééntopsstormvloed, op 18 en 19 december 1986 en 12 en 13 december 1990 trad een 2-topper op.

De meest markante stormvloed deed zich voor eind februari 1990. Tijdens deze stormsluiting, waarbij de wind uit west-noordwestelijke richting kwam, trad langs de Nederlandse kust een sterke en langdurige verhoging van de waterstand op. Dit had tot gevolg dat de kering gedurende vier

Na de derde top waarvoor gesloten werd is de kering gedurende één hoogwaterperiode opengebleven (buitenwaterstand NAP + 2,75 m.), waarna voor de volgende hoogwatertop opnieuw is gesloten met als streefpeil NAP + 1,00m. Behalve voor stormsluitingen is de kering tot en met april 1987 regelmatig ingezet ten behoeve van de afronding van de compartimenteringsdammen. Na april 1987 is de kering niet meer ingezet in niet-stormomstandigheden.

Grotere kans op meertopsstormen.

Gedurende een stormperiode kan het nodig zijn dat de schuiven in de kering meerdere malen gesloten moeten worden. Er is dan sprake van een zogenaamde meertopsstorm.

Op basis van nieuwe berekeningen wordt verwacht dat deze meertopsstormen aanzienlijk vaker zullen optreden. De verwachting is niet dat het aantal stormen op zich zal toenemen.

Dit betekent dat de verwachting ten aanzien van het aantal malen dat de kering dient te worden ingezet tegen stormen ook niet verandert. Wel is in de nieuwste prognoses de kans dat gedurende één stormperiode de schuiven meerdere malen dicht gaan aanzienlijk toegenomen.

Operationeel gebruik kering : ervaringen met het huidige beheer.

Ten behoeve van de beslissing om tijdens een storm de kering al of niet te sluiten worden voorspellingen gemaakt van de verwachte waterstand. De kering wordt gesloten indien de verwachte waterstand uitkomt boven de Maatgevende Peilverwachting.

Met deze wijze van sluiten kan het gewenste binnenpeil worden gerealiseerd. De noodsluiter fungeert als vangnet voor het geval zich onverhoopt omstandigheden voordoen, waarin de normale sluitprocedure op basis van voorspellingen niet tot een (noodzakelijke) sluiting leidt. Alle sluitingen in de evaluatieperiode zijn uitgevoerd op basis van voorspelde waterstanden. Het noodsluitsysteem is niet in actie geweest.

Verwachtingen ten aanzien van de maximale waterstand die tijdens een storm zal optreden hebben een bepaalde onzekerheidsmarge naar boven en naar beneden. Uit voorzorg wordt afgegaan op de bovenkant van de marge. De keerzijde van deze benadering is dat er in theorie een grotere kans is op sluitingen waarbij het werkelijk opgetreden peil beneden NAP + 3,00 m. blijft.

Aangezien er enerzijds naar wordt gestreefd de met het gebruik van de kering samenhangende effecten (zie hoofdstuk 6) te beperken en anderzijds een beheersbare sluiting gewent is, dienen voorspellingen rond de Maatgevende Peilverwachting met zorg te worden gehanteerd. Ten aanzien van het binnenpeil is de 1-2-1 wisselstrategie gehanteerd. Slechts in één geval, als gevolg van snel wisselende meteorologische omstandigheden, bleek het niet mogelijk het gewenste binnenpeil te realiseren. De conclusie is dan ook dat de 1-2-1 wisselstrategie goed uitvoerbaar is gebleken.

Geen verhoging van het sluitpeil naar NAP + 3,25 m.

Uit berekeningen uitgevoerd tijdens de evaluatie blijkt dat combinaties van Maatgevende Peilverwachting en Noodsluitpeil hoger dan NAP + 3,00 m niet voldoen aan het veiligheids-criterium. De reden dat hogere sluitpeilen dan NAP +3,00 m. niet mogelijk zijn is tweeledig. Enerzijds is tijdens de evaluatie gebleken dat de getijdoordringing bij geopende kering, met name als gevolg van een grotere doorstroomopening, groter is dan verwacht. Daarnaast is de verwachte frequentie van voorkomen van meertopsstormen aanzienlijk toegenomen. De bijstelling van de prognoses heeft als consequentie dat afgezien moet worden van de destijds voorgenomen, en in het besluit van de Minister vastgelegde, verhoging van het sluitpeil naar NAP +3,25 m.

Effecten keringgebruik.

Het sluiten van de Oosterscheldekering kan effecten hebben voor milieu en visserij, waterkeringen, scheepvaart, afwatering en buitendijkse objecten. Hierbij moet wel worden bedacht dat ook zonder aanwezigheid van de kering stormvloed schade kunnen veroorzaken. Het is dan ook lastig aan te geven welke schade of welk deel van de schade na een stormsluiting kan worden toeschreven aan het gebruik van de stormvloedkering.

Een belangrijke oorzaak voor het optreden van schade bij gesloten kering is het vaste peil dat optreedt. In het verleden zijn dan ook verschillende binnenpeilstrategieën in beschouwing genomen. Voor de evaluatieperiode is gekozen voor de 1-2-1 wisselstrategie.

De waargenomen schade tijdens de evaluatieperiode aan glooiingen, milieu of visserijpercelen is niet zodanig, ook niet bij nog doorgelaten stormen, dat de noodzaak aanwezig is het beheer hiervoor bij te stellen. Alleen tijdens de sluiting in oktober '86, waarbij in verband met de sluiting van het Tholense Gat een zeer laag binnenpeil is gerealiseerd, is aanzienlijke schade aan de glooiingen ontstaan.

Ten aanzien van platen en slikken is de evaluatieperiode te kort om eenduidig te kunnen vaststellen of door de stagnante waterstanden op het bekken bij gesloten kering de achteruitgang is versneld. Plaatselijk zijn hiervoor wel indicaties. Verder is de verdwijning van zeegrasvelden waargenomen. Mogelijk houdt dit verband met de sluiting in februari 1990. Ten aanzien van de schorren is gebleken dat de erosiegevoeligheid, als gevolg van de extra getijreductie tijdens de bouw van de compartimentingsdammen, is toegenomen. De erosie van schorkliffen kan mogelijk worden beperkt door

te voorkomen dat er tijdens sluitingen op het bekken peilen van NAP + 2,00 m. of hoger optreden. Aanbevolen wordt de ontwikkeling van platen, slikken en schorren te blijven volgen aan de hand van een monitoringsprogramma.

Het zoveel mogelijk beperken van het aantal sluitingen blijft het meest effectieve middel om de effecten te minimaliseren. Tevens wordt hiermee de overspoelingsfrequentie van de hoge schorren zo min mogelijk gereduceerd. Voor de scheepvaart wijkt de situatie nauwelijks af van die van voor het gereedkomen van de werken. Ook het effect op de capaciteit van de gemalen rond de Oosterschelde is, zoals verwacht, verwaarloosbaar.

Door de aanleg van de kering is de frequentie waarmee wateroverlast optreedt voor buitendijkse objecten aanzienlijk afgenomen.

Alternatieve binnenpeilstrategieën.

Andere opties, naast de gekozen 1-2-1 binnenpeilstrategie, zijn de 0-1-2 en 2-1-2 wisselstrategieën en een binnenpeilstrategie met een vast peil op NAP + 1,00 m.

Berekeningen laten zien dat vanuit veiligheids oogpunt de 2-1-2 wisselstrategie niet mogelijk is. Dit wordt veroorzaakt door hogere binnenpeilen en ongunstiger peil-duurcombinaties, welke resulteren in een te hoge kans op bezwijken van de glooiingen.

Uit de geregistreerde gegevens van de stormsluiting van februari 1990 blijkt dat als gevolg van de verhoogde waterstand een binnenpeil lager dan NAP +1,00 m. niet mogelijk was geweest. Hieruit valt af te leiden dat het realiseren van de 0-1-2 wisselstrategie in de praktijk vaak lastig zal zijn.

In eerdere studies is er van uitgegaan dat bij meertopsstormen een wisselend binnenpeil de minste schade oplevert voor milieu en visserij. De strategie met een vast binnenpeil op NAP + 1,00 m. zou betekenen dat de belasting voor het milieu niet over de diverse zones wordt gespreid. Toch kan vooralsnog dit alternatief niet als ongunstiger dan de 1-2-1 strategie worden beoordeeld. Er zijn namelijk aanwijzingen dat een binnenpeil van NAP + 2,00 m. de erosie van schorkliffen bevordert. Ook is er mogelijk een verband tussen het hoge binnenpeil en het verdwijnen van zeegrasvelden.

Konklusies

Sluitpeilen.

Uit de evaluatie is gebleken dat sluitpeilen hoger dan NAP +3,00 m. niet voldoen aan het veiligheids criterium.

Verder is het meest effectieve middel om negatieve milieueffecten te voorkomen het minimaliseren van de sluitfrequentie, dat wil zeggen zo hoog mogelijke sluitpeilen. Om beide doelstellingen optimaal te dienen ligt de keus voor de hand:

Handhaaf het huidige beheer met de Maatgevende Peil Verwachting en het Noodsluitpeil beide op NAP +3,00 m.

Binnenpeilen

Gedurende de evaluatieperiode is gebleken dat de 1-2-1 wisselstrategie in de praktijk goed te realiseren is. Door toepassing worden de effecten voor milieu en visserij over de diverse zones gespreid. De alternatieve wisselstrategieën bezitten nadelen: de 2-1-2 wisselstrategie voldoet niet aan de veiligheidseis, voor de 0-1-2 strategie is bevestigd dat deze moeilijk te realiseren kan zijn.

De strategie met een vast binnenpeil op NAP + 1,00 m. kan vooralsnog niet als ongunstiger worden beoordeeld.

Aanbevolen wordt de huidige 1-2-1 wisselstrategie vooralsnog te blijven hanteren. Zodra er meer gegevens zijn lijkt het zinvol de 1-2-1 strategie te vergelijken met de strategie met een vast binnenpeil van NAP + 1,0 m.

1. Inleiding.

1.1 Doel van de evaluatie.

Op 4 oktober 1986 werd de Oosterscheldekering officieel in gebruik genomen. Vanaf dit moment was de veiligheid tegen overstromingen voor het achter de kering gelegen gebied gewaarborgd.

De keuze voor een stormvloedkering waarvan de schuiven tijdens normale weersomstandigheden altijd geopend zijn, is ingegeven door de wens het getijmilieu op de Oosterschelde zoveel mogelijk in stand te houden. Slechts bij dreigende stormvloed worden de schuiven neergelaten teneinde de waterstanden op het Oosterscheldebekken te beperken.

De blijvende effecten op het Oosterscheldebekken als gevolg van de bouw van de Oosterscheldewerken en het beheer van de stormvloedkering konden indertijd slechts op basis van prognoses worden bepaald. Bij de studies naar het beheer van de stormvloedkering bleken op een aantal punten nog onzekerheden te blijven bestaan. Deze hadden betrekking op de milieueffecten en op het waterstandsverloop op de Oosterschelde.

Voor deze onzekerheden zijn aannamen gedaan teneinde aan de hand van modelberekeningen beheerstrategieën te kunnen ontwikkelen.

Teneinde deze aannamen in de praktijk te kunnen toetsen is door de toenmalige minister een evaluatie van het beheer over de eerste vijf jaar toegezegd. Aan de hand van de ervaringen met het gebruik, de beschikbaar gekomen hydraulische gegevens van kering en bekken en de toegenomen proceskennis zouden zonnodig voorstellen gegeven worden voor het bijstellen van het beheer.

Deze evaluatie is in onderhavige nota weergegeven.

De evaluatie van het beheer kan niet los gezien worden van de evaluatie van de effecten van de aanleg en de aanwezigheid van de stormvloedkering en de compartimenteringswerken op het Oosterscheldemilieu. Daarvoor zijn deze zaken te nauw verweven. Daarom wordt in een aparte nota aandacht besteed aan de effecten van de waterbouwkundige werken op het getijdemilieu van de Oosterschelde.

1.2 Uitgangspunten

In deze rapportage wordt ingegaan op de evaluatie van het totale veiligheidssysteem van het Oosterscheldebekken. Dit veiligheidssysteem bestaat uit een bedienbare kering, het achtergelegen bekken en de waterkeringen rond het bekken.

Ten tijde van de aanleg van de stormvloedkering is in het kader van het project BARCON¹ dit veiligheidssysteem vervat in een model, dat de samenhang geeft tussen de factoren welke de veiligheid van het betrokken gebied bepalen. Berekeningen uitgevoerd met dit veiligheidsmodel leverden alternatieven voor het te kiezen peil waarbij de stormvloedkering gesloten dient te worden.

Het sluiten van de kering heeft effecten voor de functies van de Oosterschelde: milieu en visserij, waterkeringen, scheepvaart, afwatering en buitendijkse objecten. Om deze reden is binnen het BARCON project hier ook aandacht aan besteed.

De BARCON studie is aangeboden aan de minister, die na advies te hebben ingewonnen bij de Raad van de Waterstaat, een keuze uit de alternatieven heeft gemaakt ten aanzien van het huidige beheer van de stormvloedkering: bij welk peil wordt de kering gesloten en welke waterstand op de Oosterschelde dient bij gesloten kering te worden gerealiseerd.

1.3 Relevante resultaten BARCON studie

Gezien het feit dat de BARCON studie de basis vormt voor het huidige beheer zal in de evaluatie veelvuldig vergeleken worden met de uitgangspunten en prognoses zoals destijds vastgelegd in de BARCON nota's.

In het kort worden daarom de meest relevante resultaten van de BARCON studie weergegeven.

- De kering kan worden gesloten op basis van voorspelde waterstanden (Maatgevende Peilverwachting) en actueel gemeten waterstanden (Noodsluitpeil). De voorkeur gaat hierbij uit naar het sluiten op basis van voorspellingen omdat het daarmee mogelijk is gewenste binnenpeilen op het bekken te realiseren.

1) BARCON staat voor BARRIER CONTROL, een projectorganisatie opgericht binnen de Rijkswaterstaat na het besluit in 1976 om in de mond van de Oosterschelde een stormvloedkering te bouwen. Doel van het project was studie te verrichten naar het beheer van de stormvloedkering. Het resultaat van de studie is vastgelegd in onderzoeksrapporten (lit. 1,2).

- Het sluiten van de kering alleen via actueel gemeten waterstanden (noodsluitautomaat) voldoet, binnen de vastgestelde keuzevrijheid van peilen, niet aan de veiligheidsnorm.
- de keuzevrijheid t.a.v. Maatgevende Peil Verwachting en Noodsluitpeil bezit een boven- en een ondergrens. De bovengrens ligt volgens BARCON op NAP+3,50m, daarboven wordt niet meer aan de norm van de Deltacommissie voldaan. De ondergrens is gebaseerd op de wens om vanuit milieu en visserij oogpunt het aantal sluitingen zo beperkt mogelijk te houden. Dit heeft geleid tot een ondergrens van NAP +2,75m.

Verder wordt door BARCON gesteld dat, in verband met de onnauwkeurigheid van voorspellingen, de Maatgevende Peil Verwachting 0,25 m lager gekozen dient te worden dan het Noodsluitpeil. Hierbij resteren de volgende Maatgevende Peil Verwachting / Noodsluitpeil combinaties: 3,25/3,50 ; 3,00/3,25 en 2,75/3,00.

- Bij het sluiten op basis van voorspellingen is het veelal mogelijk een gewenst binnenpeil op de Oosterschelde in te stellen. Bij stormvloed die langer dan één getijcyclus duren is het mogelijk één vast binnenpeil in te stellen of, door tussentijds openen van de kering, om het binnenpeil te variëren (wisselstrategie). Uit de BARCON analyse is gebleken dat het sluiten op een vast binnenpeil van NAP +1,00m en de wisselstrategieën 0-1-2, 1-2-1 en 2-1-2 veilig zijn.

Het sluiten op een vast binnenpeil wordt hierbij afgeraden.

Het sluiten op een vast binnenpeil van NAP +2,00m en de wisselstrategie 1-2-3 worden als onveilig aangemerkt.

1.4 Aanpak van de evaluatie

Bij de evaluatie is wederom gebruik gemaakt van een model. Dit is onvermijdelijk, omdat het, gezien de relatief korte duur van de evaluatieperiode, niet mogelijk is om op basis van waarnemingen te evalueren of het veiligheidssysteem aan de eisen voldoet. Bij veiligheidsbeschouwingen gaat het namelijk om gebeurtenissen met een zeer kleine kans van optreden. Omdat er geen aanleiding is het door BARCON ontwikkelde veiligheidsmodel ter discussie te stellen, is bij de evaluatie dit model als uitgangspunt genomen. Op basis van waarnemingen zijn vervolgens de vroegere

aannamen bijgesteld. Door metingen zijn bijvoorbeeld de hydraulische eigenschappen van de kering en het bekken beter bekend. Verder is de berekening van de kans op hoge waterstanden op de Noordzee aan de buitenzijde van de kering (stormvloed) verbeterd. Hierdoor is het aangepaste model in staat een zeer groot aantal stormen door te rekenen, waarbij tevens de kans van voorkomen van de stormen bekend is. Dit heeft als voordeel dat gedetailleerd inzicht kan worden verkregen in de kans van optreden van effecten van een bepaald beheer (bijvoorbeeld de kans op (on)bemande noodsluitingen bij een bepaalde peilkeuze). Deze aanpassing is mede mogelijk door de toename van de reken capaciteit van computers.

Het verbeterde model wordt het RIEMANN/SIMPLIC model genoemd, waarbij RIEMANN verwijst naar een rekentechniek welke wordt toegepast binnen de probabilistische ontwerp methode. Deze rekentechniek vormt het (nieuwe) hart van het model. SIMPLIC verwijst naar een hydraulisch model waarmee de waterbeweging op het bekken wordt gesimuleerd.

Met het RIEMANN/SIMPLIC model is het beheer gevarieerd door varianten door te rekenen met verschillende Maatgevende Peil Verwachting en Noodsluitpeil. Na toetsing aan het, door de Deltacommissie opgestelde veiligheids criterium, blijven vervolgens alleen de veilige varianten over. De evaluatie komt dus voor een belangrijk deel neer op een herhaling van de BARCON berekeningen.

De keuze uit de veilige varianten is mede afhankelijk van de effecten welke optreden ten gevolge van het sluiten van de kering. In de evaluatie is hier dan ook uitgebreid aandacht aan besteed. Bij elke sluiting zijn op een groot aantal plaatsen in het veld waarnemingen verricht. Aan de hand van de resultaten van het RIEMANN/SIMPLIC model en de waarnemingen zijn de BARCON uitkomsten bijgesteld.

2. Begrippen in verband met gebruik kering en veiligheidsfilosofie.

2.1 Het veiligheids criterium.

Door de Deltacommissie is een criterium geformuleerd waaraan, in het kader van de Deltawet, versterkte of nieuw gerealiseerde waterkeringen moeten voldoen. Dit criterium luidt :

De waterkeringen in Zuid-West Nederland dienen ontworpen te worden op een ontwerp-waterstand met een overschrijdingsfrequentie van $2,5 \cdot 10^{-4}$ (1/4000) per jaar.

Aanvullend op dit criterium is door de Deltacommissie gesteld dat bij een stormvloed waarbij de ontwerpwaterstand wordt bereikt de waterkeringen niet onmiddellijk mogen bezwijken. Er dient dus een zekere reserveveiligheid aanwezig te zijn. Om deze benodigde reserveveiligheid expliciet te maken is in het BARCON project aansluiting gezocht bij elders gerealiseerde Deltaveiligheid. Op grond van gegevens uit een leidraad van de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (lit. 3 en 4) is geconcludeerd dat de feitelijke kans op bezwijken van de constructie een factor 10 lager dient te liggen dan de overschrijdingsfrequentie van het ontwerppeil. Omdat er op dit moment nog steeds geen betere schattingen voor de reststerkte van een dijk voorhanden zijn, wordt in deze evaluatie het veiligheids criterium zoals destijds gehanteerd in het BARCON project aangehouden.

Verder is aangenomen dat bezwijken van de waterkeringen direct tot inundatie leidt. Hiermee luidt het gehanteerde uitgangspunt :

De infrastructuur rond het bekken, bestaande uit stormvloedkering plus dijken, en het beheer daarvan dienen zodanig te zijn dat de kans op inundatie van de gebieden rond het bekken, per gebied, kleiner is dan $2,5 \cdot 10^{-5}$ (1 x per 40.0000 jaar)

2.2 Stormvloedkering.

Ter verduidelijking van een aantal begrippen en termen wordt een beknopt overzicht gegeven van de gebruiksmogelijkheden van de kering. In geval van stormvloeden zal de kering gesloten worden. Het sluiten van de kering kan gebeuren op twee manieren nl. op basis van voorspelde waterstanden of op actueel gemeten waterstanden. De voorkeur gaat hierbij uit naar de eerste methode.

Sluiten op basis van voorspelde waterstanden.

In de normale situatie wordt bij een voorspelde overschrijding van een vastgesteld peil, het **waarschuwingsspell**, de bemanning van de kering gewaarschuwd. Zij bepalen vervolgens aan de hand van voorspellingen van waterstanden, wind en golven en met behulp van hydraulische modellen of en zo ja wanneer de kering gesloten dient te worden.

De kering wordt in dit geval gesloten wanneer de voorspelde waterstand aan de buitenzijde van de kering hoger is dan een vastgesteld peil, **maatgevende peilverwachting** genaamd. Het moment waarop de kering wordt gesloten is afhankelijk van de waterstand die men gedurende de sluiting op het Oosterscheldebekken wil realiseren. Dit binnenpeil wordt **streefpeil** genoemd.

Om te voorkomen dat bij het optreden van meerdere hoogwaters achter elkaar boven de maatgevende peilverwachting gedurende lange tijd één zelfde peil op het Oosterscheldebekken wordt gerealiseerd is het mogelijk een **wisselstrategie** toe te passen. Hierbij wordt de kering na een sluiting tijdens de opvolgende periode met afgaand water, indien mogelijk, tijdelijk geopend en vervolgens voor de volgende hoogwatertop opnieuw gesloten waarbij in dat geval gericht wordt op een ander streefpeil. Het peil dat bij sluitingen van de kering optreedt is een vast peil. Hieronder moet echter geen onbeweeglijk peil op een vaste waarde verondersteld worden. Als gevolg van het 'lekker' van de kering, overslag van golven over de kering, het optreden van translatiegolven en door windinvloeden kunnen aanzienlijke schommelingen in de waterstand optreden. Bij gesloten kering wordt in dit verband gesproken over de **lekopening** van de kering. Immers langs de schuiven bestaat een geringe spleetopening waardoor een hoeveelheid water kan 'lekker' en ook door de drempelconstructie, opgebouwd uit grof stortsteenmateriaal, vindt nog een zeker watertransport plaats. De lekopening wordt nu gedefinieerd als een fictief doorstroomoppervlak waardoor nog watertransport plaatsvindt bij gesloten kering. De omvang hiervan is aan de hand van metingen vastgesteld. Bij gesloten kering zal onder invloed van de wind aan de binnenzijde van de kering afwaaiing optreden terwijl achter in het bekken van opwaaiing sprake is.

Het verschil in waterstand tussen een punt direct achter de kering en een punt aan het andere eind van het bekken wordt in dit geval als scheefstand aangeduid.

Om invloeden van scheefstand zoveel mogelijk uit te sluiten wordt het streefpeil gedefinieerd als de waterstand ter plaatse van de lijn Wemeldinge - Stavenisse, de lijn waar geen invloed van scheefstand merkbaar is.

Sluiten op basis van actueel gemeten waterstanden.

De tweede methode van sluiting van de kering is op basis van actueel gemeten waterstanden aan de buitenzijde van de kering. De kering wordt hierbij automatisch gesloten wanneer het peil aan de buitenzijde van de kering een vastgestelde waarde, **het noodsluitpeil**, overschrijdt. Deze automatische voorziening tot het sluiten van de kering is aangebracht voor het sluiten van de Oosterscheldekering in die situaties waarin de normale sluitprocedure niet kan worden gevolgd. Voorbeelden van dit soort omstandigheden zijn het ontbreken van (goede) voorspellingen, het falen van het bemanningsproces van de kering of omdat waterstanden optreden hoger dan het noodsluitpeil terwijl peilen lager dan de maatgevende peilverwachting voorspeld worden. Hierbij wordt niet gestuurd op het realiseren van een bepaald streefpeil. Het binnenpeil wat bij deze vorm van sluiting optreedt is afhankelijk van de stijgsnelheid van de waterstand aan de buitenzijde van de kering en de mate waarin het Oosterscheldebekken reeds was gevuld. De binnenpeilen zullen in de meeste gevallen vrij hoog zijn (ca. NAP +3,00m); de periodes waarover de kering gesloten is daarentegen vrij kort (ca. 3 uur). Indien de kering op deze manier is gesloten zal, indien niet ingegrepen wordt, de kering tijdens de volgende periode met afgaand water ook weer automatisch geopend worden.

bezwijkmechanisme

1. overstroming/overslag
2. onvoldoende stabiliteit binnentalud
3. onvoldoende stabiliteit buitentalud
 - stabiliteitsverlies door afschuiving
 - stabiliteitsverlies door opbarsten taludbekleding
 - stabiliteitsverlies vooroever door zettingsvloeiing
4. pijpvorming
5. beschadiging van glooiingen door geconcentreerde golfaanval
6. erosie van grasmatten door geconcentreerde golfaanval

Sluitfrequentie kering.

De keuze van het peil waarbij de kering gesloten wordt, bepaald de sluitfrequentie van de kering. Hier wordt onder sluitfrequentie van de kering verstaan het aantal stormen per jaar, ongeacht of dit nu ééntops, tweetops of drietops stormen zijn, waarvoor de kering gesloten dient te worden. Met nadruk wordt er op gewezen dat dit geen uitspraak geeft over het aantal hoogwatertoppen waarvoor gesloten wordt. Nadere informatie betreffende het aantal hoogwatertoppen kan worden verkregen door de frequenties van voorkomen van meertopsstormvloeden te bezien.

2.3 Waterkeringen.

De belasting op waterkeringen.

Onder normale omstandigheden, bij geopende kering, is de Oosterschelde een getijdenbekken. Dat wil zeggen dat de belasting op de rond het Oosterscheldebekken gelegen waterkeringen veroorzaakt wordt door een continu wisselende waterstand. Indien de kering echter voor kortere of langere tijd gesloten wordt treedt een geheel andere situatie op. In dit geval wordt de belasting op de dijken veroorzaakt door een vast peil, verder aangeduid als stagnante waterstand. De mate waarin een waterkering wordt belast wordt bepaald door de hoogte van het vaste peil én de duur waarover het vaste peil optreedt. Bij gesloten kering worden de belastingen dan ook uitgedrukt in **peil-duur-combinaties**.

De sterkte van waterkeringen.

Ten aanzien van de "sterkte" van de Oosterscheldebekken bleek uit de BARCON onderzoeken dat de navolgende bezwijkmechanismen hiervoor van belang zijn:

specifieke belasting

- peil en golfhoogte
- peil en duur van de waterstand
- peil en duur van de vaste waterstand en vervolgens de daalsnelheid van het water na openen van de kering
- peil en duur van de waterstand
- peil en duur van de vaste waterstand in combinatie met golven
- peil en duur van de vaste waterstand in combinatie met golven

Elk bezwijkmechanisme wordt kort toegelicht.

Overstroming / Overslag.

De Oosterscheldedijken zijn ontworpen op een situatie zonder stormvloedkering en in het kader van de partiele dijksverhogingen aangepast aan de norm van 1 : 500. De partiele dijksverhoging op basis van deze norm is uitgevoerd om in de korte tijd (enkele jaren) dat het gereedkomen van de stormvloedkering was uitgesteld, voldoende veiligheid tegen overstroming te kunnen bieden. Hierdoor kunnen de bestaande dijken minimaal een waterstand van NAP +4,30m te Burghsluis resp. NAP +5,40 m in het oostelijk deel van het bekken keren. Sinds het gereedkomen van de stormvloedkering is, door de reducerende werking van de kering op de waterstanden, de kerende hoogte van deze dijken dan ook ruim voldoende.

Voor de nieuw aangelegde infrastructuur is bij het ontwerp uitgegaan van de situatie dat de stormvloedkering is aangelegd. De constructies die volgens deze normen zijn of worden aangelegd zijn:

- Schutsluis Goesse Sas
- Dijken langs het Kanaal van Zuid-Beveland
- De Philipsdam en Oesterdam

Philipsdam en Oesterdam zijn gedimensioneerd op een ontwerppeil van NAP +4,00 m. Het ontwerppeil voor zowel schutsluis Goesse Sas als de kanaaldijken langs het Kanaal door Zuid-Beveland bedraagt NAP +3,50m. te Wemeldinge. Deze ontwerppeilen zijn gebaseerd op de ten tijde van het ontwerp verwachte maximale waterstand op de Oosterschelde na gereedkomen van de stormvloedkering.

Stabiliteit binnentalud.

Door de betrekkelijk snel wisselende waterstanden gedurende het getij zullen geen hoge waterspanningen in het dijklichaam ontstaan. Bij een gesloten kering verandert deze situatie totaal. Er is dan sprake van vrij hoge 'vaste' waterstanden gedurende een langere periode. Hierdoor kan de waterspanning in het dijklichaam zodanig toenemen dat de schuifsterkte afneemt en verlies van stabiliteit optreedt.

De kans op verlies van stabiliteit neemt toe bij hogere waterstanden en toenemende duur van de stagnantie.

De meest kritieke dijkvakken voor wat betreft binnendijkse stabiliteit zijn inmiddels aangepast. De maatgevende lokatie voor wat betreft dit bezwijkmechanisme wordt nu gevormd door het

dijkvak "Suzanna's inlaag" op Schouwen-Duiveland.

Stabiliteit buitentalud.

Stabiliteit van het buitentalud dient in dit geval als verzamelnaam voor een drietal bezwijkmechanismen. Allereerst kan hier genoemd worden het afschuiven van (een deel van) het dijklichaam langs een glijvlak. Daarnaast kan ook (een deel van) de vooroever als gevolg van zettingsvloeiing afglijden in een dieper gelegen gedeelte van de geul. Tenslotte dient gedacht te worden aan het opbarsten van glooiingen als gevolg van een sterk toegenomen waterspanning onder de glooiingsconstructie. Al deze gevallen worden veroorzaakt door het plotseling dalen van de waterstand na een langdurige stagnantie op hoge waterstanden, waardoor overdruk binnen het dijklichaam kan ontstaan.

Piping.

Piping, ook wel pijpvorming genaamd, wordt veroorzaakt doordat gronddeeltjes uit dieper gelegen grondlagen onder de dijk worden meegevoerd door de kwelstroom van zeewater naar de achter de dijk gelegen polder. Bij lang voortduren van dit proces kan zoveel materiaal worden meegevoerd dat dit leidt tot ondermijning van de dijk wat uiteindelijk bezwijken van de dijk tot gevolg kan hebben.

Maatgevend voor dit proces is daarom de tijdsduur dat een bepaalde waterstand wordt overschreden. Uit onderzoek is gebleken dat piping een rol speelt bij waterstanden boven ca. NAP +2,00 m.

De maatgevende lokaties voor wat betreft dit mechanisme zijn gelegen op Schouwen Duiveland namelijk bij Oosterland en Gouweveer.

Geconcentreerde golfaanval.

Bij een open kering treedt, als gevolg van de voortdurende waterstandsveranderingen veroorzaakt door de getijbeweging, golfaanval op de glooiingen en de grasmatten slechts gedurende korte tijd achtereen op dezelfde plaats op.

Bij gesloten kering en stagnante waterstand op het bekken zal de golfaanval echter gedurende langere tijd een relatief smalle strook van de glooiing of de grasmatten belasten. Omdat sprake is van stormomstandigheden zal deze belasting tevens intensief zijn, waardoor de kans op bezwijken wordt vergroot.

De mate waarin een glooiing bestand is tegen deze intensieve belasting is afhankelijk van het bekledingsmateriaal en de laagdikten waaruit de glooiing is opgebouwd. Zo zijn glooiingen van

basalt of haringmanblokken in het algemeen goed bestand tegen dit type belasting. Glooiingen opgebouwd uit Vilvoordse steen daarentegen veel minder. Waar nodig zijn de laatste jaren (periode '86 en '87) de glooiingen verbeterd.

Bij golfaanval op grasmatten is naast de directe aanval door golfklappen op de grasmat ook de overspoeling van de grasmat als gevolg van golfoploop van belang. Zowel uit modelproeven als uit de praktijk is gebleken dat de overgang tussen glooiingsconstructie en grasmat veelal het kritieke punt vormt.

Naast de sterkte van de taludverdediging zelf bezit het onderliggende dijklichaam na het bezwijken van de verdedigingsconstructie nog een zekere reststerkte. Voor de bepaling van het bezwijkcriterium is met deze reststerkte geen rekening gehouden. Maatgevende lokaties liggen verspreid langs de Oosterschelde. Ten aanzien van de golfklappen op grasmatten richt de aandacht zich op het gebied van NAP +3,25 m en hoger (overgang glooiing - grasmat). Voor wat betreft golfoploop moet rekening gehouden worden met peilen vanaf ca. NAP + 2,0 m.

Regels voor het gebruik van de stormvloedkering

Onderstaand worden in het kort de in het operationele draaiboek opgenomen regels en procedures weergegeven zoals die golden tijdens de evaluatieperiode.

Beslis- en bedienstructuur.

De algehele verantwoordelijkheid voor de inzet van de kering berust bij de HLD van de Directie Zeeland. Het hoofd van de Dienstkring Delta-Kust draagt zorg voor de uitvoering van deze taak binnen de door het handboek vastgelegde regels. Bij situaties waarin het handboek niet voorziet wordt ondersteuning gevraagd van vertegenwoordigers van directie Zeeland en/of ontwerpdeskundigen.

In de evaluatieperiode, ingaande het stormseizoen '87/'88, zijn de volgende peilen gehanteerd:

Waarschuwingspeil	NAP + 2,75 m.
Maatgevende peilverwachting	NAP + 3,00 m.
Noodsluitpeil	NAP + 3,00 m.
Streefpeil	1-2-1 wisselstrategie

De 1-2-1 wisselstrategie houdt in dat bij de eerste hoogwatertop een streefpeil van NAP + 1,00 m geldt. Voor een tweede en derde hoogwatertop gelden resp. NAP + 2,00 m. en NAP + 1,00 m. Voor eventueel volgende toppen wordt de reeks van afwisselend NAP + 2,00 m. en NAP + 1,00 m. voortgezet.

Na een onderbreking in opeenvolgende sluitingen wordt in principe weer begonnen met een binnenpeil van NAP + 1,00 m. tenzij andere redenen zich hiertegen verzetten.

Voorspellingen van waterstanden worden primair verzorgd door het KNMI de Bilt. Deze gegevens worden doorgegeven aan het regionale hydrometeocentrum waar eventueel bijstelling plaatsvindt aan de hand van regionale hydro en meteo informatie. Naast het KNMI kunnen ook voorspellingen/waarschuwingen gegeven worden door de Stormvloedwaarschuwingdienst.

Indien de voorspellingen een overschrijding van het waarschuwingspeil te zien geven worden, automatisch, alle betrokken personen gealarmeerd.

Immiddels worden door het hydrometeocentrum met behulp van een waterbewegingsmodel een aantal sluitingsvarianten van de kering

doorgerekend. De uitkomsten van deze berekeningen worden doorgegeven aan het beslisssteam wat zich op de kering bevindt. Beslissingen omtrent sluiting van de kering en de wijze waarop worden aan de hand van deze berekeningsresultaten genomen. De daadwerkelijke bediening van de schuiven gebeurt door het bedieningspersoneel.

Het beslisssteam samen met het bedieningspersoneel wordt aangeduid met de term keringpersoneel.

Voorschriften keringgebruik.

De kering dient te worden bemand als een waterstandsvoorspelling wordt gegeven waarvan het hoogwater boven het waarschuwingspeil uitkomt.

De kering dient vervolgens gesloten te worden als de voorspelling van het eerstvolgende hoogwater uitkomt boven de maatgevende peilverwachting.

Het tijdstip van sluiting van de kering dient met behulp van het waterbewegingsmodel zodanig te worden bepaald dat na sluiting van de kering het gewenste streefpeil wordt gerealiseerd.

Openen van de kering dient in principe te geschieden na passeren van de hoogwatertop en wel op het moment dat de buitenwaterstand gelijk wordt aan de binnenwaterstand. Hierbij dienen wel de eisen ingegeven door de constructie van de kering en de waterkeringen rondom het bekken (beperking van plotselinge waterstandsval op het bekken i.v.m. stabiliteit buitentalud) in beschouwing te worden genomen.

Indien, om wat voor reden dan ook, de kering niet is gesloten, treedt bij gemeten overschrijding van het noodsluitpeil het noodsluitsysteem in werking waardoor de kering automatisch gesloten wordt. Tijdens het automatisch sluiten van de kering kan niet in de schuifbewegingen ingegrepen worden totdat alle schuiven volledig gesloten zijn. Als de kering door het noodsluitsysteem gesloten is, wordt automatisch weer geopend na het passeren van de hoogwatertop bij gelijke binnen- en buitenwaterstand. Dit automatisch openen kan voorkomen worden.

Operationele instructies.

Een operationele periode van de stormvloedkering ten behoeve van een stormvloed wordt onderverdeeld in vier fasen:

- a. waarschuwings/oproepfase
- b. voorbereidingsfase
- c. bedieningsfase
- d. beëindigingsfase
- e. evaluatie

a. Waarschuwings/oproepfase

Aanzet voor een operationele periode wordt gevormd door een automatische alarm- of vooralarmmelding. Hierbij wordt tevens de permanent bemande regionale oproeppost ingeschakeld.

Bij een alarm dient het keringpersoneel zich naar de kering te begeven, bij een vooralarm dient men zich paraat te houden.

Op de kering beslist het beslisteam of voldoende personeel aanwezig is of dat reservepersoneel opgeroepen dient te worden.

b. Voorbereidingsfase

Het eerste gedeelte van deze fase wordt gevormd door het verzamelen van alle relevante informatie door het beslisteam.

Hieronder worden verstaan: voorspellingen van waterstand, wind- en golfgegevens en gegevens betreffende schuifstanden en bedienbaarheid van schuiven.

Aan de hand van bovengenoemde informatie en in het operationeel handboek vastgelegde criteria kiest het beslisteam in samenspraak met het hydrometeocentrum de meest optimale manier van sluiten met bijbehorende sluit- en openingstijden. Bij afwijkende omstandigheden, bij bijvoorbeeld een weigerende schuif, worden de richtlijnen uit het draaiboek gevolgd en wordt eventueel een ontwerpdeskundige geraadpleegd. De keuze wordt gemeld aan de HID van Directie Zeeland. Voorts wordt informatie over de sluiting verschaft aan direct betrokkenen zoals waterschappen, Provinciale Waterstaat en Scheepvaartdienst. Kort voor het moment dat tot sluiten wordt overgegaan wordt aan de hand van de meest recente (simulatie)gegevens nog nagegegaan of de manier van sluiten bijstelling behoeft.

Vervolgens wordt door het hoofd van het beslisteam toestemming gevraagd aan de HID van Directie Zeeland om te sluiten, waarna de formele berichtgeving wordt verzorgd.

c. Bedieningsfase

Op het vastgestelde tijdstip worden met behulp van de centrale bedieningscomputer de schuiven

in beweging gebracht om de kering te sluiten. Indien één of meer schuiven blijken te weigeren wordt door het beslisteam een beslissing genomen over de te nemen maatregelen.

Als na het passeren van het hoogwater de binnen- en buitenwaterstand weer gelijk worden, worden door het bedieningspersoneel de schuiven weer in beweging gebracht voor een open-actie. Ook hier geldt dezelfde procedure ten aanzien van weigerende schuiven. Alle relevante gebeurtenissen tijdens open- of sluitactie worden teruggemeld aan het hydrometeocentrum. Als de kering weer geheel geopend is worden de direct betrokkenen op de hoogte gesteld.

Indien een meertopsstroomvloed was voorspeld wordt vanaf hier teruggegaan naar de voorbereidingsfase, zo niet dan wordt doorgegaan met de beëindigingsfase.

d. Beëindigingsfase

De beëindigingsfase treedt in nadat de laatste handeling van de bedieningsfase heeft plaatsgevonden. De kering is dan volledig geopend.

Aan de hand van weers- en waterstandsvoorspelling wordt in overleg tussen het beslisteam en het hydrometeocentrum, besloten of de operationele periode beëindigd kan worden. Indien besloten wordt tot beëindiging van de operationele periode worden alle betrokkenen hiervan op de hoogte gesteld.

e. Evaluatie

Na afloop van iedere stormvloed waarvoor de kering bemand is geweest worden de effecten van al of niet sluiten van de kering geëvalueerd.

De kering is gedurende deze periode 11 maal bemand geweest als gevolg van een stormalarm, waarvan 1 keer gedurende 6 hoogwaterperiodes tijdens één en dezelfde storm. Dit heeft geleid tot in totaal 4 stormsluitingen van de kering, waarbij gedurende die ene storm van 26 februari 1990 de kering voor 4 hoogwatertoppen gesloten is geweest.

Bij de eerste stormsluiting in deze periode, op 14 februari 1989, was sprake van een ééntops-stormvloed. De meteorologische omstandigheden maakten in dit geval een voortdurende bijstelling van de voorspellingen nodig. Hierdoor was het niet mogelijk het gewenste streefpeil van NAP + 1,00m. in te stellen. Uiteindelijk werd een binnenpeil van NAP + 1,70 m. gerealiseerd.

Tijdens de tweede stormsluiting, tijdens de storm van 26 februari t/m 1 maart 1990, waarbij de wind uit west-noordwestelijke richting kwam trad langs de Nederlandse kust een sterke waterstandsverhoging op. Dit had tot gevolg dat de kering gedurende 4 hoogwaterperiodes werd gesloten, waarvan de eerste 3 maal aaneensluitend (3-tops stormvloed). Tijdens deze sluitingen is, zoals vastgelegd in de procedures, de wisselstrategie toegepast waarbij achtereenvolgens een streefpeil van NAP + 1,00, NAP +2,00 en NAP 1,00 m. wordt nagestreeft. De gerealiseerde binnenpeilen hebben hier goed aan voldaan. Na de 3e top waarvoor gesloten werd is de kering gedurende één hoogwaterperiode opengebleven (buitenwaterstand NAP + 2,75 m.), waarna voor de volgende hoogwatertop opnieuw is gesloten met als streefpeil NAP + 1,00 m. (zie ook kader februaristorm 1990). Bij de aanvang van de sluiting voor de derde top heeft één van de schuiven gedurende korte tijd geweigerd waardoor deze schuif iets later is gesloten dan de overigen. Op het verdere verloop van de operatie heeft dit geen gevolg gehad. Opgemerkt dient te worden dat bij het ontwerp rekening is gehouden met weigering van één of meer schuiven, zodat deze situatie de veiligheid niet in gevaar brengt, wel kan hierbij schade ontstaan.

De derde stormsluiting, welke plaats vond op 21 september 1990, betrof een ééntops stormvloed. Hierbij is conform de regelingen een binnenpeil gerealiseerd van ca. NAP +1,00m.

De vierde stormsluiting in deze periode vindt plaats op 12 en 13 december 1990. Het betrof hier een tweetopsstormvloed waarbij de wisselstrategie met succes is toegepast.

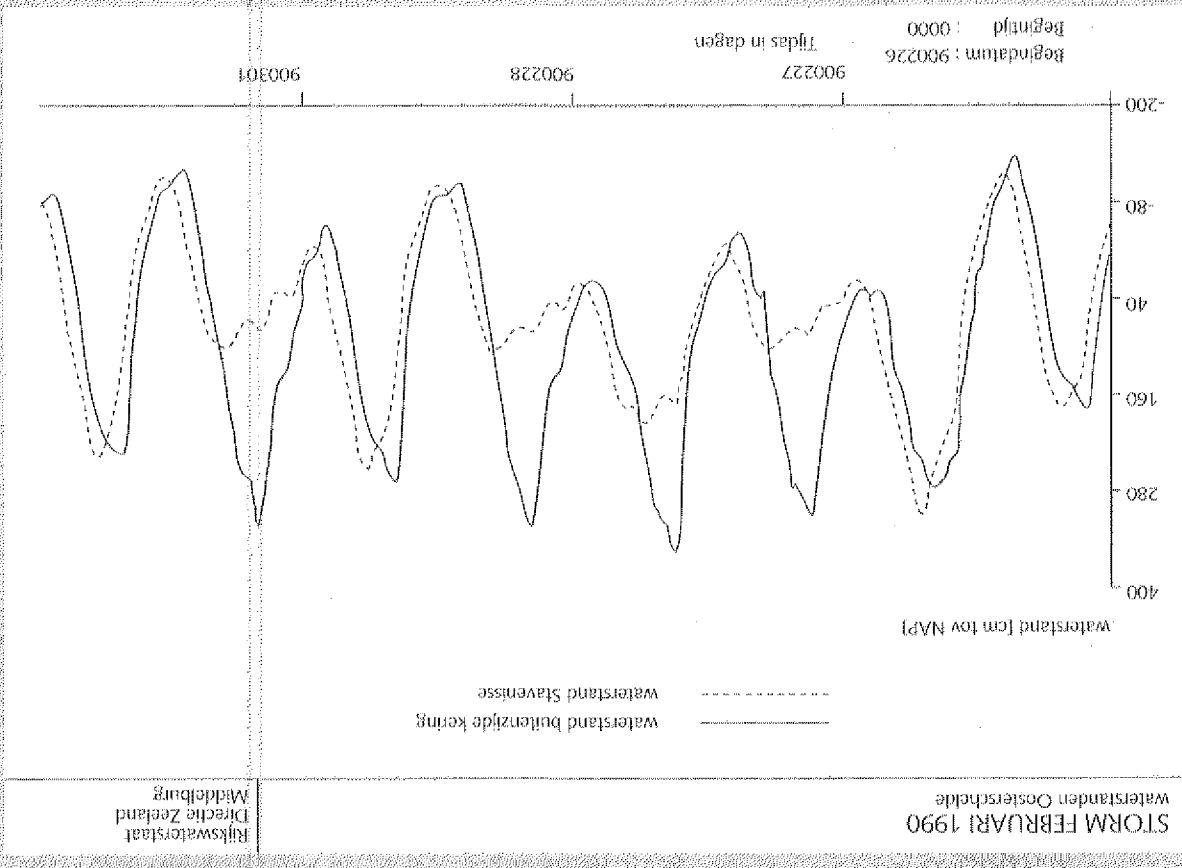
Alle stormsluitingen hebben plaatsgevonden op basis van voorspelde waterstanden. Het noodsluitsysteem is niet in aktie hoeven te komen.

In de tabel op de volgende pagina staan alle stormsluitingen gedurende de evaluatieperiode nog eens in chronologische volgorde weergegeven. Daarbij worden tevens de bijbehorende waterstandsvoorspellingen en gerealiseerde binnen- en buitenwaterstanden, alsmede de maximum stagnatieduur gepresenteerd.

Tijdens de perioden dat de kering bemand is geweest is gekeken naar de afwijkingen tussen de voorspellingen waarop het besluit tot al of niet sluiten gebaseerd is, en de uiteindelijk gerealiseerde buitenwaterstand. Hieruit blijkt een standaardafwijking van ca. 25 cm met extremen van een overschatting van 59 cm en een onderschatting van 34 cm.

Datum stormvloed	Verwachte waterstand Noordzezijde in m tov NAP	Hoogste waterstand Noordzezijde in m tov NAP	Hoogste waterstand te Stavenisse in m tov NAP	Maximale stagnantie duur
861020	*	+ 2,94	- 0,20	19 uur
861218	+ 2,90 **	+ 2,73	+ 1,03	6 uur
861219	+ 2,85 **	+ 2,71	+ 0,97	5,2 uur
890214	+ 3,00	+ 3,17	+ 1,70***	5,5 uur
900227	+ 3,00	+ 3,17	+ 1,02	7,3 uur
900227	+ 3,29	+ 3,69	+ 2,06	4,5 uur
900228	+ 3,14	+ 3,25	+ 1,06	7,5 uur
900301	+ 3,20	+ 3,25	+ 1,07	7,3 uur
900921	+ 3,05	+ 2,92	+ 1,02	6,5 uur
901212	+ 3,05	+ 2,80	+ 0,93	9,5 uur
901213	+ 3,06	+ 2,65	+ 1,98	4,5 uur
<p>* Kering was reeds gesloten t.b.v. laatste fase sluiting Tholense Gat ** Maatgevende peilverwachting en Noodsluitpeil : NAP + 2,75 m. *** Voorspelling was niet op tijd beschikbaar</p>				

Februariestorm 1990

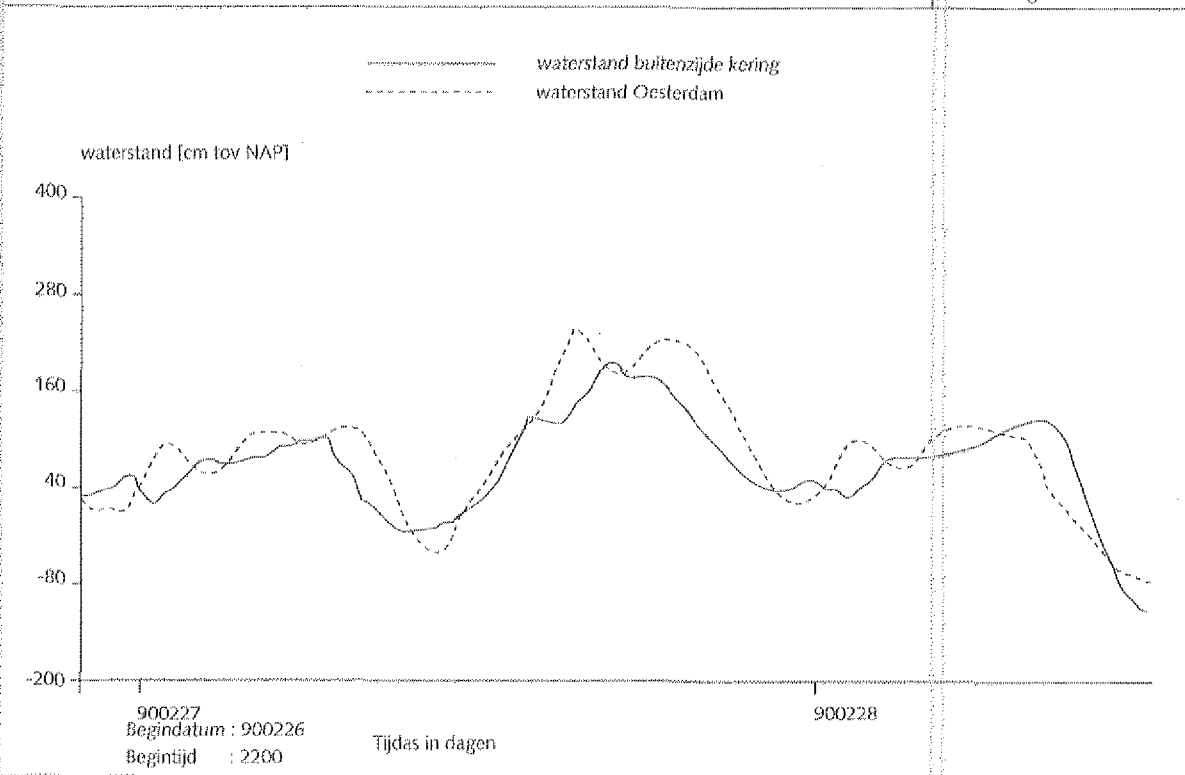


Eind februari 1990 werd Nederland door een zware storm getroffen. Doordat de wind uit west-noordwestelijk hoek waalde trad een sterke waterstandsverhoging op. Dit had tot gevolg dat de kering 4 maal is gesloten, waarvan de eerste 3 maal aaneensluitend (een zogenaamde 3-topper). Tijdens de 3 opeenvolgende sluitingen is zoals in de procedures staat aangegeven, de 1-2-1 strategie nagescreid. Dat wil zeggen dat het peil op het bekken tijdens opeenvolgende sluitingen afwisselend N.A.P. +1 m en N.A.P. +2 m dient te bedragen. Dit om te voorkomen dat uit het opgetreden waterstandsverloop blijkt dat bij dichte kering het peil op de Oosterschelde niet konstant blijft maar langzaam oploopt. Dit komt doordat water naar binnen toe lekt. Het verval over de kering, het verschil in waterstand tussen buiten- en binnenzijde, is hiervoor de aandrijvende kracht. Verder valt op dat het waterstandsverloop op het bekken wordt verstoord door een

zogenaamde translatie golf. Deze treedt op door het plotseling meenalen van 62 schuiven in het stromende water. Dankzij deze verstoring is in nevenstaande figuren te zien dat de waterstand ter plaatse van de compartimenteringsdammen in het algemeen hoger is dan aan de binnenzijde van de kering. Dit komt door de wind. Deze sluw het water op waardoor er een scheefstand op het bekken ontstaat.

STORM FEBRUARI 1990
waterstanden Oosterschelde

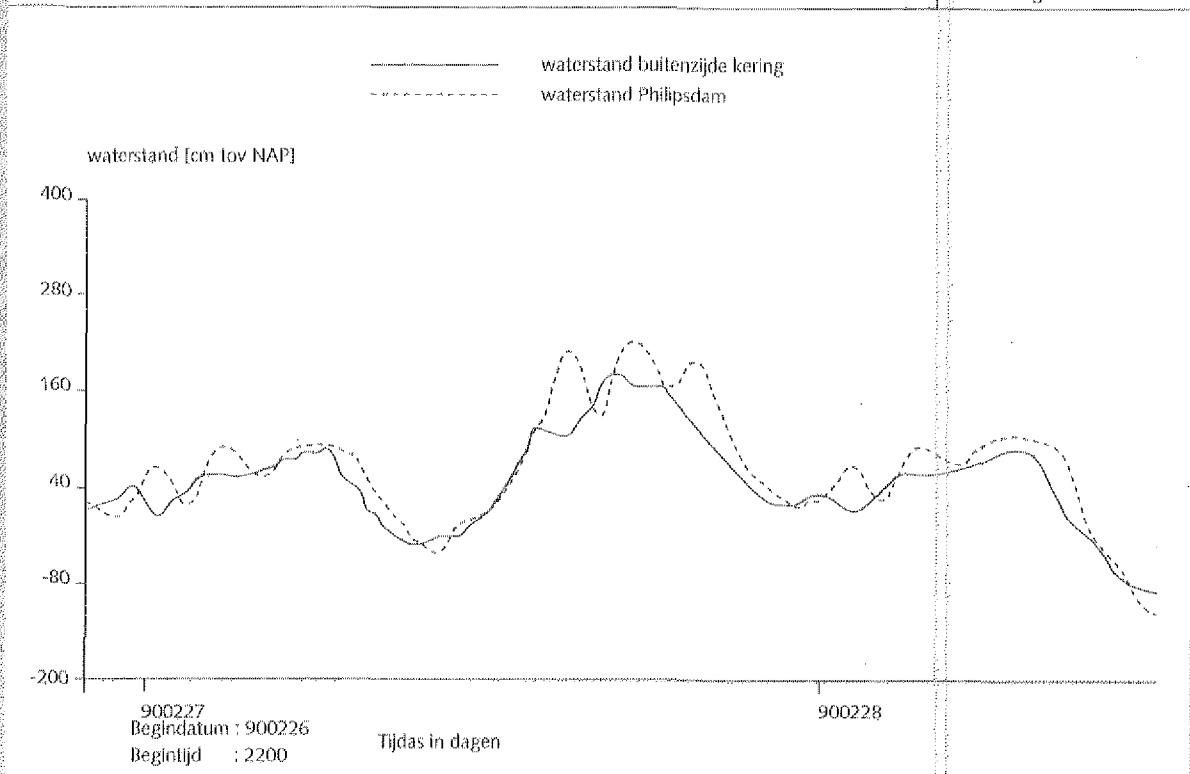
Rijkswaterstaat
Directie Zeeland
Middelburg



Vergelijk waterstandsverloop binnenzijde kering
en Oesterdam bij gesloten kering.

STORM FEBRUARI 1990
waterstanden Oosterschelde

Rijkswaterstaat
Directie Zeeland
Middelburg



Vergelijk waterstandsverloop binnenzijde kering
en Philipsdam bij gesloten kering.

3.2 Ervaringen operationeel gebruik tijdens stormomstandigheden.

De 1-2-1 wisselstrategie is in de praktijk goed uitvoerbaar gebleken.

Gebleken is dat een Noodsluitpeil gelijk aan de Maatgevende Peilverwachting er in de praktijk toe leidt dat voorspellingen rond de Maatgevende Peilverwachting met zorg dienen te worden gehanteerd.

Ten behoeve van de beslissing om tijdens een storm de kering al of niet te sluiten worden voorspellingen gemaakt van de verwachte waterstand. De kering wordt gesloten indien de verwachte waterstand uitkomt boven de Maatgevende Peilverwachting.

Met deze wijze van sluiten van de kering kan het gewenste binnenpeil worden gerealiseerd. De noodsluiter fungeert als vangnet voor het geval zich onverhoopt omstandigheden voordoen, waarin de normale sluitprocedure op basis van voorspellingen niet tot een (noodzakelijke) sluiting leidt.

Alle sluitingen in de evaluatieperiode zijn uitgevoerd op basis van voorspelde waterstanden. Het noodsluitsysteem is niet in actie geweest.

Uit het chronologisch overzicht van de gerealiseerde stormsluitingen is af te lezen dat het vijf maal is voorgekomen dat, na sluiting van de kering, de uiteindelijk opgetreden buitenwaterstand lager is gebleven dan de Maatgevende Peilverwachting. Dit komt voort uit de nauwkeurigheid van de waterstandsvoorspellingen. Verwachtingen ten aanzien van de maximale waterstand die tijdens een storm zal optreden hebben een bepaalde onzekerheidsmarge naar boven en naar beneden. Uit voorzorg wordt, voor de bepaling of sluiting van de kering nodig is, afgegaan op de bovenkant van de marge. Keerzijde hiervan is dat er een grotere kans bestaat dat achteraf bezien de werkelijk opgetreden waterstand beneden de Maatgevende Peilverwachting is gebleven.

Aangezien er enerzijds naar wordt gestreefd de met het gebruik van de kering samenhangende effecten (zie hoofdstuk 6) te beperken en anderzijds een beheersbare sluiting gewenst is, dienen voorspellingen rond de Maatgevende Peilverwachting met zorg gehanteerd te worden.

Zoals uit de vorige paragraaf blijkt is de 1-2-1 wisselstrategie in de praktijk goed uitvoerbaar gebleken.

Ten aanzien van andere mogelijke binnenpeilstrategieën kan uit de geregistreerde gegevens van de storm van 26 februari 1990 worden afgeleid

dat instelling van een binnenpeil lager dan NAP + 1,00m. fysisch niet te realiseren was geweest als gevolg van de sterk verhoogde laagwaterstand.

De wisselstrategie 0-1-2 had in dit geval dan ook niet gerealiseerd kunnen worden.

3.3 Gebruik van de kering in niet stormomstandigheden.

Inzet van de stormvloedkering ter bestrijding van de gevolgen van een calamiteit is éénmaal overwogen. In het algemeen biedt inzet van de stormvloedkering ter bestrijding van (de effecten van) calamiteuze verontreinigingen in de Oosterschelde weinig mogelijkheden.

Naast inzet van de stormvloedkering ten behoeve van stormvloed is de kering tot en met april 1987 regelmatig ingezet ten behoeve van de afronding van de Compartimenteringswerken.

De kering werd hierbij gebruikt om de stroomsnelheden te beperken op de Schelde-Rijn verbinding en om de zandsluitingen van het Tholensche Gat en de Krammer mogelijk te maken. Daarnaast zijn er ook schuiven gesloten geweest ten behoeve van onderhouds- en afbouwwerken van de kering zelf.

Bovengenoemde inzet van de kering is echter niet van belang ten aanzien van de veiligheidsbeschouwingen zodat hier in deze rapportage geen nadere aandacht aan wordt besteed. De effecten van de aanleg van de Stormvloedkering en de compartimenterings-dammen alsmede van het (gedeeltelijk) sluiten van de kering t.b.v. onderhouds- en afbouwwerken op het functioneren van de Oosterschelde, worden apart in de nota "De effecten van de waterbouwkundige werken op het getijdemilieu van de Oosterschelde" geëvalueerd.

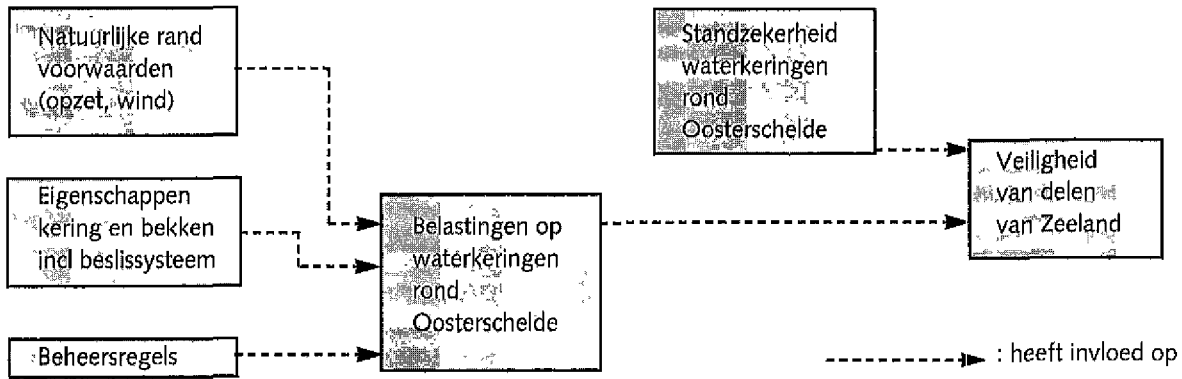
Calamiteiten.

Tijdens de evaluatieperiode heeft zich één voorval voorgedaan waarbij gedacht is aan inzet van de stormvloedkering. Nabij de Krammersluizen ontstond als gevolg van een ongeval op 24-1-'88 een olievlek. Gezien het tijdstip van de lozing, ca 5 uur voor hoogwater, en de heersende wind, waardoor verspreiding van de vlek richting Oosterscheldebekken niet waarschijnlijk was, is besloten dat inzet van de kering in dit geval niet zinvol was.

In het algemeen kan worden gesteld dat inzet van de kering ter bestrijding van verontreinigingen veelal weinig mogelijkheden zal bieden. Beïnvloeding van het verplaatsingsgedrag is in de meeste gevallen niet mogelijk daar de verontreiniging in de meeste gevallen al ergens is gestrand voordat de kering gesloten is. Slaagt men erin tijdig de kering gesloten te krijgen dan lijkt inzet nog alleen maar zinvol bij zeer geringe windsnelheden. Als een verontreiniging eenmaal gestrand is op de kustlijn of op een plaat kan inzet van de kering overwogen worden om daarmee het peil gedurende enige tijd vast te houden teneinde het opruimen van de verontreiniging mogelijk te maken.

Bij een verontreiniging die de Oosterschelde nadert vanaf de Noordzee kan de inzet van de kering zinvol zijn indien daarmee voorkomen kan worden dat de verontreiniging het bekken kan bereiken. In alle gevallen is inzet alleen zinvol voor een beperkte tijdsduur (tot ca.30 uur) om negatieve milieugevolgen als gevolg van de sluiting zoveel mogelijk te voorkomen. Uit het voorgaande blijkt dat er nauwelijks vaste richtlijnen zijn te geven voor inzet van de kering ter bestrijding van verontreiniging. De inzetmogelijkheden dienen dan ook van situatie tot situatie beschouwd te worden.

Onderlinge samenhang van veiligheidsbepalende factoren.

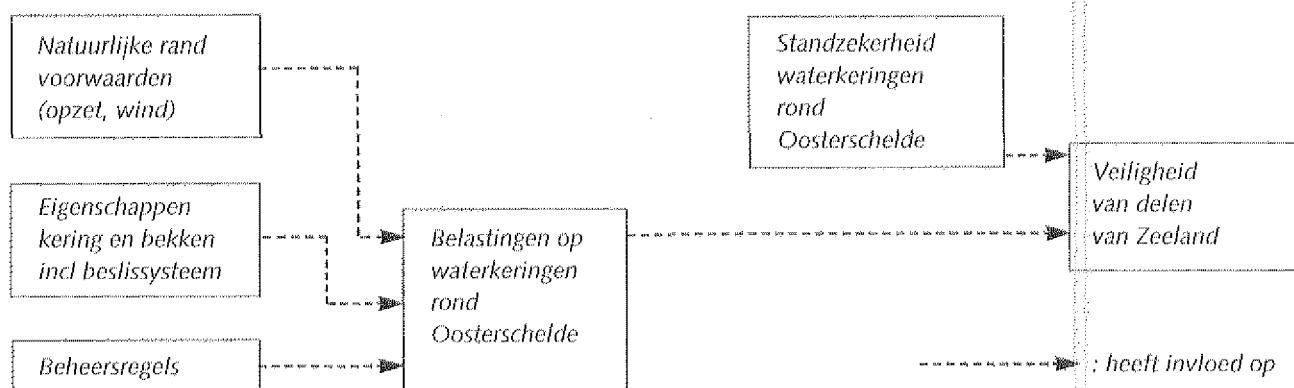


Het bepalen van overstromingskansen volgens barcon en riemann/simplic

Bij de bepaling van overstromingskansen spelen twee aspecten een rol, namelijk de sterkte en de belasting van het systeem. Elk van deze aspecten wordt bepaald door een samenspel van een aantal factoren.

De gehanteerde aanpak van het probleem, het bepalen van de overstromingskansen van een gebied, is gebaseerd op de relaties welke tussen de diverse componenten van het totale veiligheidssysteem bestaan.

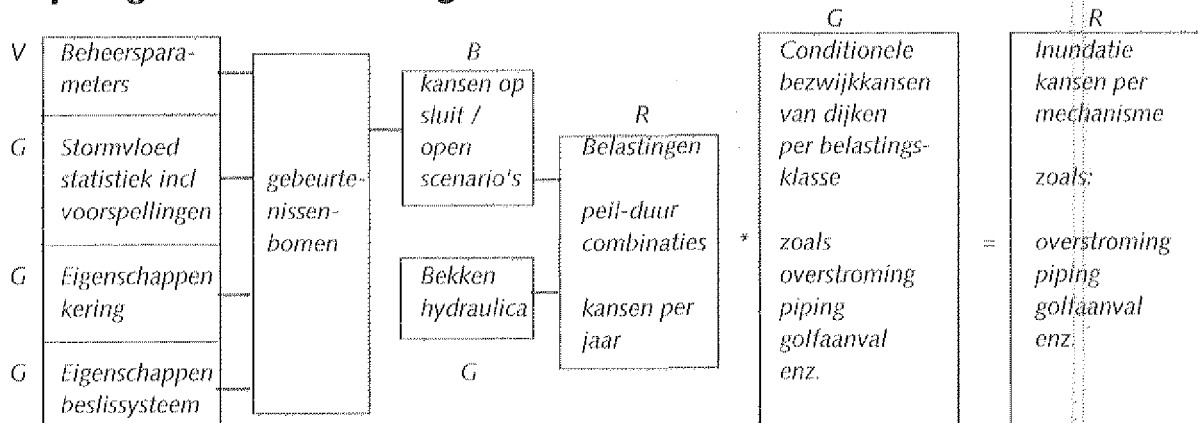
Onderlinge samenhang van veiligheidsbepalende factoren.



Om de optredende belastingen op het bekken te kunnen schatten is door BARCON gebruik gemaakt van zogenaamde gebeurtenissenbomen (afkomstig uit het vakgebied risico-analyse). Bij deze methode worden alle mogelijke en relevante gebeurtenissen voorafgaand aan en tijdens stormvloed(en) in onderling verband weergegeven. Hierbij valt te denken aan het beschikbaar zijn van voorspellingen, de voorspelfout, bemanningproces van de kering e.d. Voor ieder van deze gebeurtenissen worden vervolgens kansen

van voorkomen of faalkansen geschat. Al deze kansen samen leveren tenslotte een schatting voor de kans dat de kering gesloten wordt en op welke wijze dit zal gebeuren (bij handmatig of automatisch). Met behulp van een hydraulisch model van het bekken worden vervolgens stagnantieduren en peilen op het bekken uitgerekend. Gecombineerd met de hiervoor bepaalde kansen op sluiting en op bepaalde buitenwaterstanden levert dit uiteindelijk schattingen op betreffende het optreden van diverse

Bepaling inundatiekans volgens Barcon methode



G : Gegevens V : Variabelen

4. Veiligheid bepalende factoren.

In dit hoofdstuk worden de factoren die bepalend zijn voor de veiligheid van de achter de Oosterscheldedijken gelegen gebieden één voor één besproken.

Als leidraad wordt hiervoor het schema aangehouden zoals op de linkerpagina is gepresenteerd.

Voor elk van deze factoren worden in het kort de belangrijkste kenmerken aangegeven en, indien van toepassing, welke verschillen er zijn ten aanzien van de oorspronkelijke benadering (project BARCON).

De mate van veiligheid van het gebied wordt bepaald door twee factoren : de belasting en de sterkte van het systeem. De belasting wordt bepaald door de natuurlijke randvoorwaarden (waterstand, wind), de eigenschappen van het bekken en van de kering en door de toegepaste beheersregels. De sterkte van het systeem wordt bepaald door de mate waarin de waterkeringen bestand zijn tegen de belastingen.

Ten tijde van de aanleg van de stormvloedkering zijn in het kader van het project BARCON de veiligheid bepalende factoren en hun onderlinge samenhang vervat in een model, teneinde het mogelijk te maken diverse beheers-alternatieven te kunnen doorrekenen.

Gezien de korte duur van de evaluatieperiode is het niet mogelijk om louter op basis van waarnemingen te evalueren of het veiligheidssysteem aan de eisen voldoet. Vandaar dat opnieuw gekozen is om gebruik te maken van een model. Omdat er geen aanleiding is het door BARCON ontwikkelde veiligheidsmodel ter discussie te stellen, is bij de evaluatie dit model als uitgangspunt genomen. Vervolgens zijn aanpassingen gedaan. Om de voornaamste verschillen, in modelmatige aanpak, ten opzichte van BARCON wat duidelijker te maken wordt in het kader iets dieper op de modellen en hun onderlinge verschillen ingegaan. Voor een uitgebreide beschrijving van het model, de gehanteerde methodiek alsmede de berekeningsresultaten wordt naar de onderliggende literatuur verwezen (lit. 8).

belastingssituaties op het bekken (kans op peiloverschrijdingen en peil-duurcombinaties). Vermenigvuldiging van deze kansen op een bepaalde belasting met de relevante bezwijk-kansen levert tenslotte een schatting van de kans op overstroming.

Ten opzichte van de door BARCON gehanteerde methode betekent de RIEMANN/SIMPLIC methode toepassing van een nieuwe rekenmethodek waardoor verfijndere berekeningen ten aanzien van de belasting van de waterkeringen gemaakt kunnen worden. De door BARCON gehanteerde stormvloed statistiek, waarin vereenvoudigingen waren aangebracht i.v.m. het beperken van de hoeveelheid rekenwerk, is vervangen. In plaats hiervan zijn kansverdelingfuncties gebruikt van de componenten die een stormvloed bepalen. De statistische eigenschappen van deze componenten zijn voldoende nauwkeurig bekend. De opzet is verder gelijk aan de BARCON filosofie.

De belasting wordt ook hier weergegeven in de vorm van de kans dat een bepaalde waterstand gedurende een bepaalde periode optreedt, de zogenaamde peil-duur-combinaties. De sterkte wordt weergegeven door, voor ieder bezwijkmechanisme apart, een bezwijkkans te specificeren behorend bij een bepaalde peil-duur-combinatie.

Vermenigvuldiging van deze kansen geeft na sommatie de totale kans op bezwijken van de constructie volgens één bepaald bezwijkmechanisme.

De peil-duur-combinaties worden berekend met het RIEMANN/SIMPLIC model en zijn (zie BARCON filosofie) een functie van waterstanden Noordzee

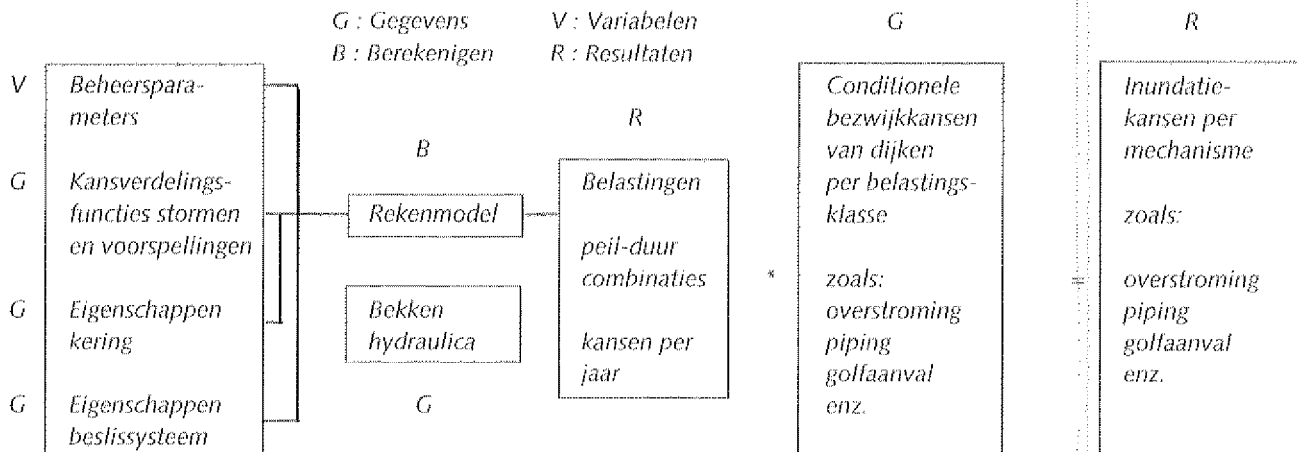
- eigenschappen stormvloedkering en beslissysteem
- beheersstrategie stormvloedkering
- bekkenhydraulica en wind boven het bekken

Hierbij kan de beheersstrategie worden gezien als een variabele (instelbaar) en de rest als gegeven.

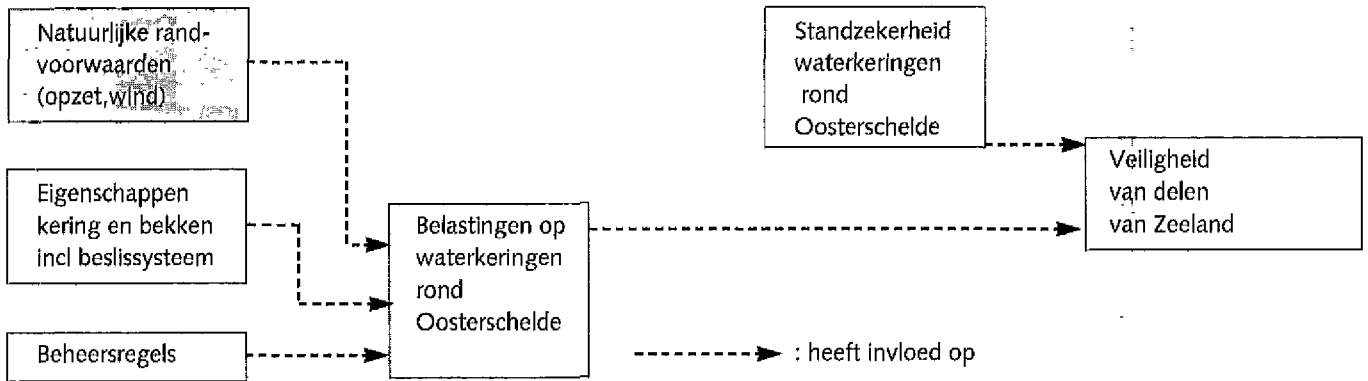
Met behulp van het RIEMANN/SIMPLIC model is het mogelijk binnen redelijke tijd een bepaalde beheersstrategie door te rekenen. Er kan dus worden afgeschat wat een bepaald beheer betekent voor de veiligheid.

Net als bij BARCON worden de hieruit gevonden belastingen op het bekken weer vermenigvuldigd met de conditonele faalkansen per mechanisme om uiteindelijk de inundatiekans per mechanisme te vinden.

Bepaling inundatiekans volgens Riemann methode



4.1 Natuurlijke (waterstands) randvoorwaarden op de Noordzee.



Vanwege de slechts korte waarnemingsperiode worden stormvloedgegevens op statistische wijze bepaald. Met behulp van deze nieuwe methode worden de bezwaren, welke kleven aan de in het BARCON project gehanteerde methode, ondervangen.

Voor het beheer van de stormvloedkering is het van essentieel belang te weten met welke kansen zeer hoge waterstanden optreden op de Noordzee en wat de duren van deze waterstandsverhogingen zijn.

In het project Barcon zijn de frequenties van hoogwaters bepaald aan de hand van historische gegevens (lokatie Burghsluis) en deze gegevens zijn vervolgens geëxtrapoleerd.

De op deze wijze verkregen frequentielijn is geschikt voor het bepalen van de sluitfrequentie van de kering. Voor het doorrekenen van de veiligheid van de achter de kering gelegen waterkeringen is deze lijn echter niet voldoende. Hiertoe dient ook de kans van voorkomen van meertopsstormen bekend te zijn. Deze zijn eveneens berekend uit historische gegevens, maar door het beperkte aantal gegevens is de berekening onnauwkeurig. Het BARCON rapport (lit. 2) stelt dan ook dat de gegeven conditionele kansen indicatief zijn.

Tijdens de evaluatie is daarom voor een andere methode gekozen. In het Riemann/Simplic model worden volgens een vastgelegde methodiek stormrandvoorwaarden gegenereerd uit parameters waarvan de statistische eigenschappen voldoende bekend zijn. Op deze wijze worden gegevens verkregen over een zeer groot frequentiebereik. De methode wordt apart in een kader beschreven.

Berekening stormrandvoorwaarden

Uitgangspunt vormt het gegeven dat de waterstanden in een estuarium als de Oosterschelde worden bepaald door een 8-tal parameters

1. windrichting
2. windduur
3. windsterkte
4. opzetduur
5. opzethoogte
6. astronomisch getij
7. faseverschil tussen windopzet en astronomisch getij
8. faseverschil tussen wind en windopzet

De opzetduur en opzethoogte bepalen samen met het astronomisch getij de waterstand op de Noordzee aan de rand van het estuarium (de zogenaamde buitenrandvoorwaarde). De windrichting, -duur en -sterkte zijn verantwoordelijk voor de schoofstand op het Oosterscheldebekken (het zogenaamde interne windeffect). Uit onderzoek is gebleken dat de genoemde 8 factoren niet onafhankelijk zijn. Uit waarnemingsmateriaal zijn relaties afgeleid tussen windsterkte en windduur, opzetduur en opzethoogte. Daarnaast is vastgesteld dat het voor de evaluatie van het veiligheidssysteem alleen interessant is situaties in beschouwing te nemen, waarbij de wind uit noordwestelijke richting waait. Bij andere windrichtingen is de kans op extreme situaties verwaarloosbaar. Verder is gebleken dat bij stormen het faseverschil tussen wind en windopzet ca. 6 uur bedraagt.

Door deze onderlinge afhankelijkheid kan het waterslandsverloop aan de buitenzijde van de kering en de wind boven het bekken worden afgeleid uit een 4-tal parameters. Het zijn dan ook

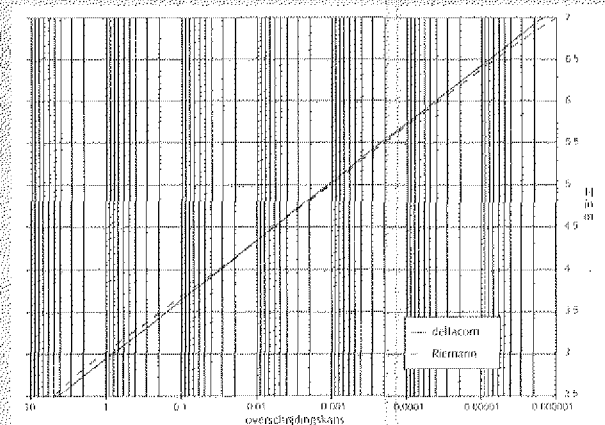
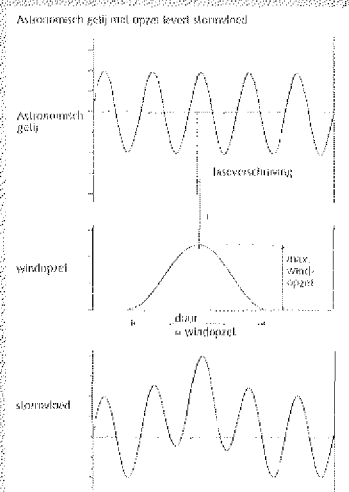
deze 4 parameters welke in het Riemann/Simplic model zijn opgenomen. De parameters zijn:

1. maximum windopzet
2. duur van de windopzet
3. astronomisch hoogwater
4. faseverschil tussen windopzet en astronomisch getij

Deze 4 parameters karakteriseren feitelijk een storm. Op basis van historisch materiaal kunnen voor de parameters kansverdelingen worden afgeleid. De kans van voorkomen van de storm ligt dan ook vast, deze is dan namelijk gelijk aan het produkt van de kansen van optreden van de parameters.

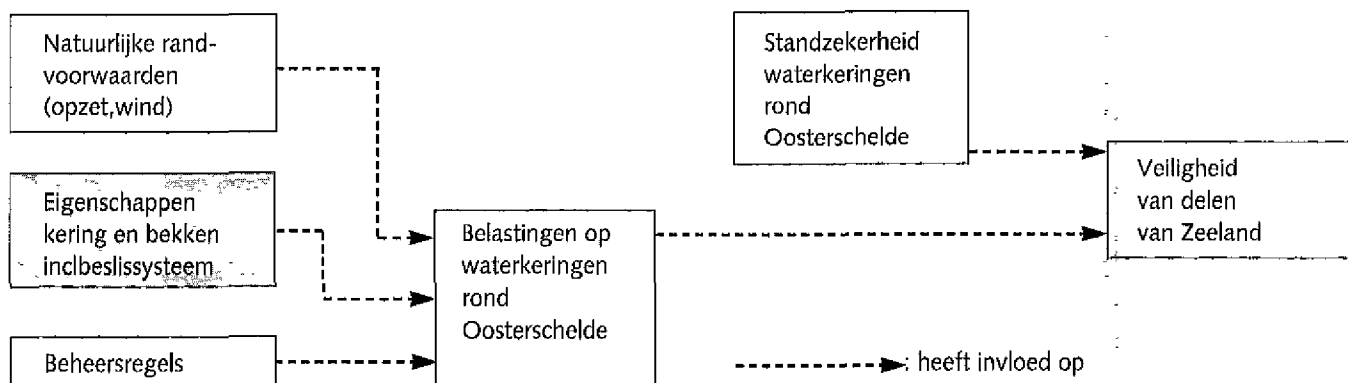
Ter controle van de gebruikte methode is een berekening uitgevoerd ter bepaling van de overschrijdingsfrequentielijn aan de buitenzijde van de kering (randvoorwaarde voor de vervolgberekeningen). De kansverdelingen van de parameters zijn ontleend hierbij ontleend aan lit. 6. Ter toetsing is de aldus verkregen lijn vergeleken met de overschrijdingsfrequentielijn, bijgesteld voor de Deltawerken, zoals die is opgesteld door de Deltacommissie. De kansverdelingen in lit. 6 zijn namelijk op hetzelfde historische materiaal gebaseerd en eveneens gecorrigeerd voor de Deltawerken. Het resultaat van de vergelijking is weergegeven in onderstaande grafiek. Frequenties voor peilen beneden NAP + 2.50 m zijn hierin niet aangegeven omdat de veiligheidsevaluatie zich richt op maatgevende situaties en gebruik van de kering, wat beneden het genoemde peil niet aan de orde is.

Tussen de beide lijnen bestaat grote overeenkomst, waaruit geconcludeerd mag worden dat met behulp van het model randvoorwaarden op een juiste wijze gegenereerd kunnen worden.



overschrijdingsfrequentielijn buitenzijde kering

4.2 Eigenschappen stormvloedkering, getijvoortplanting bekken en windeffect.



De getijdoordringing op het bekken is als gevolg van o.a. een grotere doorstroombekking groter als verwacht. Hierdoor liggen zowel het getijverschil als de hoogwaterstanden boven de prognose.

De gemeten scheefstand en de translatiegolf blijken met de prognose overeen te stemmen.

Door waarnemingen tijdens de evaluatie zijn inmiddels de hydraulische eigenschappen van de stormvloedkering en het bekken beter bekend. Dit geldt voor de situatie bij zowel geopende als gesloten kering.

Getijdoordringing bij geopende kering.

Maatgevend voor de getijdoordringing op het Oosterscheldebekken bij geopende stormvloedkering is het stroomvoerend oppervlak in de monding. Dit wordt aangeduid als effectieve doorstroombekking.

Door de bouw van de stormvloedkering is de doorstroombekking in de monding van de Oosterschelde verkleind. In de situatie voor de Deltawerken bedroeg het doorstroombekking ca. 80.000 m². Ten tijde van de BARCON studie

is als verwachtingswaarde na realisering van de stormvloedkering 16.650 m² gehanteerd. Uit metingen na het gereedkomen van de werken is gebleken dat de deze waarde te laag is. De effectieve doorstroombekking blijkt bij een peil van NAP uit te komen op ca. 17.550 m².

Door de vernauwing van het doorstroombekking ten opzichte van de oorspronkelijke situatie, dringt het getijd op de Noordzee minder door in het bekken en is het getijverschil afgenomen. Door de bouw van de compartimenteringsdammen is kombergend oppervlak verloren gegaan. Ook dit heeft tot gevolg dat er minder water door de mond van de Oosterschelde naar binnen en buiten stroomt. Het getijverschil echter neemt door de compartimentering toe; er komt weliswaar minder water naar binnen, maar het te vullen oppervlak is ook afgenomen.

De totale reductie van het getijdvolume in de mond van de Oosterschelde bedraagt ca. 30%. De reductie van het vertikaal getijd ligt tussen de 10 en 15%, behalve ter plaatse van de Philipsdam. Daar bedraagt de reductie ca. 20%.

lokatie	opgetreden waterstand	prognose [cm]	waterstand zonder werken
Binnenzijde kering	131	121	153
Zeelandbrug	150	-	168
Stavenisse	156	140	180
Philipsdam	163	143	204
Yerseke	179	163	204
Oesterdam	184	175	212

Een nadere beschouwing van de hydraulische effecten als gevolg van de aanleg van de Stormvloedkering en de

Compartimenteringsdammen is te vinden in het evaluatierapport getiteld "de effecten van de waterbouwkundige werken op het getijdemilieu van de Oosterschelde".

Het huidige getijverschil is iets groter dan op grond van de berekeningen in 1982 werd verwacht. Ook de hoogwaters liggen boven de prognoses, zoals blijkt uit de navolgende tabel. Voor de volledigheid is ook de hoogwaterstand vermeld welke zou zijn opgetreden indien de werken niet waren uitgevoerd.

In de Noordelijke tak kan een slingering in het getij optreden. Deze slingering is niet altijd aanwezig, maar is afhankelijk van de getijomstandigheden, zoals blijkt uit onderstaande figuren. De oorzaak is vermoedelijk gelegen in de lengte van de Noordelijke tak in verhouding tot de lengte van één van de golven waaruit het getij is opgebouwd. Bij zekere verhoudingen kan namelijk resonantie optreden.

Wind kan het water op het bekken opstuwen. Omdat de parameters welke verantwoordelijk zijn voor de opstuwing nauwelijks zijn veranderd, is de windinvloed bij geopende kering gelijk gebleven.

In een kader is aandacht besteed aan de getijd-oordringing bij geopende kering. Hiervoor is een situatie gekozen waarbij de waterstanden op de Noordzee net niet hoog genoeg zijn om de kering te sluiten; een situatie welke vanuit veiligheidsoogpunt interessant is. Deze situatie deed zich voor tijdens de februaristorm van 1990.

Waterstanden op het bekken bij gesloten kering.

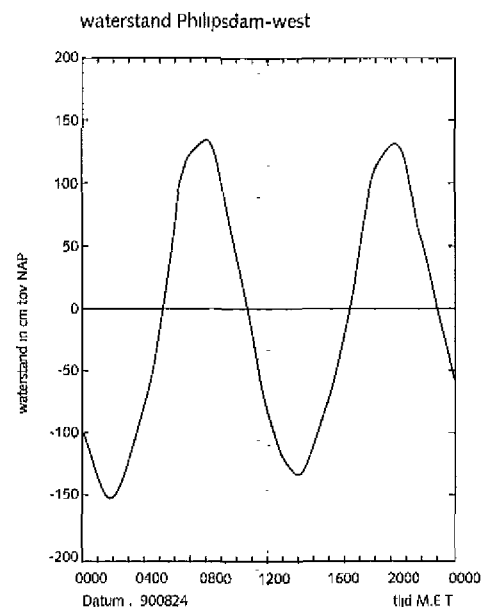
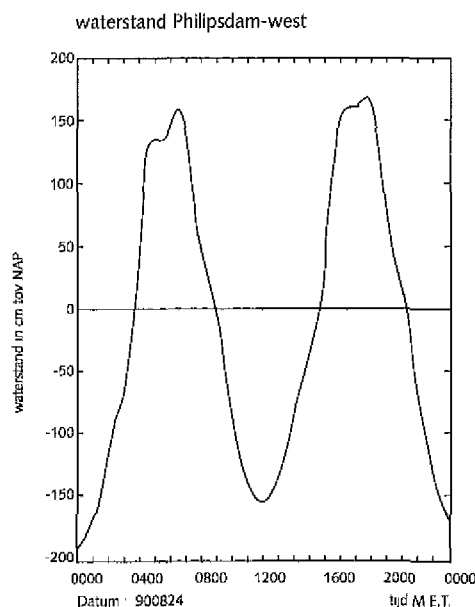
Bij stormvloed wordt de kering gesloten. Hierbij worden de 62 schuiven neergelaten in stromend water. Dit veroorzaakt een translatiegolf. De hoogte van deze golf is afhankelijk van het tijdstip van sluiten ten opzicht van het tijdstip van maximum stroom. Als het hard stroomt zal de invloed van het neerlaten van de schuiven sterker merkbaar zijn als bij lage stroomsnelheden. De invloed is minimaal als de waterstand aan beide zijden van de kering gelijk is ; er is dan immers geen stroming.

Tijdens sluitingen gemeten translatiegolven liggen binnen de voorspellingen. De orde van grootte bedraagt enige decimeters tot ca. 1 m. Bij gesloten kering komt er alleen nog water het bekken op door het 'lekker' van de kering. De schattingen voor de lekopening varieerden van 1300 tot 2300 m², met als meest waarschijnlijke waarde 1800 m². Inmiddels is de kering enige malen gesloten geweest. Waterstandswaarnemingen tijdens deze sluitingen, alsmede modelberekeningen zijn gebruikt om de lekopening te bepalen. De nieuwe schatting komt lager uit op ca. 1250 m².

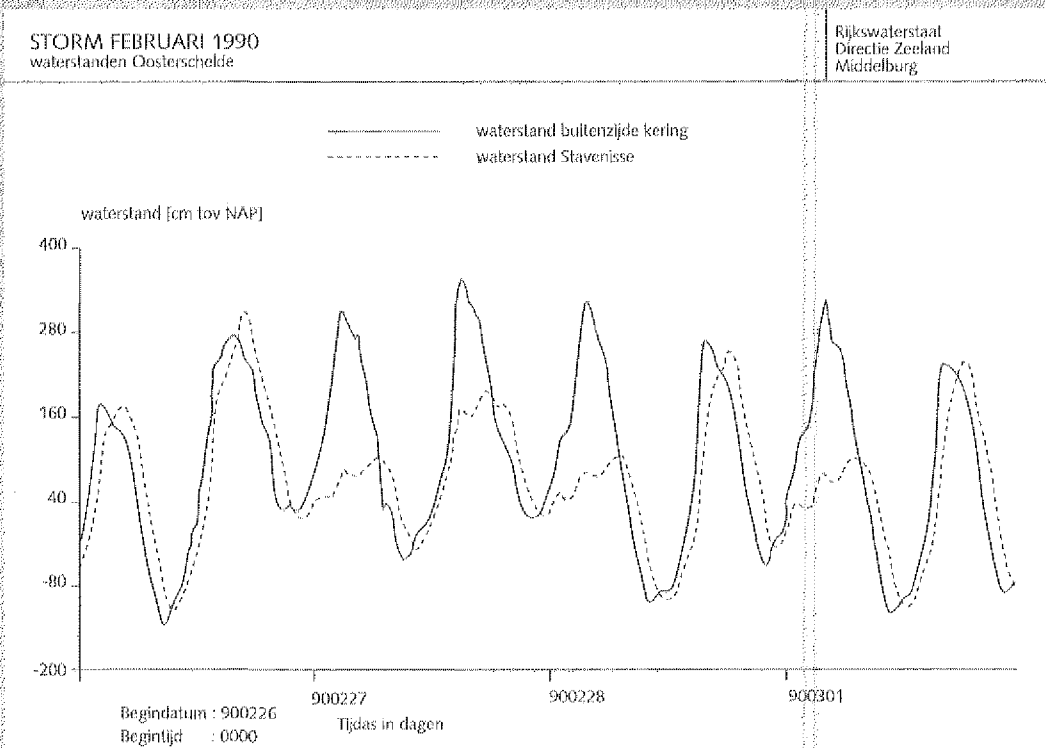
Door het 'lekker' van de kering loopt de waterstand op het bekken, zolang de waterstand buiten hoger is als aan de binnenzijde, geleidelijk op.

Door de wind gaat bij gesloten kering het water op het bekken scheef staan. Door het optreden van de translatiegolf is de scheefstand lastig te meten en geeft een momentane waarde weinig informatie. Om deze reden is de scheefstand gedefinieerd als het verschil in gemiddelde stagnante waterstand nabij de Philipsdam- of Oesterdam en aan de binnenzijde van de Oosterscheldekering. Het optredende windeffect is uiteraard afhankelijk van windsterkte en -windrichting. Tijdens de februaristorm 1990 kwam de wind uit WNW en had een sterkte van 8 - 9 Bft. Het tijdens die storm bij gesloten kering gemeten windeffect bedraagt enkele decimeters.

Voor een illustratie van de waterstanden op het bekken bij gesloten kering wordt verwezen naar het kader in hoofdstuk 3 waarin de februaristorm 1990 wordt besproken.

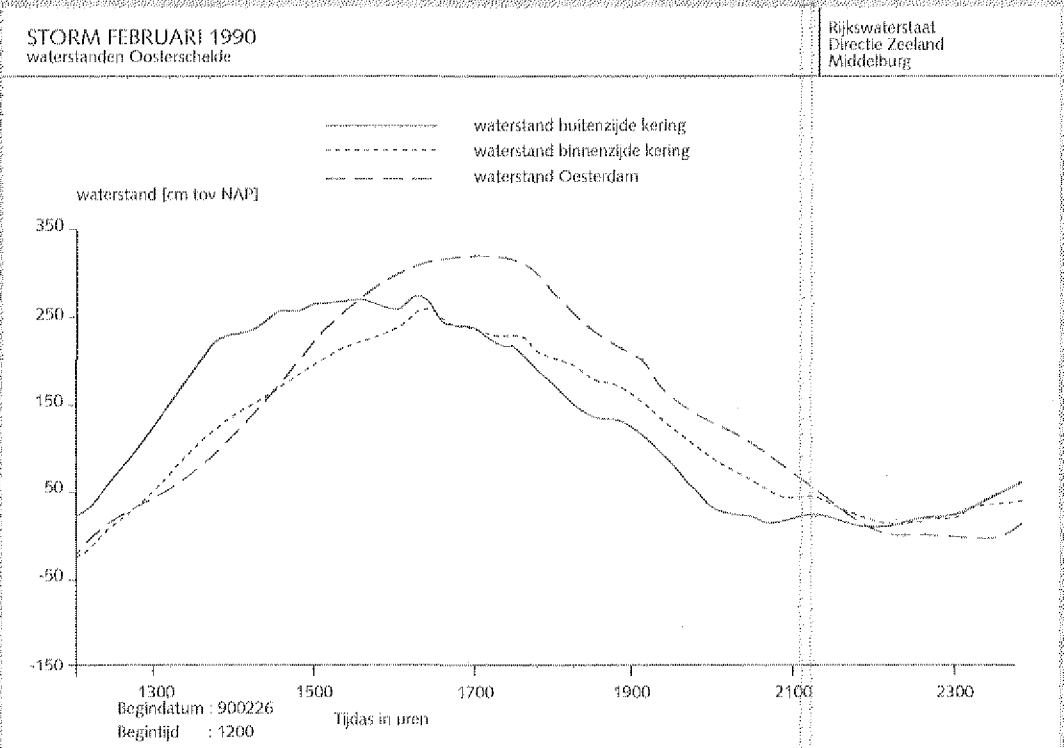


Februaristorm 1990

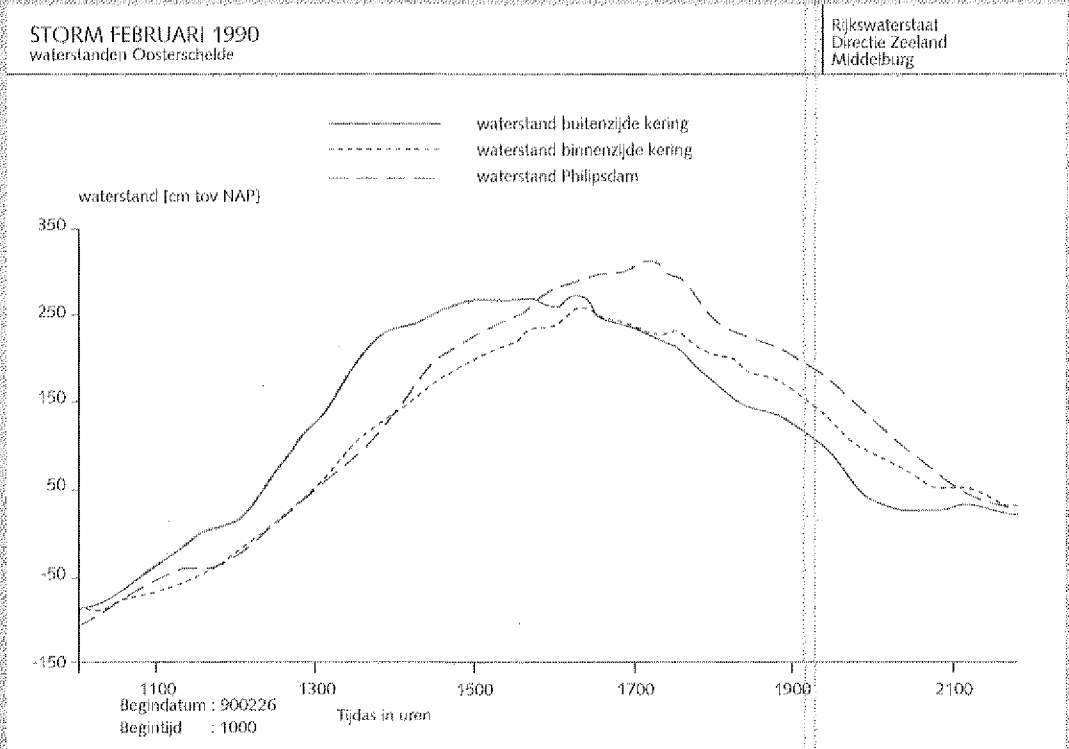


De hoogwatertop voorafgaand aan de eerste sluiting van de kering bereikt nog geen NAP + 3,00 m. De kering bleef dan ook open en het getij kon vrij doordringen op de Oosterschelde. In de hiernaast gegeven figuren is het waterstandsverloop op het bekken tijdens die hoogwatertop gegeven. Hieruit blijkt dat het hoogwater aan de binnenzijde van de kering ca. 12 cm lager komt als aan de buitenzijde van de kering. Het verval over de kering bedraagt maximaal ca. 106 cm.

Dit verval neemt toe naarmate de waterstand aan de buitenzijde hoger komt. Vanaf de binnenzijde van de kering neemt de waterstand weer toe. Onder normale getijomstandigheden komt het water bij de Oosterdam ca. 50 cm hoger als aan de binnenzijde van de kering. Bij de Philipsdam bedraagt dit verschil ca. 30 cm. Bij de gegeven hoogwater top bedragen de verschillen 72 respectievelijk 53 cm, ongeveer 20 cm hoger dus als onder gemiddelde getijomstandigheden.

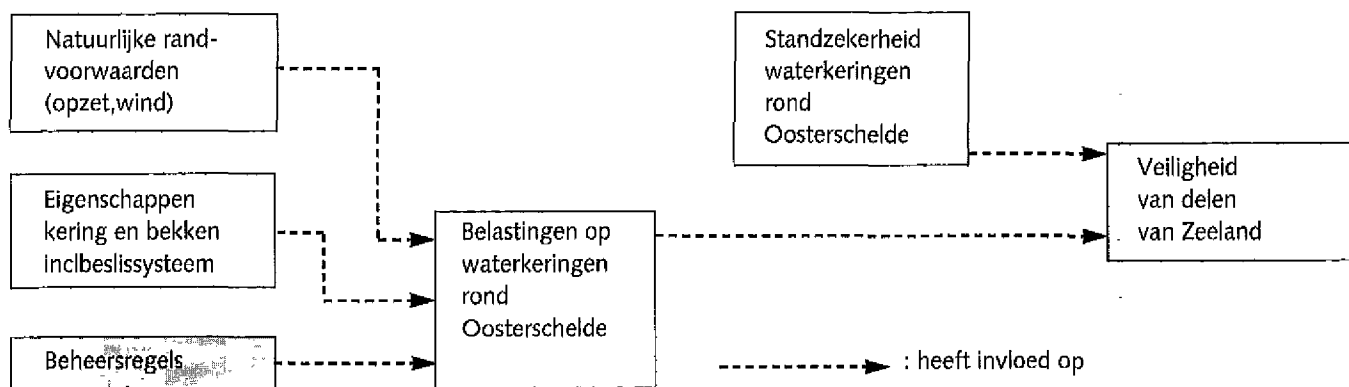


Waterstandsverloop bij open kering; vergelijk t.o.v. Oesterdam



Waterstandsverloop bij open kering; vergelijk t.o.v. Philipsdam

4.3 Beheersstrategie stormvloedkering.



De beheersstrategie is er op gericht te sluiten op basis van voorspelde waterstanden. Daarnaast blijft uit faalkansoverwegingen tevens een automatische noodsluitvoorziening noodzakelijk.

Zoals in hoofdstuk 1 reeds is genoemd zijn er twee wijzen waarop de kring voor een naderende stormvloed kan worden gesloten nl.:

- een oproepbaar bemanningssysteem van de kring waarbij op grond van voorspellingen van waterstanden een bemanning van de kring opgeroepen wordt en vervolgens op basis van vastgestelde regelingen een beslissing neemt of de kring gesloten moet worden.
- een automatisch noodsluitsysteem dat de kring zonder menselijke tussenkomst sluit als de waterstand aan de buitenzijde van de kring het noodsluitpeil daadwerkelijk overschrijdt

De beheersstrategie is er op gericht de kring te sluiten op basis van voorspelde waterstanden.

Sluiting van de kring op basis van voorspelde waterstanden dient plaats te vinden indien de verwachte waterstand ten tijde van het eerstkomende hoogwater hoger is dan de maatgevende peilverwachting. Hiertoe is gekozen omdat het alleen met deze wijze van sluiten in principe mogelijk is om eenduidige, gewenste, bekkenpeilen te verkrijgen. Gewenst vanuit het oogpunt van veiligheid en vanuit het streven de effecten van het sluiten van de kring op de functies van de Oosterschelde zo minimaal mogelijk te doen zijn.

Bij het sluiten op basis van voorspelde waterstanden wordt het juiste moment van sluiten bepaald aan de hand van berekeningen met een één dimensionaal waterbewegingsmodel

(IMPLIC). Dit model wordt gevoed met het verwachte waterstandsverloop aan de buitenzijde van de kring. Aan de hand van hydraulische gegevens van het bekken en de kring zelf en gegeven een sluitstrategie berekend het model het verloop van de waterstand op het bekken. Door verschillende varianten door te rekenen kan het juiste tijdstip van sluiting, waarbij de resulterende binnenwaterstand het gewenste streefpeil is, bepaald worden. Bij ieder van deze rekenvarianten wordt tevens bepaald wat de te verwachten belasting van de waterkeringen rondom het bekken zal zijn. Hierbij wordt rekening gehouden met de actuele situatie van de kring (bedienbaarheid schuiven, eventueel eerder onstane schade aan glooiingen ed.).

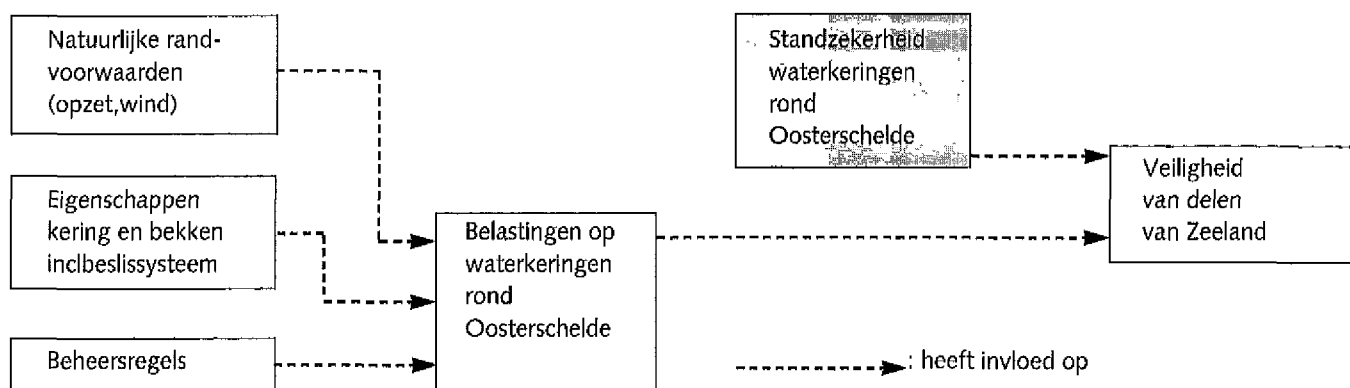
Als, om welke reden dan ook, gesloten wordt met behulp van de noodsluitautomaat is het uiteindelijke binnenpeil niet eenduidig, maar wordt bepaald door o.a. stijgsnelheid van de buitenwaterstand en de mate waarin het bekken reeds gevuld was.

Uiteindelijk resulteert automatisch sluiten altijd in hogere binnenpeilen (ca NAP +3,00m in het centrum van het bekken). Bij sluitingen van korte duur zijn deze hogere binnenpeilen geen bedreiging voor de veiligheid op het Oosterscheldebekken. Indien echter na de eerste sluiting een tweede hoogwatertop volgt waarvoor gesloten dient te worden, is de kans aanwezig dat ten gevolge van een verhoogd laagwater de kring tussentijds niet meer, of slechts zeer kort, geopend kan worden. Dit kan een lange stagnantie op een hoog peil tot gevolg hebben, hetgeen ongewenst is.

Hoewel het 'handmatig' sluiten op basis van voorspelde waterstanden dus veruit de voorkeur verdient blijft het uit faalkansoverwegingen

echter noodzakelijk om ook te beschikken over een automatisch noodsluitsysteem. Dit gezien de onzekerheden van voorspellingen, het soms ontbreken van voorspellingen, het mogelijk falen van het oproep- of bemanningsproces e.d.

4.4 Standzekerheid waterkeringen.



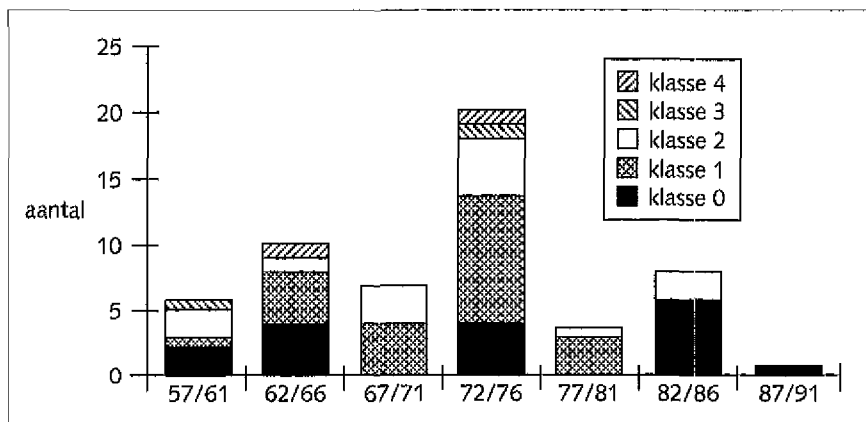
Uit onderzoek naar de bezwijkmechanismen binnendijkse stabiliteit en piping is vast komen te staan dat de BARCON berekeningen als juist tot in geringe mate conservatief kunnen worden beschouwd.

Waterkeringen kunnen op verschillende manieren bezwijken. De verschillende bezwijkmechanismen zijn beschreven in hoofdstuk 2. Naar een aantal bezwijkmechanismen is tijdens de evaluatieperiode onderzoek gedaan of zijn waarnemingen verricht. Het betreffen : buitendijkse stabiliteit, binnendijkse stabiliteit en piping. Naar bezwijken door golven is niet gekeken, dit mechanisme is in het verleden al uitgebreid onderzocht.

Buitendijkse stabiliteit.

In de regels voor het gebruik van de kering is een voorschrift opgenomen dat na een langdurige sluiting van de kering op een hoog peil deze geleidelijk wordt geopend zodat een snelle daling van de waterstand op het bekken wordt voorkomen. Dit om te voorkomen dat de waterspanning onder het buitenbeloop van de dijken tot ontoelaatbaar hoge waarden zal oplopen. Gedurende de evaluatieperiode is getracht te toetsen of de opgezette beheersregels voldoen, onder meer door inventarisatie van valgevoelige oevers. Hiertoe is een overzicht gemaakt waarin het aantal vallen in de periode 1957 tot heden wordt weergegeven, onderverdeeld in hoeveelheden betrokken materiaal:

klasse 0: uitgetreden bodemmateriaal	onbekend
klasse 1: uitgetreden bodemmateriaal	< 100.000 m ³
klasse 2: uitgetreden bodemmateriaal	100.000 - 500.000 m ³
klasse 3: uitgetreden bodemmateriaal	500.000 - 1000.000 m ³
klasse 4: uitgetreden bodemmateriaal	> 1000.000 m ³



Uit het diagram blijkt, dat per periode van 5 jaar steeds 6 tot 10 vallen plaatsvonden, met als duidelijke uitschieter de periode 1972 tot 1976 waarin ondermeer het Volkerak werd afgesloten en door de ontstane stroom- snelheden waarschijnlijk het aantal vallen sterk toenam. In deze periode zijn daarna veel oeverbestortingen uitgevoerd. In de daarop volgende periodes komen in het Oosterscheldegebied in orde van grootte weer dezelfde aantallen voor als daarvoor. In de laatste periode, 1987/1991, vond tot op heden, de periode is bij het schrijven van dit rapport nog niet afgerond, één oeverval plaats en wel in 1988.

Op grond van het geïnventariseerde cijfermateriaal kunnen nog geen harde conclusies worden getrokken. Eerst na een langere periode kan geconstateerd worden of na het gereedkomen van de kering de valfrequentie zich handhaaft dan wel wijzigt.

Binnendijkse stabiliteit en piping.

Een grondmechanisch onderzoek is ingesteld naar de stabiliteit, bij stagnante waterstanden, van enkele dijkprofielen langs het Oosterscheldebekken.

De eerste doelstelling van het onderzoek was te evalueren of op basis van de huidige mogelijkheden inzake de bepaling van waterspanningen, de resultaten van de destijds, in het kader van Barcon, uitgevoerde studie nog als juist kunnen worden gekwalificeerd. Bovendien is nagegaan of de indertijd geschematiseerde grondslag overeenkomt met de grondopbouw volgens het nieuw uitgevoerde grondonderzoek.

Uitsluitend die mechanismen, c.q. belastingen zijn geëvalueerd waarvan gedurende de evaluatieperiode de proceskennis is toegenomen. De reden dat in deze evaluatie, ook voor de huidige situatie, nog steeds wordt gesproken over voorspellingen is daarin gelegen dat er ook nu nog geen ervaring is met de gevolgen op geotechnisch gebied van het operationeel zijn van de stormvloedkering onder extreme omstandigheden.

Het is zelfs twijfelachtig of ervaring met extreme situaties zal worden opgedaan, omdat bij het beheer van de kering deze situaties zo mogelijk vermeden worden.

Het onderzoek geeft aan dat de voorspellingen voor de waterspanningen, zoals die indertijd zijn berekend of hoger zijn dan, of gelijk zijn aan de nu berekende waterspanningen. Dit betekent dat de Barcon berekeningen in de huidige situatie moeten worden beoordeeld als juist tot in geringe mate conservatief.

Omdat de optredende waterspanning van invloed is op zowel de kans op piping als op de stabiliteit tegen afschuiven van de dijk is tevens de invloed hierop nagegaan, omdat er ook op dit gebied een aantal (soms zeer recente) kennisontwikkelingen hebben plaatsgevonden. Uit het onderzoek naar de gevoeligheid voor piping voor de onderzochte profielen mag worden geconcludeerd dat er geen gevaar is voor het optreden van piping (zandmeevoerende wellen) in een zodanige vorm dat de waterkerende functie van de dijk in het geding komt.

Voor een nadere beschouwing van de mechanismen zie Lit. 11.

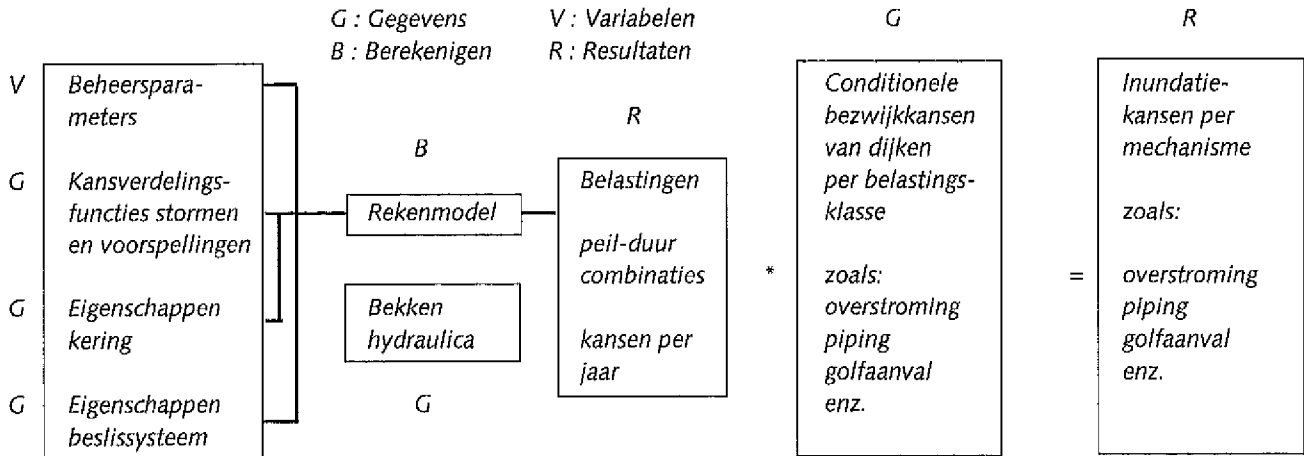
4.5 Toekomstige ontwikkelingen.

Vanwege de onzekerheden met betrekking tot zeespiegelstijging is dit niet in de berekeningen meegenomen. Volstaan wordt met de mededeling dat dit een stijging van de sluitfrequentie van de kering tot gevolg kan hebben.

Een belangrijke verandering welke zich in de toekomst kan gaan voltrekken is een versnelde zeespiegelstijging. De huidige relatieve² stijging van de zeespiegel bedraagt ongeveer 20 cm/eeuw. Door menselijk handelen is het gehalte aan CO₂ en diverse andere sporegassen in de lucht stijgende. De verwachting is dat het klimaat hierdoor zal veranderen. Met name wordt een verhoging in de gemiddelde temperatuur verwacht. Dit zal zich naar alle waarschijnlijkheid o.a. vertalen in een toename van de zeespiegelstijging. Het is van belang te realiseren dat kennis omtrent de versnelde zeespiegelstijging beperkt is: systematisch onderzoek is nog maar kort geleden opgestart. Naast een stijging van de waterspiegel zal ook de morfologie van de Oosterschelde en Voordelta worden beïnvloed en een klimaatsverandering beïnvloedt mogelijk ook de windkracht en -richting en dus het golfklimaat. De samenhang tussen al deze aspecten en de effecten op het beheer van de stormvloedkering zijn onbekend. Om deze reden is het aspect van de versnelde zeespiegelstijging in dit rapport nog niet meegenomen. In de toekomst zal er, in de Wet op de Waterkering, automatisch op worden teruggekomen. Hier wordt volstaan met de opmerking dat er rekening mee dient te worden gehouden dat de stormvloedkering wellicht geleidelijk aan vaker gesloten zal moeten worden.

2) een stijging van de zeespiegel wordt veroorzaakt door een aantal factoren waar in dit kader niet verder op ingegaan wordt, bodemdaling speelt hierin een belangrijke rol, vandaar de toevoeging 'relatieve'

Bepaling inundatiekans volgens Riemann methode



5. Veiligheidsanalyse.

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de berekeningen met het veiligheidsmodel gepresenteerd. Het model is in schema afgedrukt op de linkerpagina en besproken in hoofdstuk 4. Voordat achtereenvolgens worden besproken de kans op stormvloeden, de sluitfrequentie van de kering, de veiligheid van de waterkeringen en de binnenpeilstrategie in relatie tot de veiligheid, is een korte verantwoording op zijn plaats.

De verantwoording beperkt zich tot de gebruikte buitenrandvoorwaarde, dat wil zeggen de kans op hoge waterstanden op de Noordzee; voor een uitgebreide beschrijving van de gehanteerde uitgangspunten en berekeningsresultaten wordt verwezen naar onderliggende rapporten.

Voor de veiligheidsberekeningen van de waterkeringen rond de Oosterschelde is uitgegaan van de gecorrigeerde lijn van de Deltacommissie.

De lijn van de Deltacommissie is gebaseerd op historische stormen en gecorrigeerd voor de invloed van een afgesloten Oosterschelde. Deze correctie is toegepast omdat een afgesloten Oosterschelde een extra verhoging geeft van de waterstanden ten gevolge van opstuwing. Dit betekent dat bij de veiligheidsberekeningen een veilige benadering is gebruikt. De extra verhoging treedt immers pas op bij een volledig gesloten kering.

Uit een gevoeligheidsonderzoek is overigens gebleken dat de binnenpeilen in het interessante frequentiegebied betrekkelijk ongevoelig reageren op de keuze van de buitenrandvoorwaarde.

Voor de bepaling van de sluitfrequentie van de kering is op de lijn van de Deltacommissie geen correctie voor een afgesloten Oosterschelde toegepast. Het besluit tot sluiten wordt immers genomen op basis van waterstanden bij een geopende kering. Op dat moment is er dus nog geen sprake van een extra verhoging. Om deze reden is uitgegaan van buitenrandvoorwaarden, welke niet zijn gecorrigeerd voor een afgesloten Oosterschelde.

5.1 Stormvloeden.

Uit de nieuwe berekeningen blijkt dat de prognose ten aanzien van het optreden van stormvloeden nauwelijks wijzigt. Wel neemt de kans dat een stormvloed uit meerdere hoogwatertoppen bestaat aanzienlijk toe.

Met het model is berekend wat de kans is dat gedurende een storm één of meer hoogwatertoppen een bepaald peil overschrijden, de overschrijdingsfrequentie van één, twee- en drietopsstormvloeden. De overschrijdingsfrequenties van waterstanden aan de buitenzijde van de kering bepalen in hoge mate het aantal malen dat de kering zal moeten worden gesloten voor een dreigende stormvloed. Daarnaast geeft de frequentie van voorkomen van meertopsstormvloeden een indicatie omtrent het aantal stormvloeden waarin voor meerdere opeenvolgende hoogwatertoppen gesloten dient te worden. In onderstaande tabel zijn ook de gegevens vermeld uit de Barcon studie.

Storm met minimaal	Peil	Overschrijdingsfrequentie per jaar	
		Barcon	Riemann
1 hoogwatertop	2,75	1,0	1,2
	3,00	0,35	0,49
	3,25	0,15	0,20
	3,50	0,06	0,086
2 hoogwatertoppen	2,75	0,15	0,43
	3,00	0,03	0,16
	3,25	0,01	0,049
	3,50	0,003	0,019
3 hoogwatertoppen	2,75	0,01	0,068
	3,00	0,001	0,018
	3,25	0,0001	0,0066
	3,50	0,00001	0,0017

De voorspellingen ten aanzien van 2 of 3 hoogwatertoppen (meertopsstormen) vertonen aanzienlijke verschillen. Dit verschil wordt veroorzaakt door een, ten opzichte van de BARCON studie, gewijzigde methode voor de bepaling van de kans op meertoppers, zoals al in par. 4.1 is aangegeven. De consequenties van de verwachting dat meertopstormen vaker zullen optreden worden in de volgende paragrafen behandeld.

5.2 Sluitfrequentie kering.

De prognose ten aanzien van het aantal malen dat de kering dient te worden ingezet tegen stormvloeden verandert nauwelijks. Wel is de verwachting dat tijdens een stormvloed de schuiven vaker gesloten moeten worden.

De theoretische sluitfrequentie³ van de kering wordt naast het voorkomen van stormvloeden bepaald door de keuze van de sluitpeilen (Maatgevende Peilverwachting en Noodsluitpeil) en de nauwkeurigheid waarmee de hoogwaters optredend tijdens een stormvloed kunnen worden voorspeld.

In onderstaande tabel is per combinatie van sluitpeilen weergegeven wat de berekende sluitfrequentie (in aantal keren per jaar) is. Hierbij is gevarieerd tussen grenzen van NAP +2,75m tot NAP +3,50m. Deze grenzen, dezelfde als destijds in het BARCON project gehanteerd, worden ingegeven door twee redenen. Ten eerste mag de waterstand op het bekken geen ontoelaatbare hoogte bereiken. Ten tweede is er de wens om, vanuit milieuoogpunt, de sluitfrequentie van de kering zo laag mogelijk te houden. De prognoses wijken nauwelijks af van de sluitfrequenties zoals gepresenteerd in de BARCON studie. Dit was te verwachten, want de prognoses ten aanzien van het aantal

stormvloeden komen overeen; verschillen met de resultaten van de Barcon studie treden pas op in de verwachtingen ten aanzien van het tijdens een stormvloed optredende aantal hoogwatertoppen (zie tabel par. 5.1). Behalve een theoretische benadering van de sluitfrequentie kan ook gedacht worden de sluitfrequentie te bepalen aan de hand van de gerealiseerde sluitingen. Om op basis hiervan echter een statistisch verantwoorde uitspraak te doen omtrent de sluitfrequentie bij de huidige peilcombinatie is niet mogelijk. De evaluatieperiode is hiervoor veel te kort. De voorlopig beschikbare gegevens, bij een Maatgevende peilverwachting en een Noodsluitpeil van NAP + 3,00 m., wijzen in de richting van ca. 1 keer per jaar.

5.3 Veiligheid waterkeringen

Als gevolg van de sterkere getijdoordringing op het bekken én als gevolg van de verwachting dat een stormvloed uit meer hoogwatertoppen zal bestaan dan in het verleden is aangenomen, is de keuze van Maatgevende Peil Verwachting en Noodsluitpeil beperkt. Hogere waarden dan NAP +3,00 m voor één of beide leiden tot overschrijding van het veiligheids criterium.

Om inzicht te krijgen welke invloed de keuze van de Maatgevende Peil Verwachting en het Noodsluitpeil heeft op de veiligheid zijn zeven peilcombinaties, dezelfde als in par. 5.2, door-gerekend. Bij alle peil-combinaties is voor het binnenpeil uitgegaan van de 1-2-1 wissel-strategie. Welk effect een andere binnenpeil-strategie heeft op de veiligheid komt in de volgende paragraaf aan de orde. De keuze van de range van pellen welke is door-gerekend is overeenkomstig aan die van de BARCON studie.

MPV in m. + NAP *	2,75	2,75	3,00	3,00	3,25	3,25	3,50
Noodsluitpeil in m. +NAP	2,75	3,00	3,00	3,25	3,25	3,50	3,50
sluitfrequentie per jaar	1 à 2 keer per jaar		1 x per 1 à 1,5 jaar		1 x per 3 à 4 jaar		ca. 1x per per 7 jaar
* MPV = Maatgevende Peilverwachting							

3) nogmaals wordt erop gewezen dat wanneer er in dit rapport gesproken wordt over de sluitfrequentie van de kering bedoeld wordt het aantal stormen waarvoor de kering gesloten wordt. Hierbij moet worden bedacht dat tijdens een storm voor meerdere hoogwatertoppen gesloten kan worden

De ondergrens hiervan wordt ingegeven door de sluitfrequentie. Lagere sluitpeilen leiden tot hoge sluitfrequenties en lange stagnantieduren waaraan vanuit veiligheidsoogpunt geen voordelen zijn verbonden, terwijl een hoge sluitfrequentie nadelen biedt t.a.v. het milieu. Hogere sluitpeilen leidden al tijdens het BARCON onderzoek tot ontoelaatbaar hoge kansen op overstroming.

Binnen deze afgebakende range van peilen leidt, zoals ook al in de Barcon studie is geconstateerd, het alleen automatisch sluiten op basis van gemeten waterstanden in alle gevallen tot ontoelaatbare overstromingskansen. Hieraan wordt dan ook verder geen aandacht besteed. Bij de interpretatie van de uitkomsten van de berekeningen is onderscheid gemaakt tussen reeds bestaande en nieuwe waterkeringen. Onder nieuwe waterkeringen wordt in dit verband verstaan de recentelijk ontworpen waterkeringen waarbij bij het ontwerp is uitgegaan van de aanwezigheid van een stormvloedkering in de mond van de Oosterschelde.

Bestaande waterkeringen.

Voor waterkeringen welke reeds bestonden voor de aanleg van de stormvloedkering is bepaald:

1. hoe groot de kans is dat (een deel van) de waterkeringen rondom de Oosterschelde aan een bepaalde belasting wordt blootgesteld. Deze belasting wordt gekarakteriseerd door de te keren hoogwaterstand en de daarbij behorende tijdsduur dat deze belasting optreedt (peil-duur combinatie). De kans van optreden van waterstanden/belastings-situaties is hierbij rechtstreeks afhankelijk van de gekozen beheersstrategie en de gekozen peilen (Maatgevende Peilverwachting en Noodsluitpeil).
2. hoe groot de kans is dat een onderdeel van deze waterkeringen, volgens een bepaald bezwijkmechanisme, als gevolg van die belasting bezwijkt.

Combinatie van deze beide kansen levert uiteindelijk de overstromingskansen voor een bepaald deelgebied door het optreden van een bezwijkmechanisme. Deze kans is vervolgens getoetst. Voor deze toets is het veiligheids criterium gebruikt zoals in de BARCON studie is afgeleid uit het criterium van de Deltacommissie, ofwel : de kans op inundatie dient kleiner te zijn dan $2,5 * 10^{-5}$, (zie par. 2.1.).

De bezwijkmechanismen overstroming/overslag en onvoldoende buitendijkse stabiliteit zijn niet maatgevend.

De kans op overstroming/overslag is niet maatgevend omdat het ontwerp van de bestaande waterkeringen is gebaseerd op de situatie zonder kering, zodat rekening is gehouden met veel hogere waterstanden dan in de huidige situatie zullen optreden. Dit blijkt uit de ontwerppeilen, deze variëren van NAP +4.30 m voorin het bekken tot NAP +5.40 m achterin het bekken.

Onvoldoende stabiliteit van het buitentalud wordt voorkomen doordat in de beheersregels van de kering is opgenomen dat na langdurig sluiten van de kering deze geleidelijk wordt geopend om een snelle daling van de waterstand te voorkomen.

Waar bij het ontwerp van de bestaande waterkeringen echter geen rekening mee is gehouden zijn stagnante waterstanden. Als belangrijke bezwijkmechanismen blijven derhalve over : golfaanval, binnendijkse stabiliteit en piping.

Als gekeken wordt naar het bezwijkmechanisme golfaanval kan worden geconcludeerd dat voor alle berekende combinaties van Maatgevende Peilverwachting en Noodsluitpeil voldaan wordt aan het veiligheids-criterium. Dit is verklaarbaar door het feit dat de gloolingen inmiddels zodanig zijn aangepast dat de door Barcon voorgestelde strategieën zonder beperkingen uitvoerbaar zijn.

Bij de mechanismen binnendijkse stabiliteit en piping blijkt een gevoeligheid voor het al dan niet aanbrengen van een verschil in peil tussen Maatgevende Peilverwachting en Noodsluitpeil. Dit wordt veroorzaakt door de frequentie van voorkomen van noodsluitingen, waardoor, weliswaar korte, stagnanties op een relatief hoog peil worden veroorzaakt. Indien minder noodsluitingen voorkomen (verschil tussen Maatgevende Peil-verwachting en Noodsluitpeil) neemt de overstromingskans via deze mechanismen af. Het veiligheids criterium wordt overigens slechts bij de hoogste keuze van Maatgevende Peilverwachting en Noodsluitpeil (NAP +3.50 m) overschreden.

Nieuw aangelegde waterkeringen.

De veiligheid van de nieuwe waterkeringen is op een andere manier getoetst. Er is nagegaan welke waterstand optreedt met een overschrijdingsfrequentie van $2,5 * 10^{-4}$. Vervolgens is getoetst of deze waterstand, welke volgens de nieuwe berekeningsmethode hoger is dan vroeger, beneden het ontwerppeil blijft van de betreffende waterkering. Er is dus niet getoetst op de kans op bezwijken ten gevolge een bezwijkmechanisme.

Aangenomen is dat bij het bereiken van het ontwerppeil de waterkeringen nog voldoende reststerkte bezitten om aan het veiligheids criterium $2,5 * 10^{-5}$ te voldoen. Deze aanname is redelijk omdat de nieuwe waterkeringen recentelijk zijn ontworpen, met de wetenschap dat er gedurende lange tijd stagnante waterstanden kunnen optreden. De toets of de waterstanden ook daadwerkelijk beneden het ontwerppeil blijven is derhalve voldoende.

Resultaten berekeningen (zie ook kader veiligheid nieuwe waterkeringen):

Compartimenteringsdammen.

De ontwerpwaterstand toegepast bij de aanleg van de compartimenterings- werken bedraagt NAP +4,00 m. Alleen combinaties van Maatgevende Peil Verwachting en Noodsluitpeil

Goesse Sas.

Het ontwerppeil voor het Goesse Sas is overeenkomstig dat van het Kanaal van Zuid-Beveland. Ook de uitkomsten ten aanzien van de veiligheidsbeschouwing zijn overeenkomstig.

Totaalresultaten.

In navolgende tabel zijn de totaalresultaten van de veiligheidsanalyse samengevat.

Uit de tabel blijkt dat vanuit veiligheidsoogpunt alleen combinaties van Maatgevende Peil Verwachting en Noodsluitpeil mogelijk zijn lager dan of gelijk aan NAP + 3,00m. De verhoging van de Maatgevende Peil Verwachting naar NAP +3,25 m, zoals voorgesteld ten tijde van de BARCON studie blijkt dan ook niet meer mogelijk.

Maatgevende Peil Verwachting	2,75	2,75	3,00	3,00	3,25	3,25	3,50
Noodsluitpeil	2,75	3,00	3,00	3,25	3,25	3,50	3,50
Overstromingscriterium nieuw aangelegde waterkeringen	+	+	+	-	-	-	-
Bezwijkcriteria bestaande waterkeringen	+	+	+	+	+	+	-
Totaal beoordeling	+	+	+	-	-	-	-
+ = overstromingskans lager of gelijk aan veiligheids criterium - = overstromingskans te groot							

waarbij bij een overschrijdingsfrequentie van $2,5 * 10^{-4}$ een waterstand optreedt van NAP +4,00 m. of lager voldoen aan de eisen. Zoals ook in de frequentielijnen te zien is blijkt dit het geval indien zowel de Maatgevende Peil Verwachting als het Noodsluitpeil maximaal gelijk is aan NAP +3,00 m.

Kanaal Zuid-Beveland.

Voor het ontwerp van de kanaaldijken langs het Kanaal van Zuid-Beveland is uitgegaan van een ontwerpwaterstand van NAP +3,50 m. te Wemeldinge.

Uit de overschrijdingsfrequentielijnen valt af te leiden dat bij een overschrijdingsfrequentie van $2,5 * 10^{-4}$ een maximale waterstand van NAP +3,50 m of lager te Wemeldinge (om praktische redenen is de vergelijkbare lokatie Stavenisse aangehouden) optreedt, wanneer zowel de Maatgevende Peil Verwachting als het Noodsluitpeil maximaal gelijk is aan NAP +3,00 m.

Uit de tabel blijkt tevens dat het overstromingscriterium maatgevend is. Dit geldt alleen voor de nieuw aangelegde waterkeringen. Dit laatste is logisch gezien het feit dat bij het ontwerp daarvan al rekening gehouden is met de aanwezigheid van de kering en daardoor gereduceerde waterstanden. De reden dat hogere sluitpeilen dan NAP +3,00m. niet mogelijk zijn is tweeledig. Enerzijds is tijdens de evaluatie gebleken dat de gelijdoorringing bij geopende kering, met name als gevolg van een grotere doorstroomopening, groter is dan verwacht (par. 4.2). Daarnaast is de verwachte frequentie van voorkomen van meertopsstormen aanzienlijk toegenomen (zie par. 5.1).

Dat geen combinatie van Maatgevende Peilverwachting en Noodsluitpeil gekozen kan worden hoger dan NAP +3,00m blijkt duidelijk uit de overschrijdingsfrequentielijn ter plaatse van de Oesterdam. Bij een Maatgevende Peilverwachting en een Noodsluitpeil beide op

NAP +3,00 m treedt, bij een overschrijdingsfrequentie van $2,5 \cdot 10^{-4}$, ter plaatse van de Oesterdam een peil op van ca. NAP +3,98 m. Hieruit wordt duidelijk dat zelfs een zeer geringe verhoging van één of beide sluitpeilen, zal leiden tot een overschrijding van een peil van NAP +4,00 m en daarmee tot overschrijding van het veiligheids criterium.

Veiligheid nieuwe waterkeringen.

Tor bepaling van de overschrijdingsfrequentielijnen van locaties gelegen op het Oosterscheldebekken zijn berekeningen uitgevoerd met het Riemann model. De waterstanden aan de buitenzijde van de kering zijn onafhankelijk van het gekozen beheer van de kering. Voor de bepaling van gegevens ten behoeve van locaties op het bekken is het gevoerde beheer met de stormvloedkering echter essentieel. Het gevoerde beheer wordt in de berekeningen gevarieerd aan de hand van de Maatgevende Peilverwachting en het Noodsluitpeil.

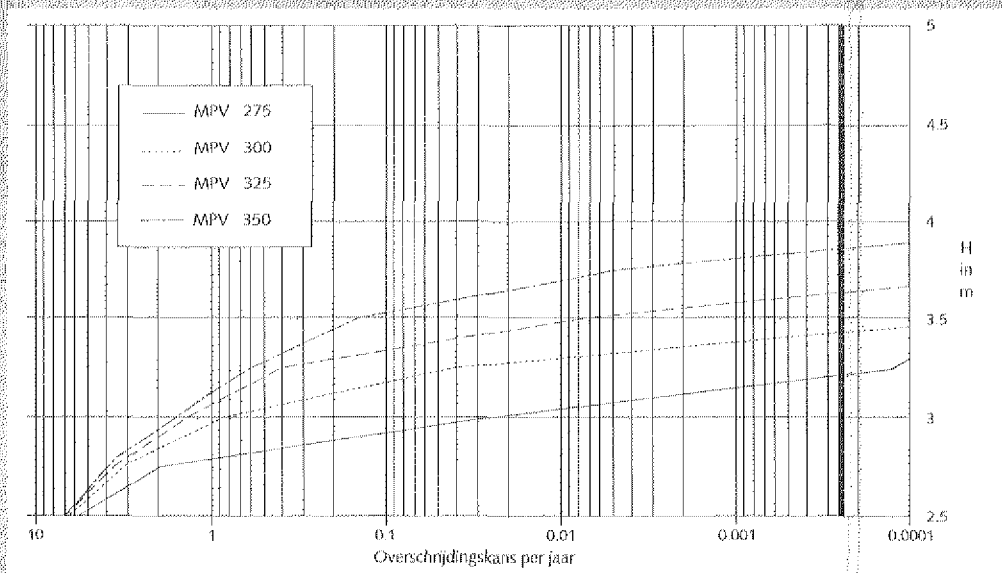
In onderstaande figuren is voor een drietal locaties op het bekken, namelijk centrum bekken (Stavenisse), Oesterdam en Philipsdam de overschrijdingsfrequentielijn gegeven behorend bij de aangegeven combinatie van Maatgevende Peilverwachting en Noodsluitpeil. Gepresenteerd zijn alleen die scenario's waarin Maatgevende Peilverwachting en Noodsluitpeil gelijkgeschakeld zijn omdat in de scenario's waarin dit niet het geval is de frequentielijn zich tussen de gepresenteerde alternatieven in bevindt.

Het lezen van de grafiek.

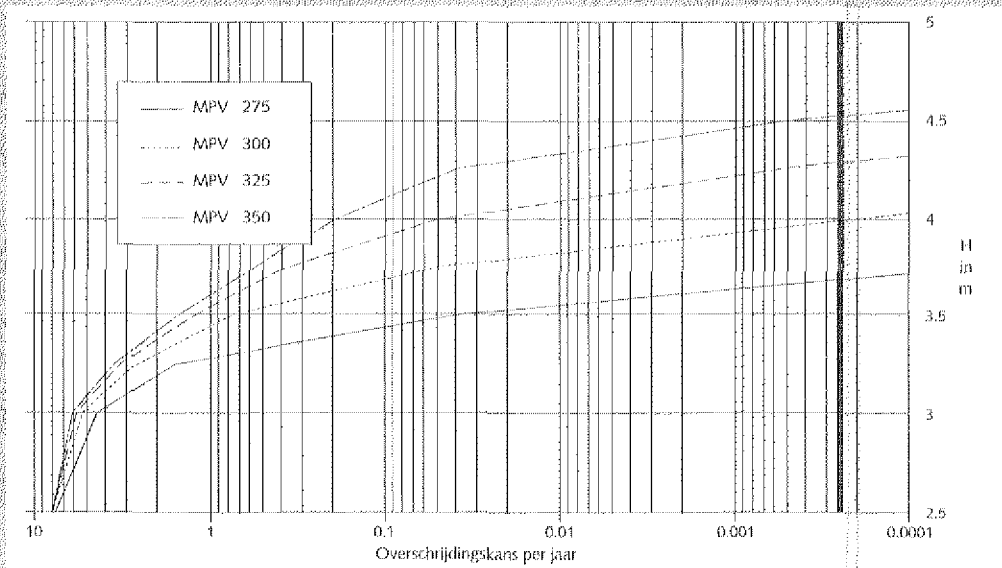
Op de verticale as staat de waterstand op de betreffende lokatie op het bekken. Op de horizontale as staat de kans dat een bepaalde waterstand wordt overschreden. Hierbij staat bijvoorbeeld 0.0001 voor $1 \cdot 10^{-4}$ ofwel een kans van 1/10000 per jaar ofwel een kans van voorkomen van 1 x per 10.000 jaar.

Voorbeeld van het toetsen van het ontwerppeil.

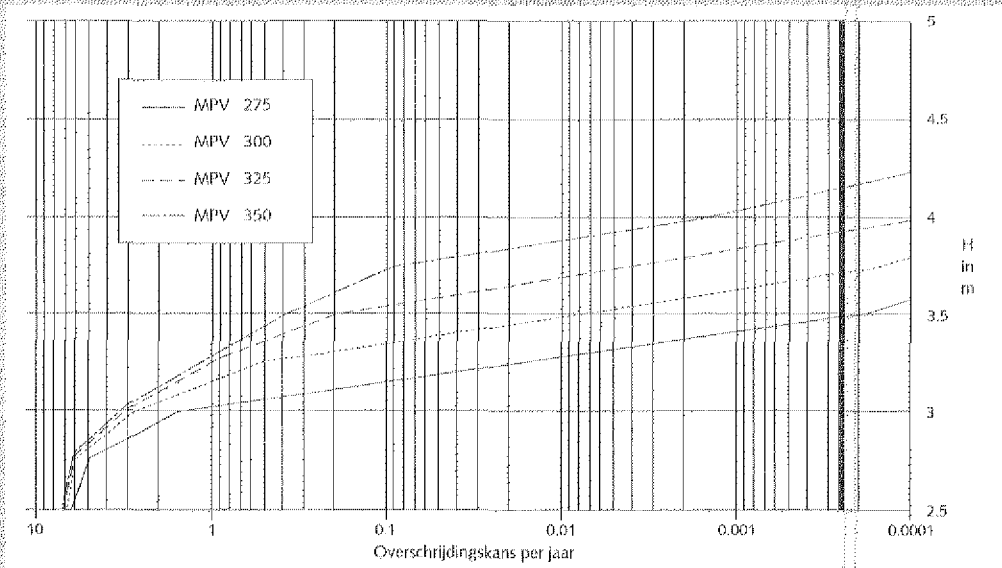
Het ontwerp van de Oesterdam is gebaseerd op een peil van NAP +4 m. Uit veiligheidsoogpunt mag dit peil 1 x per 4000 jaar worden overschreden, ofwel een overschrijdingskans van $2,5 \cdot 10^{-4}$. Uit de grafiek blijkt dat bij een MPV van 3,25 m en 3,50 m het peil NAP +4 m vaker wordt overschreden en deze peilkeuzen derhalve niet aan het criterium voldoen.



Overschrijdingsfrequentielijn waterstand Stavenisse



Overschrijdingsfrequentielijn waterstand Oesterdam



Overschrijdingsfrequentielijn waterstand Philipsdam

5.4 Binnenpeilstrategie in relatie tot de veiligheid.

Uitvoering van de 2-1-2 wisselstrategie blijkt tot overschrijding van het veiligheids criterium te leiden. De overige, door BARCON geselecteerde, binnenpeilstrategieën zijn vanuit veiligheids oogpunt allen uitvoerbaar.

Door Barcon zijn keuzemogelijkheden gegeven voor de te hanteren binnenpeilstrategie, namelijk:

- sluiten op binnenpeil NAP +1 m
- wisselstrategie 0-1-2
- " 1-2-1
- " 2-1-2

De voorgaande berekeningen hebben allen betrekking op de, in de evaluatieperiode gehanteerde, 1-2-1 wisselstrategie.

Gezien de gewijzigde inzichten betreffende meertopsstormen en getijdoordringing op het bekken, is met het Riemann/Simplic model nagegaan of de Barcon opties ten aanzien van de binnenpeilstrategieën vanuit veiligheids oogpunt nog steeds mogelijk zijn.

Dit bleek niet het geval voor de 2-1-2 strategie. Uitvoering van de 2-1-2 binnenpeilstrategie leidt tot overschrijding van het veiligheids criterium voor met name golfaanval op glooiingen voor alle berekende combinaties van Maatgevende Peilverwachting en Noodsluitpeil. Vergelijking met de resultaten van de 1-2-1 strategie toont de oorzaak hiervan aan. Ten eerste zullen de binnenwaterstanden bij de, relatief vaak voorkomende, ééntopsstormen hoger zijn. Ten tweede ontstaan bij meertopsstormen langere stagnanties op een hoger peil. Beide factoren verhogen de kans op bezwijken wat in totaal tot een ontoelaatbaar hoge faalkans leidt.

De binnenpeilstrategie 0-1-2 leidt tot dezelfde resultaten als de 1-2-1 strategie. De kans op hogere vervallen over de kering neemt bij deze strategie iets toe, zonder overigens tot ontoelaatbare waarden te stijgen.

Ook het alternatief sluiten op een binnenpeil NAP +1 m is vanuit veiligheids oogpunt acceptabel. Als gevolg van de langere stagnantieduren op één peil zijn de resultaten iets ongunstiger dan die van de 1-2-1 strategie.

6. Effecten keringgebruik voor de functies van de Oosterschelde.

In dit hoofdstuk worden de effecten van het keringgebruik voor de functies van de Oosterschelde besproken. Hierbij komen aan de orde: effecten voor milieu en visserij, waterkeringen, scheepvaart, afwatering en buitendijkse objecten.

6.1 Effecten van sluitingen op milieu en visserij

6.1.1 Inleiding

De waarnemingen tijdens de evaluatieperiode geven een gecombineerd beeld weer van de veranderingen die optreden als gevolg van de aanwezigheid van de kering, de stagnante waterstand tijdens de stormsluiting en de stormomstandigheden op zich.

Het sluiten van de stormvloedkering, waarbij het waterpeil op een vast niveau stagneert, is van invloed op de ontwikkeling van het abiotisch en het biotisch milieu. Tijdens de peilstagnantie is het effect van golven relatief langdurig geconcentreerd in een beperkte dieptezone en wordt de zone hoger dan het binnenpeil niet overspoeld. Als gevolg van de afwijkende hydraulische omstandigheden kunnen veranderingen optreden in sedimentatie- en erosiepatronen, bodemkundige eigenschappen en de levensomstandigheden van organismen.

BARCON

In het kader van BARCON is indertijd een voorspelling gemaakt ten aanzien van effecten van stormsluitingen op verschillende milieucomponenten en visserijpercelen. Op basis van deze voorspelling is het volgende advies voor sluitbeleid in de evaluatieperiode opgesteld:

- Sluitpeilen dienen in principe zo hoog mogelijk te worden gekozen om te voorkomen dat de overspoelingsfrequentie van hooggelegen gebieden afneemt.
- om negatieve effecten van stormsluitingen zoveel mogelijk te spreiden over verschillende milieucomponenten, dient het binnenpeil gevarieerd te worden gedurende opéénvolgende sluitingen. Dit advies heeft geresulteerd in toepassing van de 1-2-1 wisselstrategie.

- het meest effectieve middel om negatieve milieu-effecten te voorkomen is het minimaliseren van de sluitfrequentie.

Waargenomen effecten

Gedurende de evaluatieperiode hebben 6 stormsluitingen plaatsgevonden. Zo snel mogelijk na de verschillende sluitingen zijn metingen en visuele waarnemingen in het veld uitgevoerd. Bij de interpretatie van deze metingen en waarnemingen dienen de volgende kanttekeningen te worden gemaakt:

- Als gevolg van de aanwezigheid van de kering is in 1984 een trendbreuk opgetreden in de lange termijn ontwikkeling van de verschillende milieucomponenten. De periode sinds de aanleg van de kering is te kort om met grote nauwkeurigheid de nieuwe lange termijn trend te kunnen analyseren en extrapoleren. Bovendien is zelden een referentiemeting van vlak vóór een sluiting beschikbaar. Om deze twee redenen is het niet mogelijk om op basis van de beschikbare waarnemingen het effect van een stormsluiting éénduidig te onderscheiden van de lange termijn trend.
- Tijdens een stormsluiting treden tevens effecten op als gevolg van de stormomstandigheden zelf. Op basis van waarnemingen is het niet mogelijk om het effect van de stagnante waterstand éénduidig te onderscheiden van het effect van de storm.

Aanpak evaluatie

Om het gebruik van de kering te evalueren is allereerst voor iedere milieucomponent en het onderdeel visserij de volgende aanpak gevolgd (par. 6.1.2):

- Uitgangspunt is de oorspronkelijke BARCON-voorspelling
- Vervolgens zijn de waarnemingen na stormsluitingen geanalyseerd
- De oorspronkelijke voorspelling en de daar uit voortkomende conclusies ten aanzien van peilbeheer zijn bijgesteld indien waargenomen effecten of nieuwe inzichten daar aanleiding toe geven.

Tenslotte is samengevat welke sluitstrategie voor milieu en visserij het minst nadelig wordt geacht (par. 6.1.3).

Conclusies

Op grond van waarnemingen kan aan de BARCON-voorspelling worden toegevoegd dat gedurende hoge sluitingen (N.A.P.+2m) erosie optreedt van de hogere plaatdelen. Het is echter niet bekend of tijdens hoge sluitingen meer erosie optreedt dan tijdens een hoog hoogwater zonder sluiting. Evenmin is bekend of een relatie bestaat tussen de hoogte van het binnenpeil en het verdwijnen van zeegrasvelden.

Aan de hand van nader onderzoek zal getracht worden meer inzicht in deze relaties te verkrijgen. Dit inzicht is belangrijk. Het peil op de Oosterschelde kan bij sluitingen immers worden gestuurd.

C. Schorren

Definitie en natuurwaarde

Schorren zijn reliëfrijke buitendijkse gebieden die begroeid zijn met een zoutminnende of -tolerante vegetatie. Schorren worden regelmatig overspoeld met zout water. Er kan onderscheid gemaakt worden tussen laag schor, dat meer dan 500 keer per jaar wordt overspoeld, midden-hoog schor dat 300 tot 500 keer per jaar wordt overspoeld en hoog schor dat grotendeels hoger dan het gemiddelde hoogwaterniveau ligt. *Regelmatige overspoeling (minimaal enkele keren per jaar)* is een voorwaarde voor het voortbestaan van de zouttolerante vegetatie. Voorts zijn de schorren van belang als broedgebied, hoogwatervluchtplaats en fourageergebied voor vogels. Schorren worden als zeer waardevol beschouwd.

De omstandigheden in de Oosterschelde waren en zijn zodanig dat schorkliffen aan voortdurende erosie onderhevig zijn. Net als in het verleden kan de aangroei van nieuwe schorren slechts in zeer beperkte mate plaatsvinden.

BARCON-voorspelling

Maximale erosie van een schorklif wordt verwacht als de golfaanval aangrijpt tussen de basis en de bovenzijde van het klif. Bij een binnenpeil van ca. N.A.P. +0,0 m wordt de minste erosie van schorkliffen verwacht omdat de meeste schorbases in de Oosterschelde hoger liggen. Bij een binnenpeil van N.A.P.+1,0 m zal met name kliferosie optreden bij de schorren van St. Annaland en Anna Jacobapolder. Bij een binnenpeil van N.A.P.+2,0 m zullen de hoger gelegen schorkliffen worden aangevallen, zoals het westelijk deel van het schor van Rattekaai. De kliffen van St. Annaland en Anna Jacobapolder zullen in dat geval beneden het waterniveau liggen, zodat de golven op deze kliffen zullen breken, en eveneens erosie zullen veroorzaken.

De vegetatie zal weinig invloed ondervinden van golven of overspoeling. Kliferosie als gevolg van de stagnante waterstand zal ernstiger zijn dan onder omstandigheden met open kering, indien de stagnante waterstand langer dan ca. 5 uur voortduurt. Een laag binnenpeil en een hoge sluitfrequentie zijn ongunstig vanwege de afname van de overspoelings-frequentie van hoge schordelen.

Waargenomen effecten

Het extra gereduceerde getijverschil tijdens de afbouwfase van de compartimenteringsdammen in de winter van '86-'87 leidde tot verdroging en inklinking van de bodem van de schorren en sterfte van de vegetatie. De verdroging en de sterfte zijn met name opgetreden op het midden en hoog schor en bij oeverwallen en kliffen. Uitdroging van de bodem en sterfte van de vegetatie heeft de erosiebestendigheid van het schor doen afnemen.

Na de sluiting van eind februari 1990 (binnenpeil 1-2-1 en 1) zijn metingen verricht aan de schorkliffen van St. Annaland, Anna Jacobapolder en Rattekaai. Bij St. Annaland blijkt op enkele locaties meer afslag te hebben plaatsgevonden dan in voorgaande perioden (30 - 70cm). De schorkliffen van Anna Jacobapolder en Rattekaai vertonen geen afwijkend *afslagpatroon*. *Visuele waarnemingen bij het schor van Dwars in de Wég* wijzen erop dat plaatselijk maaiveldverlaging is opgetreden van 10 - 15cm, waarbij wortelstokken van Spartina en Limonium zijn blootgespoeld. In het noordoostelijke deel van het schor is inspoeling van zand geconstateerd.

In het verleden is bij de berekeningen van schorafslag uitgegaan van een windopzet van 1m in het oostelijk deel van de Oosterschelde. Zoals ook uit waarnemingen blijkt is deze aanname te hoog voor een gemiddelde sluiting. Dit betekent dat de erosie kan worden beperkt door het instellen van een laag binnenpeil. Uit onderzoek is namelijk gebleken dat de energieoverdracht door golfwerking ter plaatse van de schorren afneemt bij een waternivo beneden de NAP + 2,00 m.

Conclusies

De erosiebestendigheid van het schor is afgenomen als gevolg van verdroging en sterfte van vegetatie tijdens de afbouwfase. De erosie van schorren zou mogelijk kunnen worden beperkt door, zoveel mogelijk, te voorkomen dat er op het bekken peilen van NAP +2,00 m. of hoger optreden.

Erosie door sluitingen betekent plaatselijk een versnelling van deze processen. Tevens worden de hoge schordelen tijdens een sluiting niet overspoeld. Sinds de aanleg van de kering is de overspoelingsfrequentie van hoge schorren al aanzienlijk gereduceerd. Aangenomen wordt dat juist tijdens overspoelingen onder stormomstandigheden ophoging van schorren plaatsvindt. Wat betreft milieu en visserij gaat de voorkeur uit naar een zo hoog mogelijk sluitpeil.

6.2 Consequenties van het beheer voor andere aspecten en functies

6.2.1 Inleiding

Het sluiten van de Oosterscheldekering heeft door het verminderen van de verticale getijbeweging consequenties voor de waterkeringen, de scheepvaart, de afwatering van de polders en voor de buitendijkse objecten. De aard en omvang van deze consequenties zijn afhankelijk van het ingestelde binnenpeil en de periode van gesloten kering.

6.2.2 Waterkeringen

Er is geen zodanige schade aan de waterkeringen geconstateerd dat hiervoor bijstelling van de huidige sluitfrequentie of strategie nodig is. De meeste schade trad op bij realisatie van een binnenpeil beneden NAP, bij de stormsluiting tijdens de sluitingsfase van het Tholense Gat.

Tijdens de sluiting van de Oosterscheldekering in oktober 1986 is er aanzienlijke schade opgetreden aan de glooiingen. Het ingestelde binnenpeil was toen, i.v.m. de laatste fase van de sluiting van het Tholense Gat, iets beneden NAP. Hierdoor concentreerde de golfaanval zich op deze zone die van oudsher minder zwaar is verdedigd dan de hoger gelegen zone. Ook bij de sluitingen in december 1986 trad enige schade op.

Na afloop van de sluiting in februari 1989 is er systematisch een aantal waarnemingen verricht. Hierbij is geen schade geconstateerd aan glooiingen of grasmatten. Op enkele plaatsen is er een geringe welvorming geconstateerd, waar- van enkele zandmeevoerend. Dit verschijnsel treedt ook buiten perioden met stagnante binnenpeilen op.

De hoogte van de veekrand, c.q. de maximale hoogte van de golfoploop lag tijdens de periode met een stagnante waterstand op alle locaties

tussen NAP +2,5 en NAP + 3 m. Er is geen golfoverslag waargenomen.

De storm van februari 1990 heeft in Zeeland en daarbuiten aanzienlijke schade toegebracht aan dijken en glooiingsconstructies. Ook rond de Oosterschelde is op een zestal locaties schade aan de glooiingen waargenomen. De omvang van de schade bedroeg een enkele vierkante meter op Tholen, ca. 30 m² op Noord- en Zuid-Beveland, en ca. 100 m² bij de haven van Anna Jacobapolder.

6.2.3 Scheepvaart

Voor de scheepvaart wijkt de situatie nauwelijks af van die van voor het gereedkomen van de werken.

Het sluiten van de Oosterscheldekering leidt voor de scheepvaart niet tot een situatie die afwijkt van voor het gereedkomen van de Oosterscheldewerken. Ook toen waren bij hoge waterstanden de keersluizen van Stavenisse (bij een waterstand hoger dan NAP + 2,4 m) en Zierikzee (bij een waterstand hoger dan NAP + 2 m) gesloten, zodat de havens onbereikbaar waren.

6.2.4 Afwatering

De invloed van het beheer van de kering op de capaciteit van de gemalen rondom het bekken is, zoals verwacht, verwaarloosbaar gebleken.

De capaciteit van de gemalen rond de Oosterschelde is ondermeer afhankelijk van het waterpeil op het bekken. Indertijd werd verwacht dat de capaciteit nauwelijks zou afnemen vanwege de relatief korte sluitingsduur van de Oosterscheldekering. Gezien de opgetreden sluitingsduren is deze verwachting geldig gebleken.

6.2.5 Buitendijkse objecten

Zoals verwacht treedt ook na het gereedkomen van de Stormvloedkering er nog wateroverlast voor buitendijkse objecten op. De frequentie waarmee deze overlast optreedt is door de aanleg van de kering aanzienlijk afgenomen.

Op sommige havenplateaus en/of buitendijkse gebieden zijn woningen, bedrijven of andere bebouwing gevestigd. In de situatie voor het gereedkomen van de Oosterscheldewerken ondervond een aantal hiervan wateroverlast bij storm. (zie tabel op pagina 56).

7. Aanbevelingen voor het beheer.

Op grond van de gegevens welke in de voorgaande hoofdstukken zijn gepresenteerd dient een keuze gemaakt te worden omtrent welke beheersstrategie na afloop van de evaluatie periode gehanteerd dient te worden. In dit verband dient te worden afgewogen of bijstelling van de tot nu toe gehanteerde waarden voor de Maatgevende Peil Verwachting en het Noodsluitpeil noodzakelijk is. Tevens dient hierbij een keuze gemaakt te worden voor de te hanteren binnenpeilstrategie.

7.1 Sluitpeilen.

De keuzevrijheid voor Maatgevende Peil Verwachting en Noodsluitpeil is beperkt. Enerzijds wordt de bovengrens bepaald door de vereiste veiligheid. Anderzijds vormt de wens om vanuit milieu en visserij oogpunt het aantal sluitingen van de kering zo beperkt mogelijk te houden een zekere ondergrens. Oorspronkelijk was door de Minister van Verkeer en Waterstaat, op grond van de BARCON studie, beslist dat Maatgevende Peilverwachting en Noodsluitpeil, na voldoende ervaring te hebben opgedaan, zouden worden opgetrokken tot een peil van NAP +3,25 m. Tijdens de evaluatieperiode is hier, mede op grond van reacties uit de regio, vanaf gezien. Zowel Maatgevende Peil Verwachting als Noodsluitpeil zijn gehandhaafd op NAP +3,00 m. Een verhoging van Maatgevende Peilverwachting en Noodsluitpeil blijkt volgens de nieuwste inzichten niet mogelijk te zijn. Immers, uit berekeningen uitgevoerd met het aangepaste modelinstrumentarium blijkt dat sluitpeilen hoger dan NAP +3,00 m leiden tot een te hoge kans op overstroming. Een verlaging van de Maatgevende Peil Verwachting en Noodsluitpeil ligt én gezien het besluit van de Minister van Verkeer en Waterstaat én vanwege de afwezigheid van enige bedreiging van de veiligheid niet voor de hand. Verlaging van de peilen zou tevens een toename van de sluitfrequentie inhouden wat is strijdig met de milieudoelstellingen. Immers vanuit milieuoogpunt is het minimaliseren van de sluitfrequentie het meest effectieve middel om negatieve milieueffekten te voorkomen.

Gezien bovenstaande argumentering blijkt het huidige beheer te weten Maatgevende Peil Verwachting en Noodsluitpeil beide op NAP

+3,00 m het best te voldoen aan de doelstelling. Voortzetting hiervan wordt dan ook aanbevolen.

7.2 Binnenpeilen.

Gedurende de evaluatieperiode is bij sluiting van de kering gebruik gemaakt van de 1-2-1 wisselstrategie. Gebleken is dat het slechts in één geval, als gevolg van sterk veranderende meteorologische omstandigheden, niet mogelijk was het gewenste streefpeil te bereiken. Bij alle twee- en drietopsstormvloed, waar de wisselstrategie met name voor bedoeld is, is de uitvoering naar wens verlopen.

De conclusie is dan ook dat de wisselstrategie praktisch goed realiseerbaar is. Door toepassing van de wisselstrategie zijn de effecten voor milieu en visserij over de diverse zônes gespreid. Bovenstaande resultaten hebben betrekking op de toegepaste 1-2-1 binnèrpeilstrategie. Tijdens de BARCON studie zijn tevens de 0-1-2 en 2-1-2 wisselstrategieën en een binnenpeilstrategie met een vast binnenpeil op NAP + 1 m als volwaardige alternatieven gepresenteerd.

De 2-1-2 wisselstrategie.

Berekeningen met het verbeterde veiligheidsmodel tonen aan dat de 2-1-2 wisselstrategie leidt tot overschrijding van het veiligheids criterium. Dit alternatief valt dus af.

De 0-1-2 wisselstrategie.

Berekeningen tonen aan dat de 0-1-2 wisselstrategie tot dezelfde resultaten t.a.v. de veiligheid leidt als de 1-2-1 strategie. De kans op hogere vervallen over de kering neemt bij deze strategie iets toe, zonder overigens tot ontoelaatbare waarden te stijgen. Het binnenpeil van NAP voor de eerste top zal in veel gevallen niet realiseerbaar zijn. Dit blijkt ook uit de gegevens uit de evaluatieperiode. Bij de februaristorm van 1990 was het fysisch niet mogelijk geweest een binnenpeil van NAP voor de eerste top in te stellen.

Vast binnenpeil op NAP +1 m.

In het BARCON rapport wordt spreiding van de belasting over meerdere zônes aanbevolen. De strategie met een vast binnenpeil op NAP +1 m zou betekenen dat de belasting voor het milieu niet over de diverse zones wordt gespreid. Toch kan vooralsnog dit alternatief niet als ongunstiger dan de 1-2-1 strategie worden

8. Literatuurlijst

1. Controlling the Oosterschelde Storm-Surge-Barrier. A Policy Analysis of Alternative Strategies.
vol. I Summary Report
vol. II Sensitivity Analysis
vol. III Prediction North Sea Water Levels
vol. IV Basin Response to North Sea Water Level:
the BARCON SIMPLIC Model
Rand Corporation, Santa Monica, USA, september 1979
2. Eindrapportages van studies werkgroepen BARCON :
 - Veiligheidsaspecten van het beheer van de stormvloedkering
 - De veiligheid van de Oosterscheldebijkten in relatie tot het gebruik van de stormvloedkering
 - De effecten van het beheer van de stormvloedkering op milieu en visserij
 - Beheersaspecten van de stormvloedkering Oosterschelde
 - Gebruikswijzen Stormvloedkering Oosterschelde onder stormomstandigheden
3. Leidraad voor de beoordeling van duinen als waterkering.
Technische Adviescommissie van de Waterkeringen (TAW 5)
1984
4. Probabilistische methoden bij duinontwerp.
Achtergronden van de TAW-leidraad 'Duinafslag'.
J. van der Graaf
Technische Hogeschool Delft, november 1983
5. Evaluatie veiligheidssysteem BARCON
Deelprojectgroep EOS-Veiligheid, H Ruijter,
25 januari 1988.
6. Hydraulic Boundary Conditions
J.K. Vrijling and J. Bruinsma, Rijkswaterstaat, Deltadienst
In : Hydraulic Aspects of Coastal Structures
Delft University Press, 1980
7. Beheer van de Stormvloedkering.
L.D. Boom en W.A.H. Thissen
In ; Polytechnisch Tijdschrift voor Civiele Techniek,
december 1986
8. Faalkansanalyse veiligheidssysteem Oosterschelde.
Het Riemann/Simplic model.
Deelprojectgroep EOS-Veiligheid, S. Vereeke en J. Vroon, volgt nog
9. Gebruikershandleiding voor het computerprogramma Riemann, versie 4
K. Schefferlie
Directie Sluizen en Stuwen, februari 1988

