

# **Rol van stormvloedkering voor lange termijn veiligheid en functiebehoud van Oosterschelde**

**Een systeembeschrijving als aanzet voor een onderzoeksplan**

Wilbert Verbruggen  
Rob de Jong  
Jan Mulder

1206856-000

## Titel

Rol van stormvloedkering voor lange termijn veiligheid en functiebehoud van Oosterschelde

## Project

1206856-000

## Kenmerk

1206856-000-VEB-0003

## Pagina's

35

## Trefwoorden

Oosterschelde, stormvloedkering, klimaatverandering, veiligheid, functiebehoud








## Samenvatting

Het Deltaprogramma | Zuidwestelijke Delta werkt aan een klimaatbestendig veilige, ecologisch veerkrachtige en economisch vitale delta. Afgelopen jaar is in dit kader onderzocht welke mogelijke strategieën er zijn om de gevolgen van de verwachte en mogelijke klimaatverandering op waterveiligheid op te vangen. Om de kansrijkheid van de mogelijke strategieën voor de Oosterschelde beter te kunnen beoordelen, is gevraagd nader te onderbouwen wat deze, meer in detail, aan consequenties hebben. Het gaat daarbij specifiek over de rol van de Stormvloedkering als onderdeel van het gehele Oosterschelde-systeem, en zowel om het handhaven van de veiligheid als om het handhaven van de ecologische waarden en van de randvoorwaarden voor het gebruik van het bekken.

In dit verband is allereerst een systeembeschrijving gegeven van de Oosterscheldekering, eindigend in een aantal gedachten over mogelijke beheersmaatregelen om de klimaatbestendigheid van de kering te garanderen. Vervolgens is gekeken naar de samenhang tussen de Oosterscheldekering en de andere componenten van het Oosterscheldesysteem, zowel wat betreft de veiligheid als andere functies. Op grond van een integrale systeembeschrijving is daarna, een kwalitatieve inschatting gemaakt van de effecten van een reeks beheersmaatregelen op het afdekken van een reeks risico's. Om een meer kwantitatieve beoordeling mogelijk te maken, wordt tot slot een voorstel gedaan voor een onderzoekplan.

## Referenties

Cluster 4 - BO offerte Zuidwestelijke Delta 2012

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
definitief	121218	W. Verbruggen		O. Weiler		W. Tilmans	
		R. de Jong					
		J. Mulder					

## Status

definitief

## Inhoud

<b>Begrippenlijst</b>	<b>iii</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>1</b>
1.1 Achtergrond	1
1.2 Vraagstelling en opdracht	2
1.3 Aanpak	2
1.4 Opbouw rapport	2
1.5 Verantwoording	3
<b>2 Systeembeschrijving stormvloedkering (OSK)</b>	<b>4</b>
2.1 Doelen	4
2.2 De constructie	4
2.3 Sluitregiem	8
2.4 Overzicht peilen en ontwerpwaardes	9
2.5 Invloed van zeespiegelstijging en mogelijke maatregelen	9
2.5.1 Effecten bij ongewijzigde kering en ongewijzigd beheer	10
2.5.2 Gewijzigd beheer al of niet met gewijzigde kering	11
<b>3 Integrale beschrijving veiligheidssysteem Oosterschelde</b>	<b>13</b>
3.1 Inleiding	13
3.2 Definitie componenten	13
3.3 Beschrijving huidig veiligheidssysteem	14
3.3.1 Invloeden op de kering	16
3.3.2 Invloeden op hydrodynamica Oosterschelde	16
3.3.3 Invloeden op morfologie Oosterschelde	17
3.3.4 Invloeden op belasting en sterkte dijkenstelsel	18
3.3.5 Samenvatting risico's huidig veiligheidssysteem	18
3.4 Beschrijving huidig ecologische systeem	19
3.4.1 Samenvatting risico's voor ecologische waarde	20
3.5 Beschrijving huidige visserijfunctie	20
<b>4 Effecten van aanpassingen aan het systeem</b>	<b>22</b>
4.1 Risico's en mogelijke beheersmaatregelen	22
4.1.1 Verhogen drempelhoogte	23
4.1.2 Verhogen hoogte bovenbalk	24
4.1.3 Verlengen bodembescherming	24
4.1.4 Verlagen Maatgevende Peilverwachting en Alarmpeil	25
4.1.5 Verhogen Maatgevende Peilverwachting en Alarmpeil	25
4.1.6 Sluiten op verwachte windcondities	26
4.1.7 Sluiten op andere binnenpeilen	26
4.1.8 Suppletie van grof materiaal in erosiekuilen	27
4.1.9 Herhaalde suppletie van zand in erosiekuilen	28
4.1.10 Suppletie zand op platen en slikken	28
4.1.11 Versterken dijken en compartimenteringsdammen (met behoud van de OSK)	29
4.2 Conclusies over aanpassingen aan het systeem	29
<b>5 Samenvattende analyse / basis voor onderzoeksplan</b>	<b>31</b>

<b>6 Literatuur</b>	<b>33</b>
<b>Appendix 1 Relatieschema's</b>	<b>35</b>

## Begrippenlijst

<i>Alarmpeil</i>	Het waterpeil bij meetstation Roompot Buiten waarbij het noodsluitsysteem van de OSK in werking treedt. Het Alarmpeil hoeft niet gelijk te zijn aan de <i>Maatgevende Peilverwachting</i> .
<i>Toetspeil</i>	Zie <i>Maatgevend Hoogwater</i>
<i>Prestatiepeil</i>	Het waterpeil dat een overschrijdingskans heeft van 1/4000 per jaar, waarbij de parameters niet vigerend hoeven te zijn. Zo kan er gevarieerd worden met de statistiek, de sluitstrategie van de OSK, de kansen op niet-sluiten van de OSK, etc. Een prestatiepeil is meestal onderdeel van een verkenning en heeft geen formele status.
<i>Maatgevende Peilverwachting</i>	Het verwachte peil bij meetstation Roompot Buiten waarboven de OSK gesloten moet zijn. In het huidige beheer is de Maatgevende Peilverwachting vastgesteld op NAP + 3,00 m. Vroeger werd dit peil aangeduid met de term sluitpeil.
<i>Maatgevend Hoogwater</i>	Het waterpeil dat een overschrijdingskans heeft van 1/4000 per jaar, uitgaande van de dan vigerende parameters. Dit peil kan variëren voor de verschillende dijkvakken en ook over de breedte van de OSK.
<i>Ontwerppeil</i>	Het waterpeil waarop een constructie (OSK, dijken, etc.) ontworpen is.
<i>Binnenpeil</i>	De waterstand op de Oosterschelde. Indien geen locatie gespecificeerd is, wordt er gerefereerd aan het peil bij Stavenisse.
<i>Buitenpeil</i>	Het waterpeil aan zeezijde van de OSK. Indien geen locatie gespecificeerd is, wordt er gerefereerd aan het peil bij meetstation Roompot Buiten.
<i>Vaste kering</i>	Het deel van de OSK dat bestaat uit aardendammen.
<i>Beweegbare kering</i>	Het deel van de OSK dat bestaat uit de doorstroomopeningen, schuiven, etc.
OSK	De Oosterscheldekering, waarbij de vaste en beweegbare kering worden inbegrepen.
OS	De Oosterschelde
MHW	zie <i>Maatgevend Hoogwater</i>
MPV	zie <i>Maatgevende Peilverwachting</i>

<i>Overloop</i>	het verschijnsel waarbij water over de waterkering (OSK of dijken) loopt omdat de te keren waterstand hoger is dan de hoogte van waterkering.
<i>Overslag</i>	het verschijnsel waarbij water over de waterkering (OSK of dijken) slaat ten gevolge van de golven, terwijl de te keren waterstand lager is dan de hoogte van de waterkering.

# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond

Het Deltaprogramma | Zuidwestelijke Delta werkt aan een klimaatbestendig veilige, ecologisch veerkrachtige en economisch vitale delta. Dit volgt uit de opdracht van het deelprogramma: “Het op een zodanige wijze borgen van de lange termijn waterveiligheid/klimaatbestendigheid en het scheppen van de randvoorwaarden voor duurzame watervoorziening in Zuidwest Nederland, dat dit op een integrale wijze bijdraagt aan een economische en ecologische versterking van dit gebied”. Hiervoor voert het programma een lange-termijn-verkenning uit.

### *Opgaven voor het Deltaprogramma (DP-ZWD, 2012)*

In de verschillende Deltascenario's komen de volgende opgaven naar voren vanuit klimaatverandering: zeespiegelstijging, hogere rivierafvoer, en watertekort in de zomers. Daarnaast laten de scenario's zien dat rekening moet worden gehouden met bodemdaling, een grotere vraag naar zoetwater en ontwikkelingen in de bevolking en economie.

Ook op de korte termijn is er al een opgave. Zo blijkt uit de 3e toetsronde van de primaire waterkeringen 2006 – 2011, dat verschillende dijkvakken niet aan de huidige normen voldoen. Een andere mogelijke opgave op de korte termijn komt voort uit veranderingen in de stormopzetduur en de daaraan gekoppelde beslissingen over de duur van de stormen op zee waar in de toetsing rekening mee gehouden wordt. In het Deltaprogramma 2012 is afgesproken dat er naast de huidige stormopzetduur van 29 uur, ook gerekend wordt met een langere stormopzetduur van 35 uur. Dit op basis van inzichten uit internationaal gereviewd onderzoek. De keuze voor een langere stormduur, welke los staat van klimaatverandering, betekent dat dijken en keringen op zwaardere omstandigheden worden getoetst en dus sneller afgekeurd worden.

### *Mogelijke strategieën*

Afgelopen jaar is in het kader van deze verkenning onderzocht welke mogelijke strategieën er zijn om de gevolgen van de verwachte en mogelijke klimaatverandering op waterveiligheid en zoetwater op te vangen. Voor wat de Oosterschelde betreft stelt het rapport “Deltaprogramma 2013; Mogelijke strategieën” van Deltaprogramma | Zuidwestelijke Delta (2012):

*De huidige strategie voor de Oosterschelde bestaat uit kustlijnverkorting door de stormvloedkering (die sluit bij een waterstand hoger dan 3m. NAP) en bescherming van het gebied door dijken. ....*

*..... In de Oosterschelde kan de klimaatverandering tot 2100 opgevangen worden met technische aanpassingen aan de schuiven van de Oosterscheldekering in wisselwerking met het aanpassen van de dijken (naar verwachting bij 50 cm. zeespiegelstijging).*

Het gaat daarbij zowel om het handhaven van de veiligheid als om het handhaven van de ecologische waarden en van de randvoorwaarden voor het gebruik van de Oosterschelde.

Vanuit het Deltaprogramma Zuidwestelijk Delta heeft deze stelling de vraag opgeroepen nader te onderbouwen wat de voorgestelde strategieën, meer in detail, aan consequenties hebben voor de inrichting en het beheer en onderhoud van het veiligheidssysteem van de Oosterschelde.

## 1.2 Vraagstelling en opdracht

- Wat betekent de lange termijn veiligheidsopgave voor het beheer en onderhoud van de Oosterscheldekering? Wat is hierbij de invloed van de keuze voor het beheer van kust en bekken?

Deze vraagstelling vormt deelvraag 3 van een opdracht van het Ministerie van Economische Zaken, in het kader van de uitwerking Cluster 4 – BO offerte ZWD aan het consortium bestaande uit Deltares, Imares en Alterra.

Deltares is verantwoordelijk voor de beantwoording van deze deelvraag.

## 1.3 Aanpak

### *Stuurknoppen veiligheidstrategie*

Binnen deze veiligheidstrategie voor de Oosterschelde zijn er drie hoofd-stuurknoppen:

- aanpassingen van de constructie van de keringen
  - i. van de OSK
  - ii. van de dijken en van de compartimenteringsdammen
- aanpassingen van het gebruik van de OSK (sluitregiem)
- aanpassingen van de geomorfologie (bv. toepassing van suppleties).

De stuurknoppen hebben een onderlinge afhankelijkheid. Dat maakt het complex om een uitspraak te doen over de optimale “instelstand” van de stuurknoppen. Weliswaar maakt de veelheid aan instelmogelijkheden het wel aannemelijk dat er combinaties zijn die de klimaatveranderingen tot 2100 op kunnen vangen, een hard bewijs is daarmee nog niet geleverd.

### *Systeembeschrijving*

Allereerst lijkt het nodig een systeembeschrijving te maken van het Oosterschelde veiligheidssysteem (OSK + dijken), waarin beschreven worden:

- de verschillende toestandsvariabelen (eigenschappen van alle componenten) en
- de relaties met de stuurvariabelen (stuurknoppen).

Op grond van de systeembeschrijving kan de huidige praktijk (huidige toestand van de componenten en huidige instelstanden van de stuurknoppen) worden getypeerd. Samen met kentallen van de kosten van het huidig beheer ontstaat hierdoor een referentiebeeld.

### *Basis voor onderzoekplan*

De systeembeschrijving dient vervolgens als basis om vervolgstappen te definiëren (een werkplan voor onderzoek), waarmee het mogelijk wordt om onzekerheden te verkleinen over de effecten van verschillende instelmogelijkheden van de stuurknoppen.

Doel van het onderzoekplan is om een bijdrage te leveren aan het formuleren van oplossingen voor de opgaven van het Deltaprogramma en het verifiëren van de keuzes voor mogelijke oplossingen (Deltaprogramma | Zuidwestelijke Delta, 2012). Daarmee moet tevens een aanzet worden gegeven voor het selecteren van kansrijke strategieën (midden 2013), welke uiteindelijk moeten uitmonden in de keuze voor een voorkeursstrategie (eind 2013).

## 1.4 Opbouw rapport

Allereerst (H.2) wordt een systeembeschrijving gegeven van de Oosterscheldekering, eindigend in een aantal gedachten over mogelijke beheersmaatregelen om de klimaatbestendigheid van de kering te garanderen.



Vervolgens (H.3) wordt gekeken naar de samenhang tussen de Oosterscheldekering en de andere componenten van het Oosterscheldesysteem, zowel wat betreft de veiligheid als andere functies. Op grond van een integrale systeembeschrijving wordt daarna in H.4, een inschatting gemaakt van de effecten van een reeks beheersmaatregelen op het afdekken van een reeks risico's.

Tot slot (H.5) wordt op grond van de overwegingen in H.2, 3 en 4, een kwalitatieve analyse gemaakt van het relatieve belang van verschillende maatregelen en van de daarmee samenhangende onzekerheden. Dat vormt de basis voor een voorstel voor een onderzoekplan om de belangrijkste onzekerheden te verkleinen.

### **1.5 Verantwoording**

Het rapport is tot stand gekomen met inbreng van verschillende deskundigen: Krijn Saman, Piet Vos, Dick de Jong, Dirk van Maldegem (RWS Zeeland), en Frank den Heijer en Otto Weiler (Deltares).

## 2 Systeembeschrijving stormvloedkering (OSK)

### 2.1 Doelen

De OSK dient primair om de OS-dijken te vrijwaren van te hoge waterstanden. De dijken langs de OS zijn ook verbeterd om samen met de OSK ervoor te zorgen dat de aanliggende eilanden een gepland bezwijkgevaar lopen bij stormvloed (kans  $2,5 \times 10^{-4}$ , gelijk aan de Deltanorm). De OSK kan ook worden ingezet om de waterstandvariaties langs de dijken te beperken zodat het herstel van eventuele oevervallen (dijkvallen) wordt vereenvoudigd.

Door het aanleggen van de Philipsdam (afsluiting Volkerak en Krammer tot Volkerak-Zoommeer) en de Oesterdam (afsluiting oostelijk deel; tegenwoordig Zoommeer en daarachter begrensd door de Markiezaatskade en het Markiezaatsmeer) is er voor een getijvrije scheepvaartverbinding tussen Antwerpen en de Rijn gezorgd. De aanleg van deze compartimenteringsdammen heeft tevens geleid tot een gereduceerd Oosterscheldebekken, waardoor het getijverschil ten dienste van de schelpdiercultuur op een gewenst niveau gehandhaafd kon worden. Beide compartimenteringsdammen waren iets later gereed dan de OSK zelf; de Oesterdam eind 1986, de Philipsdam in 1987.

### 2.2 De constructie

De OSK is ca. 9 km lang en bestaat uit een aantal damvakken en daarin 3 groepen van doorlaatmiddelen die in totaal ca. 3 km lengte hebben. Elke groep is gesitueerd midden in een oude stroomgeul om de morfologische ontwikkelingen in het binnen en buitengebied beperkt te houden. De drie hoofdgeulen heten: de Roompot (31 openingen), de Schaar (16 openingen) en de Hammen (15 openingen). De totale breedte aan stroomgeulen is ca. 4 km en de geulbeddingniveaus zitten tussen NAP – 25 m en NAP – 35 m.

De totale lengte van de vaste kering (aardendammen) bedraagt ca. 6 km. De damkruin ligt op NAP + 11,50 m. Aan de zee kant is de teen tot NAP + 6,5 beschermd met gepenetreerde stortsteen en verder is tot en met de damkop asfaltbeton toegepast. Aan de binnenzijde van de vaste kering zijn boven NAP + 4,00 m rijbanen en kleibekleding aanwezig. Het talud onder NAP + 4,00 m aan de binnenzijde is bekleed met betonblokken.

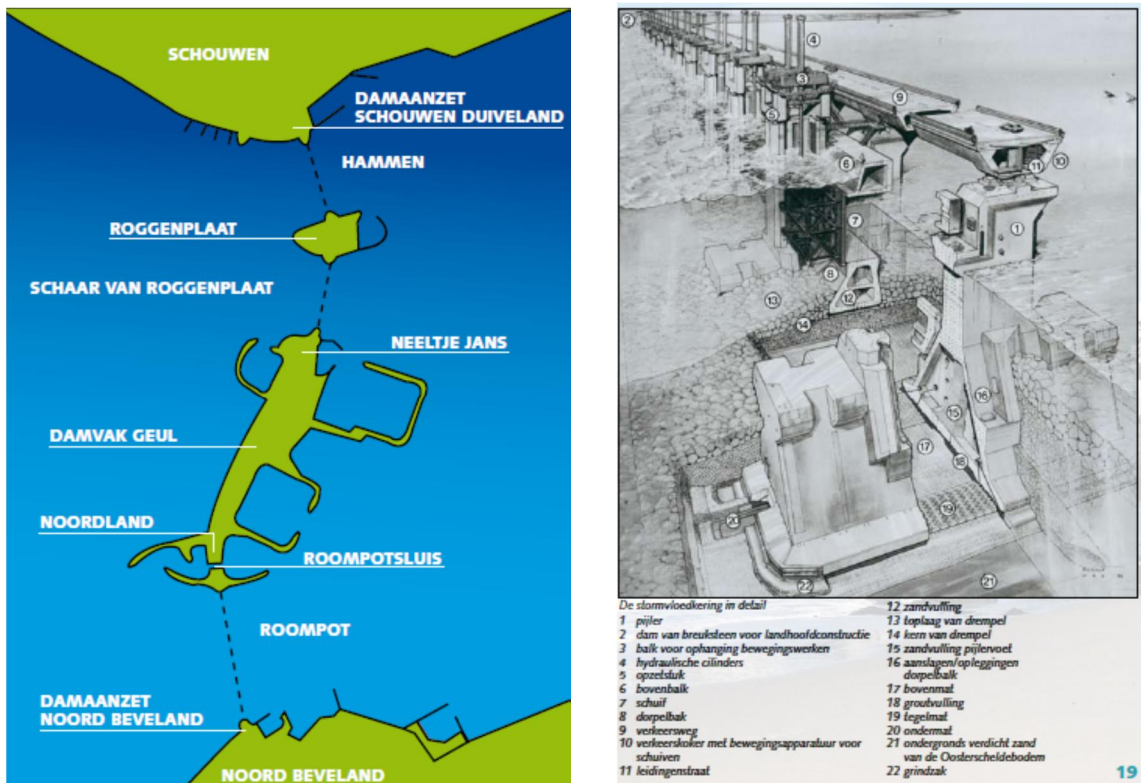
Aan de noordkant van Roompot, op Noordland, bevindt zich een schutsluis (sluiskolk  $100 \times 16 \text{ m}^2$ ) met een dekzerkniveau op NAP + 5,80 m.

Over de dam is een autoweg aangelegd. Ter plaatse van de afsluitbare kering heeft de weg een bovenkantniveau van NAP + 12,00m. De hoogte van de constructie is ca. 3,7 m, zodat de onderkanten van de verkeerskokers op ca. NAP + 8,3 m zitten. Door de verkeerskokers lopen kabels en leidingen. In de verkeerskokers bevinden zich technische installaties voor de bewegingswerken van de schuiven ( zie ook Figuur 2.1).

In totaal zijn er 62 openingen aanwezig. Tussen de pijlers zitten vaste en beweegbare elementen. De pijlers staan h.o.h. 45 m (netto openingsbreedte ca 39,5 m) en de fundatieplaat van elke pijler is  $25 \times 50 \text{ m}^2$  groot.

Voor de totaalbelastingen op de pijlers is uitgegaan van condities die met een overschrijdingsfrequentie van  $2,5 \times 10^{-4}$  / jaar tijdens een superstorm kunnen optreden. De totaalbelasting is opgebouwd uit een verval- en golfbelasting. De bij het verval behorende ontwerpwaterstanden aan zeezijde zijn NAP 5,50 m voor de Roompot en Schaar (NAP 5,30 m voor Hammen). Bij een OS-peil nabij de OSK van NAP -0,70 m, is het verval bij deze

superstorm 6,20 m bij de Roompot en Schaar (6,00 m bij Hammen). De bijbehorende golven zijn vertaald in drukfiguren (hierbij is een semi-probabilistische methode toegepast). Voor de overige componenten is een vergelijkbare set hydraulische randvoorwaarden gebruikt, maar daarbij is extra gelet op lokale door de geometrie beïnvloede verschijnselen. Zo varieert de significante golfhoogte  $H_s$ , waarmee gerekend is voor de belastingen op bovenbalken, langs de kering.



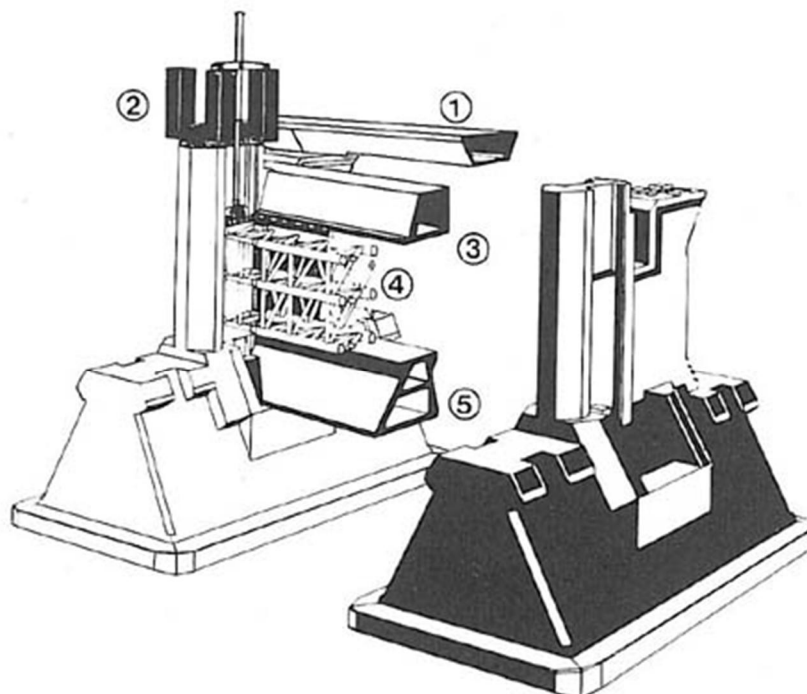
Figuur 2.1 Ligging en dwarsdoorsnede van de Oosterscheldekering ( Rijkswaterstaat, 2009)

De drempelhoogte varieert over de lengte van elke groep (NAP -4,50 m tot NAP -10,50 m) en volgt min of meer het betreffende geulprofiel (maar bovenkant drempel ligt veel hoger dan de geulbodem). De bruto doorsnede in het hart van de kering bedraagt 17.550 m<sup>2</sup> onder NAP (zie Figuur 2.1 onder). Het doorstroomprofiel is in geval van onderhoud maximaal 3500 m<sup>2</sup> geringer, en is dan ca. 14.000 m<sup>2</sup> onder NAP. T.o.v. de oude geuldoorsneden (80.000 m<sup>2</sup>) is daardoor nu nog ca. 22% beschikbaar boven de drempels van de kering. Echter daar stroomt het veel sneller dan voorheen in de geulen, en het getij op de OS is daarom toch nog ongeveer 80% van het oorspronkelijke getij.

Elke opening tussen de onderkant van de bovenbalk en drempelniveau, kan worden afgesloten met schuiven die aan de zeezijde van de kering aanwezig zijn. De rest van de kerende wand bestaat uit een dorpelbalk en een bovenbalk, welke bij Roompot en Schaar is bevestigd tussen NAP +1 m en NAP + 5,80 m, en bij de Hammen tussen NAP +0,80 m en NAP +5,60 m. De bovenkant van de bovenbalk ligt ongeveer 30 cm boven de ontwerpwaterstand. Van deze 30 cm was 10 cm gereserveerd voor verwachte zettingen, waarvan tot nu toe 3 cm opgetreden is. De overige 20 cm is aangehouden voor de verwachte zeespiegelstijging. Dat betekent dus dat na realisatie van een zeespiegelstijging van 20 cm, de bovenzijde van de kering gelijk ligt aan de ontwerpzeewaterstand.

De schuiven zijn van staal en hebben door de vorm weinig last van golfklappen, bovendien liggen de schuiven na een sluiting onder water en worden dan de klappen door de bovenbalk opgevangen. Wel kan lokale vermoeiing van de staalconstructies een rol spelen door de regelmatig variërende belasting die op de schuiven uitgeoefend wordt. De kerende wand wordt gevormd door de zeezijde-voorkant van de dorpelbalk, de schuifbeplating en de zeezijde-voorkant van de bovenbalk en vormt als geheel een min of meer verticaal vlak. In geopende stand staan de schuiven met hun onderkanten op NAP + 1,20 m.

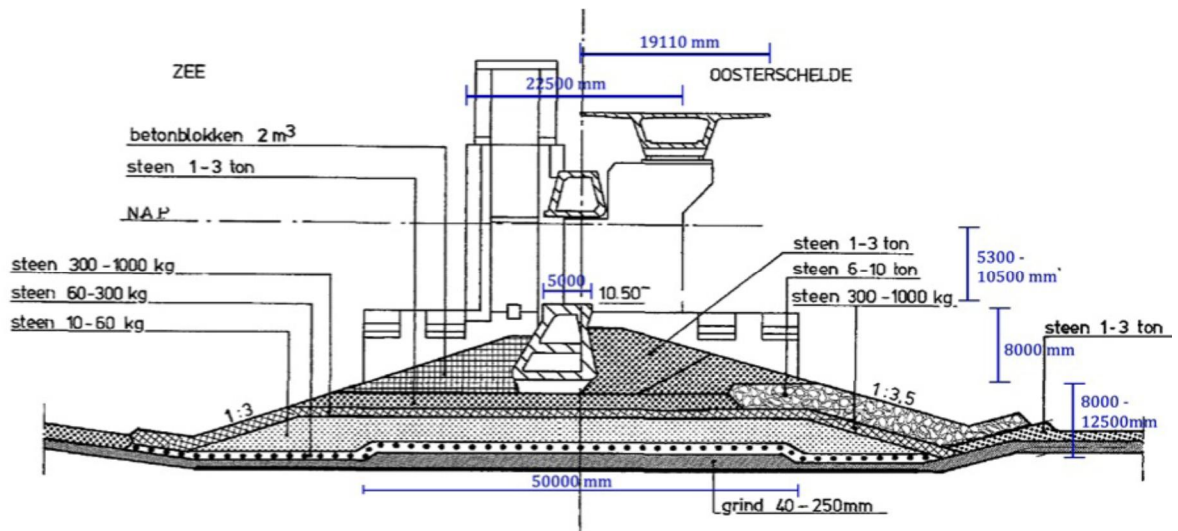
De kering is indertijd nagenoeg geheel als een geprefabriceerde constructie uitgevoerd. De schuiven en balken hangen aan / zijn opgelegd op de pijlers. Deze pijlers en balken zijn in bouwputten elders gefabriceerd en met speciaal equipment naar de locatie van de kering vervoerd en geplaatst.



**1. verkeerskoker; 2. hamerstuk; 3. bovenbalk; 4. schuif; 5. dorpelbalk**

*Figuur 2.2 Elementen van de Oosterscheldekering ( Rijkswaterstaat, 2009)*

De ondergrond van de constructies is oorspronkelijk van zeer slechte fundatiekwaliteit: losgepakt zand met dunne kleilaagjes. Daar is tijdens de bouw echter veel aan verbeterd door over voldoende lengte (in geulrichting) en over de hele geulbreedte tot 35 m onder de waterspiegel (met maximaal 15 m onder het bodemniveau) de grond te verdichten. De gebieden tussen de kering en de rand bodembescherming zijn afgedekt door bodembeschermingsmatten, maar nabij de kering met zware stortsteen afgestort asfaltmastiek om bestand te zijn tegen grote snelheden als onverhoopt een van de schuiven weigert tijdens stormcondities. Ter plaatse van de pijlers zijn lagen filtermateriaal in funderingsmatten aangebracht (met daarboven fijn grind). De pijlers zijn geplaatst met aangehangen zakken met filtermateriaal die na plaatsen geopend werden (van binnenuit de pijler) zodat goede aansluitingen ontstonden en geen zandmateriaal verplaatst raakt tijdens belastingen op de pijlers (bij gesloten kering). Onder de pijlers zijn de holle ruimten (tussen onderkant pijler en filter) gevuld met grout en om reden van stabiliteit zijn de holten in de pijlers gevuld met zand.



Figuur 2.3 Tekening van de dorpel bij Roompot 12 (Visser, 1986)

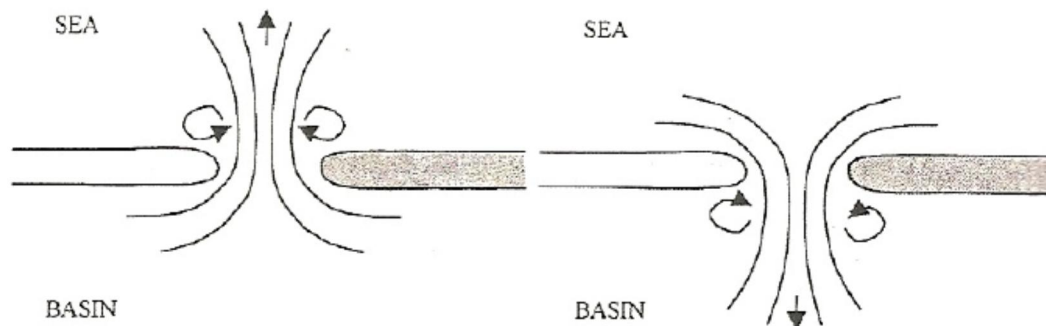
De kering – in gesloten toestand - lekt altijd. Tussen schuiven en balken zijn bewust spleten gelaten vanwege de bouwmethode en om te voorkomen dat er vervelende dynamische verschijnselen kunnen ontstaan, dan wel onderhoud aan afdichtingen zou moeten plaats vinden. Tegen de onderbalken is zeer grof materiaal geplaatst dat stabiel blijft liggen terwijl de stroom erboven langs giert en zelfs in geval er een schuif niet gesloten wordt, raakt de drempel niet zodanig zwaar beschadigd dat een pijlerfundatie gevaar loopt. De bodembescherming is ontworpen op een verval van 4,15 m (Ontwerpnota Bodembescherming). Maar zelfs als een pijler zou bezwijken dan komt de kerende functie van de OSK nog niet in gevaar omdat het gat dat dan ontstaat niet voldoende groot is om de OS-waterstand te veel te laten stijgen.

Het beschermde bodemgebied aan weerszijden van de kering is ongebruikelijk groot. Ca. 600 m lang (in stroomrichting) ter weerszijden van het hart van de kering. De lengte van de beschermingen heeft alles te maken met de verwachte kuilontwikkelingen en de bescherming van de pijlerfundatie. Ter plaatse van de overgangen van de bodembeschermingen en verwachte erosiekuilen is de grond deels verdicht en deels bestort opdat deze kuilen (aan beide zijden van de kering) niet via zettingsvloeiing invloed zouden kunnen hebben op de fundatie van de pijlers. Deze maatregelen hadden ook als doel de aanzehellingen van de kuilen niet steiler te laten worden dan 1:3. De wens was om de kuilen niet dieper (t.o.v. de beschermde bodem) te laten eroderen dan 25 m, hetgeen zonder maatregelen zeker dieper zou worden. De kuilontwikkelingen (en de liggingen van de beschermde bodemgebieden) zijn steeds gemonitord. Gelet op de ervaringen opgedaan in het beheer vormt het verschijnsel “kuilontwikkeling” een continu aandachtspunt voor het beheer- en onderhoudsysteem.

Na gereedkomen van de kering en de oostelijke compartimenteringsdammen startte het hydraulisch/morfologische systeem met een, gelet op de verwachte evenwichtssituatie, te diepe OS. De verwachting was aanvankelijk dat sedimenttoevoer uit zee de OS zou doen verontdiepen.

Echter de kuilen ter weerszijden van de kering functioneren als sedimentvang voor het zand dat de Oosterschelde in of uit wil. Deze ontgrondingskuilen zijn het gevolg van de getij-jet (“tidal jet”) welke is ontstaan door de vernauwing van het doorstroomprofiel door aanleg van de kering. Door deze getij-jet zijn benedenstrooms van de kering, turbulentie en

stroomsnelheden groter dan bovenstrooms (Figuur 2.4). Het gevolg is dat aan de bekkenzijde de getijgemiddelde stroming vloed-dominant is (dus bekkenwaarts gericht), terwijl deze aan de zeezijde juist eb-dominant is (dus zeewaarts gericht). Deze abrupte scheiding in eb- en vloeddominantie ter plaatse van de kering, veroorzaakt een vrijwel volledige blokkade van sedimenttransport door de kering (Bosboom, 2011; De Bruijn, 2012).



Figuur 2.4 Principe van de getij-jet (tidal-jet) benedenstrooms van de kering tijdens eb resp. vloed, verantwoordelijk voor blokkade van het netto sedimenttransport door de kering (Bosboom, 2011)

In de praktijk is dat ook gebleken; in de OS is feitelijk nog een flinke sedimenthonger aanwezig en de stijging van de zee zal dit probleem vergroten.

De sedimenthonger ten tijde van de aanleg van de OSK bedroeg vlak na de totstandkoming van de OSK 400 – 600 miljoen m<sup>3</sup> zand. De sedimenthonger wordt tot nu toe vrijwel alleen gestild door erosie van platen en schorren. Theoretisch kunnen de platen en schorren maximaal 160 miljoen m<sup>3</sup> sediment leveren. De sedimenthonger zal dus voor zeer lange tijd blijven bestaan indien er niet ingegrepen wordt.

### 2.3 Sluitregiem

Het ontwerppeil bij de noordelijke damaanzet bedraagt NAP +5,3 m; en aan de zuidelijke damaanzet NAP +5,5 m. Rekening houdend met zettingen van de kering en zeespiegelstijging is de kerende hoogte in de Hammen vastgesteld op NAP + 5,60 m en in de Schaar en Roompot op NAP + 5,80 m.

In het beheer van de kering is één hoofddoel de veiligheid van het Oosterscheldegebied tegen overstroming en een tweede hoofddoel is het behoud van voldoende getij in de Oosterschelde. Maar er zijn ook gebruiksmogelijkheden voor de OSK gedefinieerd:

- De gevolgen van een dijkval en opgetreden stormschade beperken;
- De bestrijding van olievervuiling;
- Het voorkomen van ernstige schade aan dijken als gevolg van drijfijis.

De inzet van de OSK ten behoeve van de nevendoelen heeft o.m. juridische aspecten die in het beslissysteem meegenomen worden.

De OSK wordt gesloten indien het verwachte peil – de zogenaamde Maatgevende Peilverwachting – bij meetstation Roompot Buiten NAP + 3,00 m bedraagt, indien de OSK niet gesloten zou worden. De OSK kan ruim voor het daadwerkelijk bereiken van dat peil gesloten worden. Indien de kering echter nog niet gesloten is en de waterstand bij Roompot Buiten bedraagt NAP + 3,00 m, dan zal het automatisch werkend noodsluitsysteem in werking treden.

Bij een verwacht meertoppig stormverloop, wordt de kering tussentijds geopend om het peil in de OS aan te laten passen, voordat de kering opnieuw dichtgezet wordt. Deze strategie wordt toegepast om de negatieve effecten van de sluitingen veroorzaakt door een stagnant

binnenpeil tijdens storm, zoveel mogelijk te spreiden over verschillende milieucomponenten en locaties. In het huidige beheer is ervoor gekozen om de zogenaamde 1-2-1 strategie toe te passen. Bij de eerste sluiting wordt het binnenpeil op NAP + 1m gehouden. Na het eerste hoogwater wordt het binnenpeil verhoogd naar NAP + 2 m. Vervolgens wordt na het tweede hoogwater, het binnenpeil weer verlaagd naar NAP + 1m. Het binnenpeil bij Stavenisse wordt hierbij als maatstaf gebruikt.

Er zijn diverse alternatieve scenario's denkbaar waarbij men b.v. een verwacht binnenpeil als waarde kiest, en er zijn scenario's voor een gereduceerd sluiten onder bepaalde omstandigheden ten behoeve van gebruiksfuncties. In de praktijk blijken deze situaties zich niet of nauwelijks voor te doen.

Bij stormsluitingen is ervoor gekozen het binnenpeil bij Stavenisse, in de praktijk niet lager te laten worden dan NAP. Gelet op het ontwerpverval, waarbij is uitgegaan van een binnenpeil nabij de kering van NAP -0,70 m, zit er dus nog een marge in het verval.

Uit veiligheidsoverwegingen is besloten de kering in principe altijd handmatig te sluiten en niet te kiezen voor altijd automatisch sluiten. Hoewel het laatste wel mogelijk zou zijn, blijkt de inundatiekans daarbij te hoog te worden. De automaat functioneert echter als een parallelsysteem en wordt daartoe altijd permanent operationeel gehouden.

Sluiten van de kering vindt om testredenen een keer per jaar plaats. Sinds 1986 is gemiddeld een keer per jaar de kering voor stormomstandigheden gesloten; zes van deze stormsluitingen vonden plaats in 1990. Afzonderlijk kunnen er schuiven gesloten worden vanwege onderhoud of controle.

De bodembeschermingen zijn bestand tegen die situaties. Openen van de kering gebeurt bij kleine vervallen en zodra dat mogelijk is. De reden daarvan is om de ecologie (ook de mosselcultures) niet langer dan nodig, aan stilstaand water bloot te hoeven stellen.

## 2.4 Overzicht peilen en ontwerpwaardes

	<b>Roompot</b> <i>buiten</i>	<b>Schaar</b> <i>buiten</i>	<b>Hammen</b> <i>buiten</i>	<b>Oosterschelde</b> <i>binnen</i>
Ontwerppeil	NAP +5,5 m	NAP +5,5 m	NAP +5,3 m	NAP -0,7 m
Huidige toetspeil*	NAP +5,2 m	NAP +5,2 m	NAP +5,2 m	
Bovenkant bovenbalk	NAP +5,8 m	NAP +5,8 m	NAP +5,6 m	
Onderkant bovenbalk	NAP +1,0 m	NAP +1,0 m	NAP +0,8 m	
Ontwerpverval pijlers	6,2 m	6,2 m	6,0 m	

\* Zoals opgenomen in het rapport 'Hydraulische Randvoorwaarden primaire waterkering HR2006'.

## 2.5 Invloed van zeespiegelstijging en mogelijke maatregelen

Korte termijn opgaven voor het Deltaprogramma houden enerzijds verband met het feit dat verschillende dijkvakken niet aan de huidige normen voldoen, en anderzijds met mogelijke



veranderingen in de stormopzetduur en de daaraan gekoppelde beslissingen over de duur van de stormen op zee waar in de toetsing rekening mee gehouden wordt ( zie ook par. 1.1). Voor de lange termijn houdt een belangrijke opgave verband met zeespiegelstijging. De vraag is wat de effecten zijn van de verwachte veranderingen.

### 2.5.1 Effecten bij ongewijzigde kering en ongewijzigd beheer

Bij de bouw van de kering is rekening gehouden met een zeewaterstand van NAP + 5,50 m (Roompot en Schaar) resp. NAP + 5,30 m (Hammen) en een Oosterscheldewaterstand nabij de kering van NAP –0,70 m. Inbegrepen in het ontwerp van de OSK is een beperkte zeespiegelstijging en zakking van de kering (bijeen 0,3 m). Het verval waarmee men rekening heeft gehouden is derhalve 6,20 m, resp. 6,00 m.

Bij stormsluitingen is ervoor gekozen het binnenpeil bij Stavenisse, in de praktijk niet lager te laten worden dan NAP. Dit betekent dat er in de constructie met betrekking tot het verval enige reserve aanwezig is voor opvang van extremer omstandigheden.

Gevolgen van de stijging van de zeespiegel indien men in het operationele beheer geen wijzigingen aanbrengt:

#### 1. Open kering:

- i. OS waterstand stijgt gewoon mee. Mitigerende maatregelen bij de dijken van de OS zijn wellicht nodig.
- ii. Een groter debiet vanwege de groter hydraulische doorsnede boven de drempels en dus groter getij in de Oosterschelde. Van belang voor de lokale erosiekuilen die hierdoor verder kunnen uitbreiden. Mitigerende maatregelen lijken nodig.
- iii. De stijging van de gemiddelde OS waterstand en (geringe) toename van het debiet, hebben beide een effect op de sedimenthonger in het systeem. Het effect is echter tegengesteld. Door stijging van de gemiddelde waterstand neemt de bergingsruimte voor sediment toe (de sedimenthonger groeit evenredig met de zeespiegelstijging). Daar staat tegenover dat een toename van het debiet, de geulen weer dichtert bij hun profielen voor de bouw van de OSK (de sedimenthonger van de geulen neemt af evenredig met de debiet toename). Naar schatting is het netto effect een geringe toename van de sedimenthonger. Voor een kwantificering is nader onderzoek nodig.  
Omdat door de ontgrondingskuilen een netto transport van sediment naar de OS vrijwel onmogelijk is, kan de geometrie van platen en geulen de zeespiegelstijging niet volgen. Mitigerende maatregelen lijken nodig.
- iv. Mogelijk nemen de maximale snelheden in de kering bij een hoger gemiddelde waterstand iets af omdat de weerstand van de kering iets kleiner wordt.
- v. Vaker raken van stromend water aan de bovenbalk (dat geeft waarschijnlijk geen problemen).
- vi. Prestatiepeilen zullen wijzigen, maar dat is afhankelijk van het sluitregiem.
- vii. Het plateau van de schutsluis kan, afhankelijk van de zeespiegelstijgsnelheid, te laag komen te liggen.

#### 2. Gesloten kering (incl. sluiten en openen)

- i. Meer wateroverloop over de bovenbalken bij gesloten kering. Dat lijkt voor de kering nog niet zo'n probleem; de kering laat echter een groter debiet toe richting de OS, dus OS waterstand wordt door de grotere instroom (tijdens de top van de



- storm) iets hoger. De gevolgen in samenhang met de reserve voor falende opening opnieuw bestuderen.
- ii. Andere golfbelasting op de kering (pijlers, schuiven, bovenbalken) (kan meer maar ook minder worden).
  - iii. Meer water (golfbelasting, mogelijk ook klappen) tegen de brug (betonnen verkeerskokers) voor wegverkeer. Het zal in plaats van spray wat meer massief water dat met name tegen de kokers zal komen.
  - iv. Meer lekdebiet door de drempelconstructie dan nu het geval kan zijn, maar dat is nog binnen de omstandigheden (groter verval, zie hiervoor) waarmee in het ontwerp rekening is gehouden.
  - v. De breukstenen dammen (landhoofdconstructies) zullen waarschijnlijk zwaarder door golven belast worden. Deze dammen voldoen nu aan de gestelde eisen (behorende bij 1:4000 jaar omstandigheden), maar de reserve in het ontwerp lijkt beperkt.
  - vi. Een minder dempende invloed van de havendammen. Havendammen voldoen (ook nu) niet aan de 1: 4000 jaar norm (ze vormen geen onderdeel van de kering), maar gerekend is, in bezweken toestand, op reducerende effecten op golven die de kering zullen belasten. Inmiddels vervullen de havendammen ook meer maatschappelijke functies, doordat daarop windmolens en een grote radartoren zijn geplaatst. Ook deze functies lopen een risico.
  - viii. Een groter verval over de OSK kering. Waarschijnlijk zal dit geen probleem vormen, aangezien er nog een marge zit op het ontwerp (Het ontwerpverval is 6.20 m voor de Roompot en 6.00 m voor de Schaar en Hammen).

### 2.5.2 Gewijzigd beheer al of niet met gewijzigde kering

Indien men het huidige Oosterscheldesysteem zo min mogelijk wil veranderen kan men een ander beheer wensen en mogelijk aanpassingen aan de kering aanbrengen. Daarmee in verband lijken mogelijke maatregelen in en langs de OS, en bij de OSK als volgt:

#### 1 In geval men bij open OSK **geen groter debiet** door de OSK wil toelaten:

- Schuiven inzetten om het debiet te beperken.
- Ophogen dorpelbalken (een groter maatregel is vervangen door hoger dorpelbalken) en daarbij schuiven minder laten zakken en (bij vervanging) minder hoog maken.
- Mitigerende maatregelen in verband met de grootte van de erosiekuilen blijven waarschijnlijk ook dan nodig (gelet op de huidige situatie).

#### 2 Indien men tijdens gesloten OSK **geen groter verval** over de OSK wil toelaten dan nu het geval is (Combinatie met 1 mogelijk):

- Toestaan dat ook de maximale waterstanden in de OS meestijgen met de zeespiegelstijging en indien van invloed op prestatiepeilen, mitigerende maatregelen bij de dijken nemen.  
Voor belastingen aan de zee kant van de kering, zie onder "Ongewijzigde kering en ongewijzigd beheer"
- Verhogen bovenbalk in verband met overloop en overslag nader bezien.

#### 3 Indien men alleen bij gesloten OSK **geen hogere maximale waterstanden** in de OS wil toelaten dan nu het geval is (Combinatie met 1 mogelijk.):

- Verval over de kering neemt toe ten opzichte van wat nu mogelijk is, maar effecten vallen waarschijnlijk binnen de ontwerpuitgangspunten voor de kering. (zie hiervoor)
- De belasting op de bestorte bodembeschermingen (asfaltmastiek, blokkenmatten) neemt toe (maar mogelijk blijft dat binnen de ontwerpomstandigheden, gelet op het huidige geringer verval; zie hiervoor).
- Invloed op prestatiepeilen.
- Voor belastingen aan de zeekant van de kering, zie onder "Ongewijzigde kering en ongewijzigd beheer"
- Verhogen bovenbalk i.v.m. overloop en overslag nader bezien.

*4 Indien men bij zowel open als gesloten kering **geen hogere waterstanden** in de OS wil toelaten (ook niet onder normale omstandigheden):*

- In theorie kan dat waarschijnlijk wel, maar de schuiven zullen permanent gebruikt moeten worden om het getij en het naar de OS toestromen te reduceren, c.q. het naar de zee stromen te bevorderen.
- Combinatie met verhogen van drempels (1) nader bezien.
- Turbulentie benedenstrooms kering neemt toe en mitigerende maatregelen i.v.m. de grootte van de erosiekuilen nodig.
- Verhogen bovenbalk i.v.m. overloop nader bezien. Dit lijkt vrij kostbaar.

*5 Indien men de **prestatiepeilen wil optimaliseren** :*

- In de huidige beheerstrategie is opgenomen dat voor het wel of niet sluiten van de OSK alleen gekeken wordt naar de verwachte waterstand bij meetstation Roompot Buiten. In geval van extreme stormen (bijvoorbeeld tijdens doodtij) kan het zo zijn dat de verwachte waterstand bij Roompot Buiten, de Maatgevende Peilverwachting niet overschrijdt, maar dat door de hoge golven op de Oosterschelde wel het toetspeil van de dijken overschreden wordt. Door het beheer zo te wijzigen dat de OSK in dergelijke situaties toch kan sluiten, kan de waterstand bij de dijken gereduceerd worden en zou een eventuele dijkversterking uitgesteld kunnen worden.

Tenslotte:

De pijlers en dorpel- en bovenbalken zijn gebouwd en geplaatst met een geplande levensduur van 200 jaar. De schuiven zijn gepland minimaal 50 jaar mee te gaan. Wat de feitelijke sterkte van de constructie is zou op basis van de ontwerpnota's en geconstateerde eigenschappen herbepaald kunnen worden. Wellicht dat er nog veel reserve in belangrijke onderdelen (waar onder de fundatie) van de kering aanwezig is. De geconstateerde erosie van de ontgrondingskuilen vergt echter nu al aandacht.

## 3 Integrale beschrijving veiligheidssysteem Oosterschelde

### 3.1 Inleiding

Het Oosterscheldesysteem wordt begrensd door de stormvloedkering (OSK), de dijken en compartimenteringsdammen. Deze begrenzing samen met de fysieke eigenschappen van het systeem (hydrodynamisch, chemisch, morfologisch en ecologisch), bepalen de waarde die het systeem vertegenwoordigt voor verschillende functies. De belangrijkste daarvan zijn:

- Veiligheid
- Ecologische waarde
- Visserij + andere economische activiteiten <sup>1</sup>

Ook in de toekomst, in geval van klimatologische veranderingen, wil men dat deze functies behouden blijven. Om te analyseren wat de gevolgen zijn voor het systeem en zijn functies, is het belangrijk om een beschrijving van het systeem op te stellen. Omdat het systeem uit veel verschillende componenten bestaat (kering, hydrodynamica in de Oosterschelde, morfologie in de Oosterschelde, etc.) en deze componenten elkaar beïnvloeden, is het belangrijk om het systeem beter inzichtelijk te maken. Daarom is als eerste een vereenvoudigd relatieschema opgesteld van het Oosterscheldesysteem (par. 3.2, Fig. 3.1 en 3.2).

Vervolgens zullen we eerst kijken naar de gevolgen van de klimatologische veranderingen op het Oosterscheldesysteem in het geval dat het huidige operationele en technische systeem niet veranderd wordt. Achtereenvolgens kijken we naar de gevolgen voor de veiligheidsfunctie (par. 3.3), de ecologie (3.4) en visserij / schelpdierteelt (3.5). Aansluitend beschouwen we dan een reeks van mogelijke aanpassingen aan het systeem met indicaties over de daaraan verbonden risico's (par. 3.6).

### 3.2 Definitie componenten

#### Kering

De component 'kering' bevat in deze studie het volgende:

- Het fysieke object
  - De constructie van de stormvloedkering (pijlers, dorpelbalken, bovenbalken, schuiven, hydraulische installatie)
  - Bodembescherming
  - Erosiekuilen aan weerszijden (tot en met het diepste punt)
- Het beheer
  - Het sluitregiem van de Oosterscheldekering (en de Maatgevende Peilverwachting die daarmee gepaard gaat).

We hebben de erosiekuilen niet bij de component morfologie geplaatst omdat deze al onderdeel uitmaakten van het ontwerp en er al bij de aanleg van de Oosterscheldekering, de grond bij de erosiekuilen deels kunstmatig verdicht is en de aanzehellingen deels met grof materiaal bestort zijn.

---

<sup>1</sup> Andere economische activiteiten betreffen scheepvaart en recreatie. In dit rapport beperken we ons echter in eerste instantie tot de functies veiligheid, ecologie en visserij.

Hydrodynamica OS

Onder de hydrodynamica rekenen we alle hydrodynamische processen die in de Oosterschelde van toepassing zijn

Morfologie OS

Onder de morfologie van de Oosterschelde rekenen we de grootschalige ontwikkeling in de vorm van de geulen en de intra-en supragetijdegebieden van zowel de Voordelta als het Oosterscheldebekken. Voorts rekenen we daartoe alle eigenschappen van bodem en van sedimenttransport welke daarmee samenhangen.

Dijken en compartimenteringsdammen

Onder de dijken en compartimenteringsdammen rekenen we de gehele constructie van dijk / dam, van teen tot binnentalud.

Ecologie

Onder ecologie verstaan we alle soortenkenmerken en processen binnen de planten- en dierenwereld en landschappen binnen het Oosterscheldesysteem.

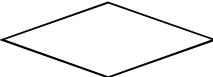


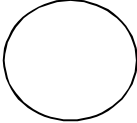
Gebruiksfuncties

Naast de veiligheidsfunctie beschouwen we als belangrijkste gebruiksfuncties natuurwaarde (ecologie) en de visserij.

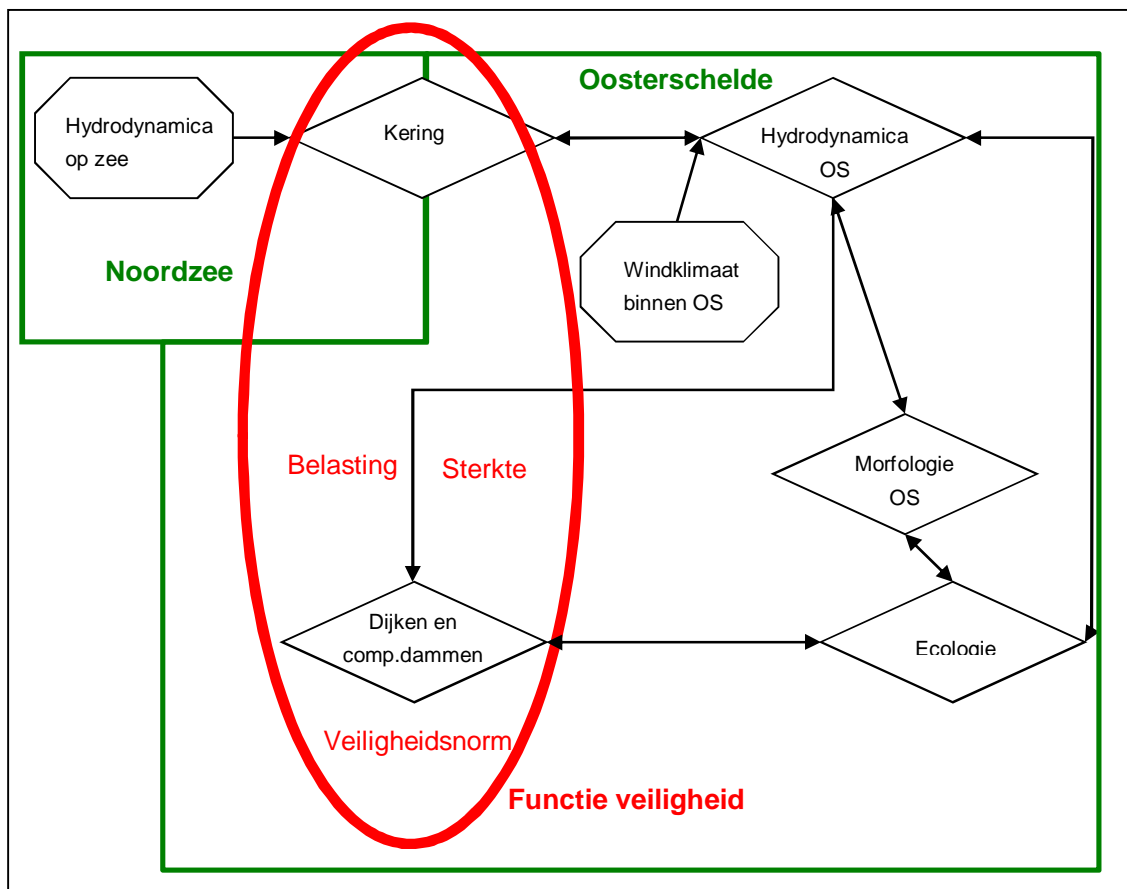
**3.3 Beschrijving huidig veiligheidssysteem**

Omwille van de duidelijkheid beschouwen we het systeem per functie afzonderlijk. Eerst zullen we ons alleen richten op de functie veiligheid.

In **Error! Reference source not found.** is een vereenvoudigd stroomschema te zien van het Oosterscheldesysteem voor de veiligheid tegen overstroming van het achterland, onder invloed van externe factoren bepaald door de hydrodynamica op de Noordzee en het windklimaat. De betekenis van de symbolen in deze memo is te vinden in Fig. 3.1.

	Afhankelijke toestandsvariabele: een toestandsvariabele die afhankelijk is van andere variabelen.
	Afhankelijke toestandsvariabele met mogelijk risico voor veiligheid, ecologie, visserij, etc
	Externe toestandsvariabele: bijvoorbeeld om klimatologische veranderingen weer te geven, die niet door het systeem beïnvloed kunnen worden
	Sturingsvariabele: Bijvoorbeeld de hoogte van de OSK.

Figuur 3.1 Betekenis symbolen in de gebruikte relatieschema's



Figuur 3.2 Vereenvoudigd relatieschema van het veiligheidssysteem van de Oosterschelde onder invloed van klimatologische veranderingen

Samengevat toont het schema het volgende:

- De (veranderende) hydrodynamica op zee (ten gevolge van klimatologische veranderingen) heeft een invloed op de kering. Daarnaast wordt de veiligheid van de kering beïnvloed door de hydrodynamica, denk aan het verdiepen van de erosiekuilen, wat gevolgen heeft voor de stabiliteit van de kering.
- De hydrodynamica op zee ondervindt door de kering een transformatie en gaat het Oosterscheldesysteem in. Daarnaast wordt de hydrodynamica in de Oosterschelde beïnvloed door het windklimaat op de Oosterschelde, de morfologie (bijvoorbeeld: kleiner plaatareaal, betekent grotere golfhoogtes) en de ecologie (bijvoorbeeld: vegetatie op schorren zorgt voor demping van golven).
- De morfologie in de Oosterschelde wordt beïnvloed door de hydrodynamica (bijvoorbeeld: plaaterosie door golfwerking) en de ecologie (vegetatie kan sediment vasthouden).
- De ecologie is afhankelijk van de morfologie (bijvoorbeeld: plaaterosie heeft een verkleinde leefomgeving voor kokkels tot gevolg en beperkt de foerageermogelijkheden voor vogels), de hydrodynamica (bijvoorbeeld: mosselvelden zijn afhankelijk van de stroomsnelheden waardoor voedsel aangevoerd wordt) en door de aanwezigheid van dijken en compartimenteringsdammen (bijvoorbeeld: de ruwe bekleding van een buitentalud kan een ideale leefomgeving zijn voor bepaalde schelpdieren).
- De veiligheid van de dijkringen rondom de Oosterschelde hangt af van de werking van de OSK en van de dijken en compartimenteringsdammen. De belasting op de dijken en compartimenteringsdammen wordt gevormd door de hydrodynamica in de Oosterschelde (maatgevende waterstand, maatgevende golfhoogtes). De sterkte van de dijk wordt

gevormd door geometrie en opbouw van de dijk. De sterkte van de talusbekleding kan worden beïnvloed door de ecologie (bijvoorbeeld: gras kan de sterkte van het buitentalud verhogen).

We zullen nu per component (kering, hydrodynamica, morfologie, dammen-en dijkenstelsel) bekijken door welke processen invloed wordt uitgeoefend en wat daarvan de effecten zijn. Meer gedetailleerde relatiediagrammen per component, zijn weergegeven in de Appendix. De hydrodynamica op zee beschouwen we als belangrijkste randvoorwaarde voor het veiligheidssysteem.

### 3.3.1 Invloeden op de kering

Appendix 1.1 laat het relatieschema zien voor de impact op de kering in geval van klimatologische veranderingen. De rode ruitsymbolen geven mogelijke gevaren aan voor de veiligheid. Samengevat, treden de volgende veranderingen op voor de kering:

- Door de aangenomen verhoging van de zeespiegel, verhoging van de stormopzet (vanwege extremere stormen) en grotere golfhoogtes zal de kering bij een gelijk Maatgevend Peilverwachting vaker dicht moeten.
- Deze verhoogde sluitingsfrequentie heeft gevolgen voor de faalkans in de tijd, indien men uitgaat van een gelijkblijvende faalkans per sluiting.
- Afhankelijk van het operationele beheer van de OSK zal er een groter verval over de OSK optreden. Voor de constructie zal dit statische verval waarschijnlijk geen probleem vormen. Het kan wel een probleem worden als één van de schuiven faalt. De bodembescherming is ontworpen op de situatie dat één schuif faalt bij een verval van 4,25 m. Door de klimaatsveranderingen zal het verval toenemen ten opzichte van de huidige situatie, waardoor ook de belasting op de bodembescherming zal toenemen.
- Door de toename van turbulentie en stroming direct stroomafwaarts van de Oosterscheldekering, zal de belasting op de erosiekuilen groter worden. De huidige erosiekuilen zijn nog niet in evenwicht en hebben daarom in de huidige situatie al een zekere erosiesnelheid. Het is de vraag of een toegenomen energie een groot effect heeft op de erosiesnelheid. De kuilontwikkeling vraagt een goede bewaking, want dit fenomeen kan een groot effect hebben op de stabiliteit van de fundatie van de OSK en omliggende dijken.
- Door en over de gesloten kering vind een debiet plaats richting de Oosterschelde. Dit debiet bestaat uit lek door de openingen tussen de schuiven en de vaste delen van de kering, lek door de drempelconstructie, overloop en overslag. Het debiet ten gevolge van overloop en overslag zal meer worden, aangezien de maatgevende waterstanden en mogelijk ook de maatgevende golfhoogte op zee zullen stijgen.

### 3.3.2 Invloeden op hydrodynamica Oosterschelde

Appendix 1.2 laat het relatieschema zien voor de impact van de klimatologische veranderingen op de hydrodynamica in de Oosterschelde. Samengevat, treden de volgende hydrodynamische veranderingen op:

- Hogere waterstand gedurende geopende kering. Hierdoor kunnen ook het getijverschil, het getijvolume en de stroomsnelheden toenemen. De omvang van deze mogelijke

toename zal afhangen van de mate van zeespiegelstijging. Nadere kwantificering hiervan is gewenst.<sup>2</sup>

- Indien er verwacht wordt dat de Maatgevende Peilverwachting overschreden zal worden, zal de OSK sluiten als het binnenpeil bij Stavenisse ongeveer NAP +1,00 m bedraagt. Door de verwachte toegenomen waterstand op zee zal het verval over de OSK en daarmee de lek door, en de overslag en eventuele overloop over de OSK toenemen. Het binnenpeil op de Oosterschelde zal hierdoor sneller stijgen. Ook door eventuele toegenomen windsnelheden kan de windopzet toenemen. Bij elkaar genomen kan dit leiden tot een toegenomen waterstand ter plaatse van de dijken.
- Indien een storm gepaard gaat met bijvoorbeeld doortij kan het zo zijn dat de Maatgevend Peilverwachting net niet optreedt, waardoor de OSK niet gesloten zal worden. Door de storm kunnen de windopzet op de Oosterschelde en de hogere golven echter mogelijk wel zorgen voor een overschrijding van de ontwerppeilen van bepaalde dijkvakken. Om te bepalen of deze gebeurtenis leidt tot een verhoging van het toetspeil zal nader onderzoek verricht moeten worden.
- De hoogte van de golven zal mogelijk nog meer toenemen door de verlaagde bodemweerstand (ten gevolge van plaaterosie). Door een verandering van het golfklimaat welke ongunstig is voor vegetatie en bodemdieren, kan in theorie de bodemweerstand nog verder afnemen; echter, tijdens maatgevende omstandigheden hebben bodemdieren en (schor)vegetatie waarschijnlijk een zeer kleine invloed heeft op de bodemweerstand.

### 3.3.3 Invloeden op morfologie Oosterschelde

Appendix 1.3 laat het relatieschema zien voor de impact van de klimatologische veranderingen op de morfologie in de Oosterschelde. Samengevat, treden de volgende hydrodynamische veranderingen op:

- De bodem van de Oosterschelde zal de waterspiegelstijging willen volgen. Om dit te kunnen realiseren is zand nodig. De zandbehoefte (die nu al groot is) in de Oosterschelde, zal door de waterspiegelstijging dus toenemen. Het grotere getijvolume zal deze extra zandbehoefte waarschijnlijk voor een deel compenseren, omdat de geuldiepte evenredig is met het getijvolume. De zandbehoefte ten gevolge van de klimaatsveranderingen zal waarschijnlijk relatief zeer klein zijn ten opzichte van de zandbehoefte die veroorzaakt is door de aanleg van de OSK. De omvang van de extra zandbehoefte is daarom moeilijk in te schatten.
- Door de hogere waterstand en hogere golven zal de plaaterosie die op dit moment al optreedt, mogelijk versneld worden. Het getijverschil heeft een invloed op de dieptezone waar erosie optreedt.
- Door de plaaterosie en de verhoogde laagwaterstand neemt het plaatareaal en de droogvalduur van de platen en slikken af. Een toegenomen getijverschil zal dit effect deels compenseren.
- De concentratie aan zwevend stof in de Oosterschelde zou kunnen toenemen bij toegenomen stroomsnelheden. Schelpdieren en vegetatie zijn in staat om een deel van dit zwevende stof / sediment op te vangen en het water helderder te maken. Wanneer het areaal aan habitats voor vegetatie en schelpdieren af zou nemen, zal er mogelijk meer sediment in suspensie blijven.
- Door de hogere waterstand in de Oosterschelde zal de golfaanval op de schorren, slikken en platen, groter worden.

<sup>2</sup> In de ANT-OS studie wordt vooralsnog uitgegaan van een zeespiegelstijging van 35 cm in 2060. Bij deze stijgsnelheid wordt er door ANT-OS vanuit gegaan dat ten opzichte van de toename in waterhoogte, veranderingen in getijverschil en stroomsnelheden marginaal zullen zijn.

### 3.3.4 Invloeden op belasting en sterkte dijksysteem

Appendix 1.4 laat het relatieschema zien voor de impact van de klimatologische veranderingen op het dijksysteem. Samengevat, treden de volgende veranderingen op:

- Door de hogere golven (als gevolg van een hogere waterstand, een toegenomen windopzet en weerstandverlaging door erosie van platen en slikken in het dijkvoorland) zal de golfbelasting op de dijken groter worden.
- Dat geldt voor de gemiddelde golfbelasting maar, door een grotere windopzet kan mogelijk ook de Maatgevende Hoogwaterstand bij de dijken toenemen.
- Het gevolg van de toegenomen Maatgevende Hoogwaterstand en toename van de gemiddelde golfbelasting is, dat de dijken een grotere kans hebben op falen vanwege overloop, en afname van de totale sterkte, piping, etc.

### 3.3.5 Samenvatting risico's huidig veiligheidssysteem

Er spelen met betrekking tot de veiligheid van het Oosterscheldesysteem de volgende mogelijke risico's:

- Risico A: Door de verhoogde waterstand zal de OSK vaker ingezet moeten worden. De kans dat een sluiting faalt in de tijd, zal daardoor groter worden.
- Risico B: Door de toename van turbulentie en stroming direct na de Oosterscheldekering zal de belasting op de erosiekuilen groter worden. De huidige erosiekuilen zijn nog niet in evenwicht en eroderen in de huidige situatie nog steeds. Het is een vraag hoe groot het effect van een toegenomen energie is op de erosiesnelheid. De kuilontwikkeling vraagt een goede bewaking, want dit fenomeen kan een groot effect hebben op de stabiliteit van de fundatie van de OSK en omliggende dijken.
- Risico C: Afhankelijk van het operationele beheer van de OSK is er kans op een groter verval over de OSK. Dit statische verval is geen probleem voor de constructie, tot een verval van 6,2 m bij de Roompot en Schaar en 6,0 m bij de Hammen. Faalt echter één schuif, dan kan er mogelijk erosie optreden van de bestorting op de bodembescherming (de bodembescherming is namelijk ontworpen op een verval van 4,15 m volgens de Ontwerpnota Bodembescherming).
- Risico D: Door hogere golven (als gevolg van een hogere waterstand, een toegenomen windopzet en weerstandverlaging door erosie van platen en slikken in het dijkvoorland) zullen de belastingen op de dijken toenemen en mogelijk de sterkte van de dijken overschrijden.
- Risico E: Door de hogere maatgevende waterstand op zee en de hogere golven, kan het zijn dat de golfklappen op de bovenbalk en verkeerskokers toenemen en daarmee een risico veroorzaken voor de stabiliteit van deze onderdelen.
- Risico F: De dimensionering (ontwerp) van de (zes) breukstenen dam aanzetten laat een hogere belasting waarschijnlijk niet toe.
- Risico G: Het toenemen van de waterstand kan gevolgen hebben voor het sluisplateau. Verwacht wordt echter dat de veiligheid van deze constructie met een relatief kleine ingreep te verbeteren is.

Daarnaast noteren we hier een indirect risico, namelijk de stabiliteit van de havendammen. Deze dammen zijn niet ontworpen op de 1:4000 jaar storm, maar er wordt op gerekend dat de beschadigde dammen (in geval van een dergelijke storm) wel voor een reductie van

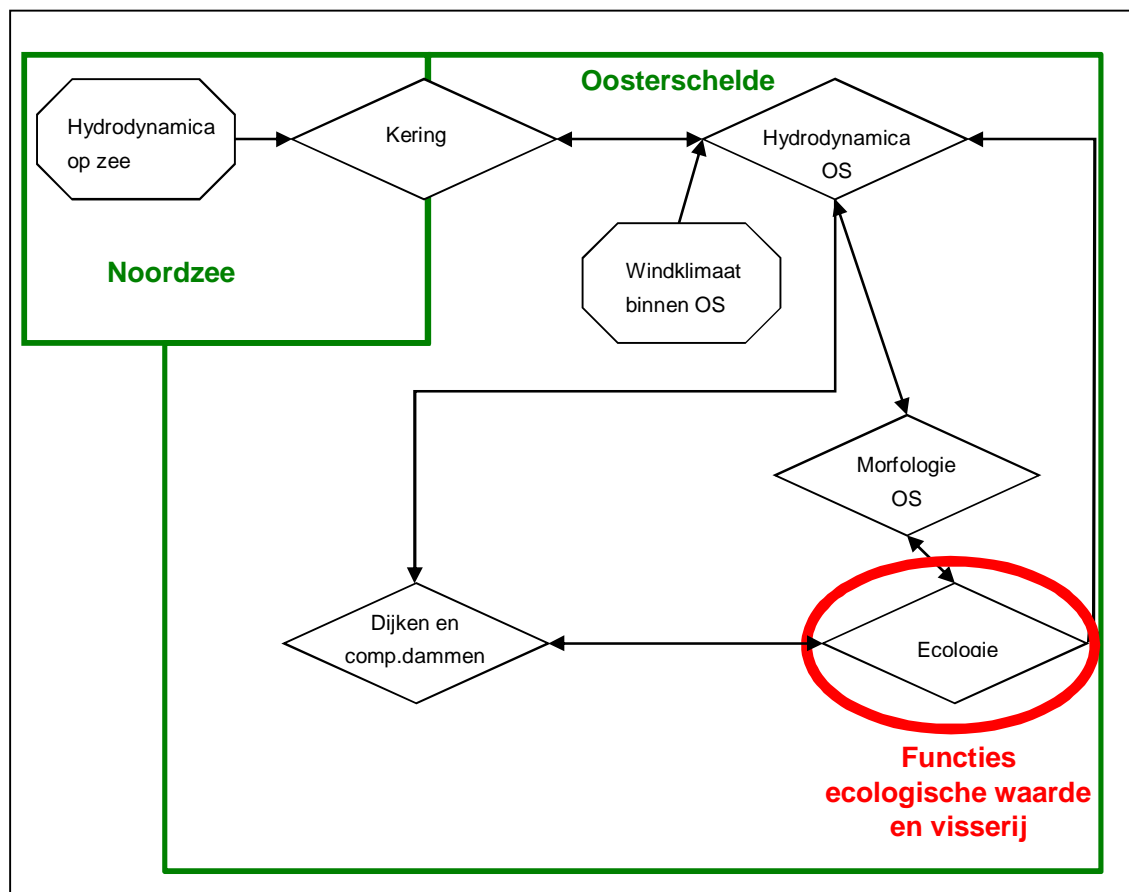


golfbelasting op de kering zorgen. Mogelijk worden de dammen zwaarder beschadigd dan indertijd voorzien was. Maar bovendien hebben de dammen een grotere maatschappelijke functie gekregen doordat daarop inmiddels windmolens en ook een grote radartoren is geplaatst. Ook deze functies lopen een risico.

### 3.4 Beschrijving huidig ecologische systeem

In paragraaf 3.3 is ingegaan op het systeem als het gaat om veiligheid. In dit hoofdstuk wordt er gekeken naar de gevolgen voor de ecologie van klimatologische veranderingen.

Figuur 3.3 laat een vereenvoudigd relatieschema zien van de Oosterschelde voor de functies ecologische waarde en visserij. Appendix 1.5 toont meer in detail de belangrijkste relaties met de component ecologie welke een rol spelen bij veranderingen in hydrodynamische randvoorwaarden.



Figuur 3.3 Vereenvoudigd relatieschema Oosterscheldesysteem in geval van klimatologische veranderingen, met betrekking tot de functies ecologie en visserij

De grootste invloed op de functie ecologie wordt uitgeoefend door de erosie van platen, slikken en schorren, leidend tot een afname van het areaal en van de hoogte, met grote gevolgen voor de overspoelingsfrequentie en droogvalduur. De kwantiteit en kwaliteit van habitats voor bodemdieren, schorvegetatie en vogels in de Oosterschelde, verandert hierdoor sterk.

In theorie kan de overspoelingsfrequentie beïnvloed worden door het sluitregiem van de kering. In de praktijk zal de invloed hiervan op platen en slikken uiterst gering zijn. Deze worden nagenoeg elk getij overspoeld en bij een sterke oostenwind blijft er nu ook al af en toe een overspoeling van de hoogste delen achterwege. Een extra sluiting zal voor de ecologische inhoud geen effecten hebben. Het systeem van de hogere delen kan hier tegen. Wel wordt de schorvegetatie iets beïnvloed. Iedere sluiting betekent daar dat het schor een keer minder per jaar wordt overstroomd. De grens van een schor ligt bij 5x overspoeling/jaar, dus de bovengrens zal naar beneden gaan. Maar in de OS wordt die grens nergens gehaald. Dus hooguit zal er een marginale verschuiving van de hoogste vegetaties naar beneden optreden.

Op bodemdieren is de invloed vooralsnog marginaal. Een probleem kan ontstaan als de hoogste delen echt weg zijn, omdat dat voor bv wadpier en sommige schelpdieren wordt gebruikt als opgroeigebied van juvenielen. Als (ooit) deze hoogste delen helemaal weg zijn (door erosie en/of ZSS) zouden deze het moeilijk kunnen krijgen. Op vogels daarentegen is een groot effect te verwachten omdat zij minder (te weinig) foerageertijd hebben. Zij zullen verdwijnen.

Het sluitregiem kan wel invloed hebben op de mate van “event-erosie” door storm tijdens sluitingen. De “1-2-1” strategie bij meertoppige stormen, waarbij het stagnante binnenpeil – en daarmee de zone waarin de stormerosie optreedt – speelt hier op in.

Erosie van platen en slikken vindt echter ook plaats tijdens periodes dat de kering niet is gesloten. Om ook deze erosie tegen te gaan door aanpassing van het keringbeheer, is blijkens recent onderzoek (ANT, 2012) nauwelijks effectief.

#### 3.4.1 Samenvatting risico's voor ecologische waarde

Bij het huidige operationele systeem treedt er één dominant risico op voor de ecologie:

Risico H: Het plaatareaal en droogvalduur zal afnemen wat een risico vormt voor de platen, slikken en schorren en voor de dieren en vegetatie die afhankelijk is van deze platen.

### 3.5 Beschrijving huidige visserijfunctie

Voor de visserijsector is de Oosterschelde met name van belang voor de schelpdierkweek. Het vereenvoudigde relatieschema voor de functie visserij valt samen met dat voor de algemene functie ecologie (Figuur 3.3).

Kijkend naar de risico's die samenhangen met de huidige ontwikkelingen en de effecten van een versnelde zeespiegelstijging<sup>3</sup>, worden deze voor de visserij toch iets anders ingeschat dan voor de ecologie in het algemeen:

- de schelpdierkweek vindt met name plaats onder Gemiddeld Laag Water. Bij vermindering van het areaal droogvallend gebied (plaat en slik) – ongunstig voor de ecologie als geheel – zal er dus MEER ondiep gebied komen dat potentieel geschikt is voor schelpdierkweek.
- wat echter op langere termijn wel kan gebeuren is dat de beschutting tegen golven van ondiepe kweekpercelen enigzins kan afnemen omdat golven gemakkelijker over de verlaagde platen heen spoelen.

<sup>3</sup> Andere effecten van een klimaatverandering, zoals wijzigingen in de gemiddelde temperatuur en neerslagpatronen, welke ook een invloed kunnen hebben op de visserij, worden hier vooralsnog buiten beschouwing gelaten.

Risico I: de beschutting tegen golfaanval van de kweekpercelen voor schelpdieren, zou geleidelijk af kunnen nemen als gevolg van doorgaande erosie van hogere plaatdelen.

## 4 Effecten van aanpassingen aan het systeem

### 4.1 Risico's en mogelijke beheersmaatregelen

In Appendix 1 kan men voor de verschillende componenten, de zogenaamde stuurvariabelen onderscheiden. Deze stuurvariabelen zijn weergegeven in cirkels, en hebben betrekking op mogelijke beheersmaatregelen. Een voorbeeld van een stuurvariabele voor de component 'kering' is 'hoogte bovenbalk'. Door de hoogte van de bovenbalk te veranderen kan de kans op overloop en overslag verkleind worden. Dit heeft weer gevolgen voor de rest van het Oosterscheldesysteem.

Door het systeem te sturen kunnen de geïdentificeerde risico's verkleind worden. De **geïdentificeerde risico's voor 'veiligheid', 'ecologie' en 'visserij'** zijn:

- Risico A: Door de verhoogde waterstand zal de OSK vaker ingezet moeten worden. De kans dat een sluiting faalt in de tijd zal daardoor groter worden.
- Risico B: Door de toename van turbulentie en stroming direct na de Oosterscheldekering zal de belasting op de erosiekuilen groter worden. De huidige erosiekuilen zijn nog niet in evenwicht en eroderen in de huidige situatie nog steeds. Het is een vraag hoe groot het effect van een toegenomen energie is op de erosiesnelheid. De kuilontwikkeling vraagt een goede bewaking, want dit fenomeen kan een groot effect hebben op de stabiliteit van de fundatie van de OSK en omliggende dijken.
- Risico C: Afhankelijk van het operationele beheer van de OSK is er kans op een groter verval over de OSK. Dit statische verval is geen probleem voor de constructie, tot een verval van 6,2 m bij de Roompot en Schaar en 6,0 m bij de Hammen. Faalt echter één schuif, dan kan er mogelijk erosie optreden van de bestorting op de bodembescherming (de bodembescherming is namelijk ontworpen op een verval van 4,15 m volgens de Ontwerpnota Bodembescherming).
- Risico D: Door hogere golven (als gevolg van een hogere waterstand, een toegenomen windopzet en weerstandverlaging door erosie van platen en slikken in het dijkvoorland) zullen de belastingen op de dijken toenemen en mogelijk de sterkte van de dijken overschrijden.
- Risico E: Door de hogere maatgevende waterstand op zee en de hogere golven kan het zijn dat de golfklappen op de bovenbalk en verkeerskokers toenemen en daarmee een risico veroorzaken voor de stabiliteit van deze onderdelen.
- Risico F: De dimensionering (ontwerp) van de (zes) breukstenen dam aanzetten laat een hogere belasting waarschijnlijk niet toe.
- Risico G: Het toenemen van de waterstand kan gevolgen hebben voor het sluisplateau. Verwacht wordt echter dat de veiligheid van deze constructie met een relatief kleine ingreep te verbeteren is.
- Risico H: Het plaatareaal en droogvalduur zal afnemen wat een risico vormt voor de platen, slikken en schorren en voor de dieren en vegetatie die afhankelijk is van deze platen.
- Risico I: de beschutting tegen golfaanval van de kweekpercelen voor schelpdieren, kan geleidelijk afnemen als gevolg van doorgaande erosie van hogere plaatdelen.

De **mogelijke beheersmaatregelen / aanpassingen** die in deze beschrijving beschouwd worden zijn:

Aanpassingen aan de kering

1. Verhogen van de drempelhoogte
2. Verhogen hoogte bovenbalk
3. Verlengen bodembescherming

Aanpassingen van het sluitregiem

4. Verlagen 'Maatgevende Peilverwachting' en Alarmpeil, zodat het toetspeil bij de dijken gelijk blijft ten opzichte van de huidige situatie
5. Verhogen 'Maatgevende Peilverwachting' en Alarmpeil, zodat de sluitingsfrequentie gelijk blijft
6. Sluiten op verwachte windcondities
7. Sluiten op andere binnenpeilen

Aanpassingen van de morfologie

8. Suppletie met grof materiaal
  - a. Suppletie van grof materiaal in erosiekuilen OSK
9. Suppleties met zand
  - a. Suppletie van zand op platen en (zandige) slikken
  - b. Suppletie van zand in erosiekuilen OSK

Aanpassingen aan bestaande waterkeringen

10. Versterken dijken en compartimenteringsdammen

Hieronder zal per aanpassing indicatief en kwalitatief, beschreven worden wat het beoogde en mogelijke effect is van de aanpassing op de risico's voor veiligheid, ecologie en visserij. Deze beschrijvingen zijn gebaseerd op de relatieschema's, weergegeven in Appendix 1.1 t/m 1.6. In Appendix 1.6 wordt een voorbeeld gegeven van hoe het effect van een aanpassing bepaald is.

## 4.1.1 Verhogen drempelhoogte

De effecten van het verhogen van de drempelhoogte op de functie veiligheid worden getoond in Appendix 1.6.

Veiligheid

De hoogte van de drempel is gekoppeld met het getijvolume en het getijverschil. Indien de drempel verhoogd wordt, zal de doorstroomopening en daarmee de getijdoordringing, kleiner worden. Dit heeft tot gevolg dat getijverschil, getijvolume en stroomsnelheden in de Oosterschelde kleiner worden.

Door het verkleinen van het getijvolume zal de zandhonger in de Oosterschelde iets verder toenemen. Deze toename is echter relatief klein ten opzichte van de huidige zandhonger (die veroorzaakt is door de bouw van de OSK). De enigszins verlaagde stroomsnelheden (minder sedimenttransport) zorgen voor een verder verminderde plaatopbouwende kracht, wat bij gelijkblijvende afbrekende krachten door golfwerking, kan leiden tot een toegenomen snelheid van plaaterosie.

Door een toename in plaaterosie heeft een verhoging van de dorpelbalk waarschijnlijk een negatief effect op de golfhoogte en daarmee ook een negatief effect op de faalkans van de dijk.

Door de afgenomen stroomsnelheden zal waarschijnlijk de mate en snelheid van verdieping van de erosiekuilen afnemen. Hierdoor lijkt de bedreiging van de stabiliteit van de OSK verminderd te kunnen worden.

#### Ecologie

Door stijging van de laagwaterstanden zal een kleiner deel van de platen slikken droogvallen. Bovendien zal door een toename van plaaterosie, het plaatareaal sneller achteruitgaan en wordt de droogvalduur verder negatief beïnvloed.

#### Visserij

Deze aanpassing heeft geen significante gevolgen voor de visserij

#### Samenvattend

Verhoging van de drempelhoogte kan een *gunstig* effect hebben op:

- Stabiliteit kering, doordat de mate en snelheid van verdieping van de erosiekuilen afneemt;

en een *ongunstig* effect op

- Stabiliteit van dijken en compartimenteringsdammen;
- Plaatareaal en droogvalduur.

### 4.1.2 Verhogen hoogte bovenbalk

#### Veiligheid

Door het verhogen van de hoogte van de bovenbalk zal er minder overloop en golfoverslag plaatsvinden. Door de verminderde kans op overslag en overloop zal de waterstand op de Oosterschelde minder snel stijgen. Mogelijk heeft dit een gunstig effect op het toetspeil van de dijkkringgebieden.

Bij zeer hoge waterstanden op zee kan het verval over de constructie toenemen en dus een ongunstig effect hebben op bodembescherming indien één schuif faalt.

De overige risico's worden niet beïnvloed door deze aanpassing.

#### Ecologie

Deze aanpassing heeft geen gevolgen voor de ecologie

#### Visserij

Deze aanpassing heeft geen gevolgen voor de visserij

#### Samenvattend

Verhogen hoogte bovenbalk kan een *gunstig* effect hebben op:

- Stabiliteit van dijken en compartimenteringsdammen;
- en een *ongunstig* effect op
- Stabiliteit bodembescherming in geval van een falende schuif.

### 4.1.3 Verlengen bodembescherming

#### Veiligheid

Met het verlengen van de bodembescherming wordt de afstand tussen OSK en erosiekuilen groter. Een eventuele zettingsvloeiing op de rand van de erosiekuil zal dan een gereduceerde invloed hebben op de fundatie van de OSK.

#### Ecologie

Deze aanpassing heeft geen gevolgen voor de ecologie

#### Visserij

Deze aanpassing heeft geen gevolgen voor de visserij.

#### Samenvattend

Deze aanpassing kan een gunstig effect hebben op:

- Stabiliteit kering, door reductie van de invloed van de erosiekuilen.

#### 4.1.4 Verlagen Maatgevende Peilverwachting en Alarmpeil

Verlagen van de Maatgevende Peilverwachting (en van het Alarmpeil) heeft als doel om, bij een stijgende zeespiegel, de maatgevende waterstand bij de dijken op gelijk niveau te houden ten opzichte van de huidige situatie.

##### Veiligheid

Door het verlagen van het Maatgevende Peilverwachting zal de OSK vaker moeten sluiten en zal de sluitduur toenemen. Dit heeft gevolgen voor de kans in de tijd, dat de kering niet sluit, indien de faalkans per sluiting gelijk blijft.

Het constant houden van het toetspeil bij de dijken en dammen draagt bij aan de veiligheid tegen overstromen. Echter, het toetspeil voor de verschillende dijkvakken langs de Oosterschelde wordt op dit moment vooral bepaald door de kans op een noodsluiting in combinatie met zeer hoge waterstanden bij Roompot Buiten (en daarmee een groot lekdebiëet en mogelijk grote overloop over de bovenbalk). Indien de Maatgevende Peilverwachting en het Alarmpeil beiden verlaagd worden kan het gevolg van een noodsluiting kleiner zijn en het toetspeil voor de verschillende dijkvakken lager worden.

##### Ecologie

Tijdens een sluiting van de OSK is de bekkenwaterstand redelijk constant en is de aanval van golven gericht op een kleine plaatzone. In deze zone kan in een korte tijd relatief veel erosie plaats vinden. Door het verlagen van de Maatgevende Peilverwachting zal de sluitingsfrequentie toenemen, waardoor de "event-erosie" van platen slikken kan toenemen. De erosie in periodes dat de kering niet is gesloten, blijft onverminderd bestaan. De inschatting is dan ook dat een verlaging van de Maatgevende Peilverwachting een beperkt ongunstig effect heeft op de ontwikkeling van het plaatareaal.

##### Visserij

Een (lichte) toename van de plaaterosie kan er toe leiden dat de beschutting tegen golfaanval van bepaalde kweekpercelen, afneemt

##### Samenvattend

Verlagen van Maatgevende Peilverwachting en Alarmpeil kan een *gunstig* effect hebben op:

- Stabiliteit van dijken en compartimenteringsdammen;
- een *beperkt ongunstig* effect op
- Plaatareaal en de beschutting van bepaalde kweekpercelen tegen golfwerking;
- en een *ongunstig* effect op
- Faalkans op sluitingen per tijdseenheid.

#### 4.1.5 Verhogen Maatgevende Peilverwachting en Alarmpeil

Verhogen van de Maatgevende Peilverwachting, bij een stijgende zeespiegel, heeft als doel de sluitingsfrequentie gelijk te houden.

##### Veiligheid

Bij een stijgende zeespiegel, kan door het verhogen van de Maatgevende Peilverwachting een toename van de sluitingsfrequentie en sluitingsduur van de OSK worden voorkomen of beperkt. Dit heeft tot gevolg dat - indien de faalkans per sluiting gelijk blijft -, de kans in de tijd dat de kering niet sluit, gelijk kan blijven of afneemt.

Het toetspeil voor de verschillende dijkvakken langs de Oosterschelde wordt op dit moment vooral bepaald door de kans op een noodsluiting in combinatie met zeer hoge waterstanden

bij Roompot Buiten (en daarmee een groot lekdebiet). Indien de Maatgevende Peilverwachting en het Alarmpeil verhoogd worden, kunnen de gevolgen van een noodsluiting groter worden en het toetspeil bij de dijkvakken hoger worden.

#### Ecologie

Tijdens een sluiting van de OSK is de bekkenwaterstand redelijk constant en is de aanval van golven gericht op een kleine plaatzone. In deze zone kan dus in een korte tijd relatief veel erosie plaats vinden. Door het verhogen van de Maatgevende Peilverwachting kan de sluitingsfrequentie gelijk blijven, met nihil effect op de plaaterosie, of afnemen met als gevolg een kleine reductie in “event-erosie” van platen slikken.

#### Visserij

Een (lichte) afname van de plaaterosie lijkt gunstig voor het behoud van de beschutting tegen golfaanval van bepaalde kweekpercelen.

#### Samenvattend

Verhogen van Maatgevende Peilverwachting en Alarmpeil kan een *gunstig effect* hebben op

- Faalkans op sluitingen per tijdseenheid;
- een *beperkt gunstig effect* op
- Plaatareaal en de beschutting van bepaalde kweekpercelen tegen golfwerking
- en een *ongunstig effect* op:
- Stabiliteit van dijken en compartimenteringsdammen

### 4.1.6 Sluiten op verwachte windcondities

#### Veiligheid

In de huidige beheerstrategie is opgenomen dat voor het wel of niet sluiten van de OSK alleen gekeken wordt naar de verwachte waterstand bij meetstation Roompot Buiten. In geval van extreme stormen (bijvoorbeeld tijdens doortijd), kan het zo zijn dat de verwachte waterstand bij Roompot Buiten de Maatgevende Peilverwachting niet overschrijdt, maar dat door de hoge golven op de Oosterschelde wel het ontwerppeil van de dijken overschreden wordt. Door het beheer zo te wijzigen dat de OSK in dergelijke situaties toch kan sluiten, zou het toetspeil bij de dijken verlaagd kunnen worden en zou een eventuele dijkversterking uitgesteld kunnen worden.

#### Ecologie

Door deze maatregel zal de OSK mogelijk eens per X aantal jaren vaker moeten sluiten. Het effect op de plaaterosie zal daarom verwaarloosbaar zijn.

#### Visserij

Door deze maatregel zal de OSK mogelijk eens per X aantal jaren vaker moeten sluiten. Het effect op de visserij zal daarom verwaarloosbaar zijn.

#### Samenvattend

Sluiten op verwachte windcondities kan een *gunstig effect* hebben op

- Stabiliteit van dijken en compartimenteringsdammen

### 4.1.7 Sluiten op andere binnenpeilen

In het huidige beheer wordt altijd gesloten op een binnenpeil van NAP +1,00 m. Bij een meertoppige storm wordt ook initieel op NAP + 1,00 m gesloten, maar wordt het binnenpeil verhoogd tot NAP + 2,00 m na het eerste hoogwater. Men zou ervoor kunnen kiezen om in de toekomst te sluiten op andere (lagere/hogere) binnenpeilen.



#### Veiligheid

Met het oog op de veiligheid lijkt het verlagen van het binnenpeil geen probleem. Het verval over de OSK wordt iets groter, maar daar lijkt nog genoeg marge in te zitten. Het sluiten op een hoger binnenpeil zou wel ongunstig kunnen uitwerken voor een aantal dijkvakken / compartimenteringsdammen.

#### Ecologie

Tijdens een sluiting van de OSK is de waterstand redelijk constant en is de aanval van golven gericht op een kleine plaatszone. In deze zone kan dus in een korte tijd relatief veel erosie plaats vinden. Mogelijk zou de plaaterosie tijdens sluitingen verminderd kunnen worden door meer variatie toe te passen in het te kiezen binnenpeil.

#### Visserij

Indien het binnenpeil zodanig wordt gekozen dat de schelpdierpercelen niet in de erosieve zone belanden, zullen er voor de visserij waarschijnlijk geen negatieve effecten optreden.

#### Samenvattend

Het sluiten op variabele binnenpeilen zou mogelijk een *gunstig effect* kunnen hebben op

- Plaatareaal;
- en wellicht een *beperkt ongunstig effect* op
- Stabiliteit van dijken en compartimenteringsdammen

### 4.1.8 Suppletie van grof materiaal in erosiekuilen

#### Veiligheid

Door het storten van erosiebestendig grof materiaal in de erosiekuilen, wordt voorkomen dat deze verder verdiept worden. De erosiekuil wordt door deze aanpassing gestabiliseerd en reduceert daardoor een mogelijk risico voor de fundatie van de OSK.

#### Ecologie

Door de hoge dynamiek is naar verwachting de ecologische rijkdom in de erosiekuilen uiterst gering. Het effect op de ecologie wordt daarom ook aangenomen als verwaarloosbaar.

#### Visserij

Deze aanpassing heeft geen significante gevolgen voor de visserij

#### Samenvattend

Storten van grof materiaal in de erosiekuilen kan een *zeer gunstig effect* hebben op:

- Stabiliteit gering

#### 4.1.9 Herhaalde suppletie van zand in erosiekuilen

##### Veiligheid

Indien er regelmatig een zandsuppletie (eens per X jaar) in de erosiekuilen zou worden uitgevoerd, zou de omvang van de erosiekuilen kunnen worden gestabiliseerd of zelfs gereduceerd. Dit zou een positief effect kunnen hebben op de stabiliteit van de kering.

##### Ecologie

De suppletie zou regelmatig herhaald moeten worden, omdat het zand uit de kuil zal eroderen. Het suppletiezand uit de erosiekuilen aan de bekkenzijde van de kering zal naar binnen getransporteerd worden in de Oosterschelde. Dit zou er toe bijdragen dat op termijn, de zandhonger kleiner zou worden en daarmee ook mogelijk de erosie van platen en slikken. Op langere termijn zou daarmee dus een positief effect bereikt kunnen worden op het plaatareaal.

##### Visserij

Deze aanpassing heeft geen significante gevolgen voor de visserij

##### Samenvattend

Herhaalde suppletie van zand in de erosiekuilen kan een *gunstig* effect hebben op

- Stabiliteit kering ;
- en, op langere termijn, een *gunstig* effect op
- Plaatareaal

#### 4.1.10 Suppletie zand op platen en slikken

##### Veiligheid

Door het suppleren van zand op platen en slikken, kan de bodemruwheid van de Oosterschelde toenemen. Hierdoor kan de golfhoogte in de Oosterschelde en in het voorland van de dijken en dammen, afnemen. De golfbelasting op de dijken kan dus afnemen door deze aanpassing.

##### Ecologie

Door het herhaald suppleren van zand op platen en zandige slikken kan het plaat- en slikareaal voor langere tijd, behouden blijven, met een *gunstig* effect op de droogvalduur en voedselbeschikbaarheid voor vogels.

Door met een lage frequentie, ruimtelijk gespreid, suppleties uit te voeren, is een optimum te bereiken tussen tijdelijke en lokale ecologische schade als gevolg van begraving, en lange termijn rendement, in de vorm van het behoud van plaatareaal.

##### Visserij

Door een gerichte spreiding, timing en vormgeving van de suppleties moet het mogelijk zijn, potentieel negatieve effecten voor de schelpdierkweek tot een minimum te beperken. De proefsuppletie op de Galgeplaat in de Oosterschelde, geeft daarvan een voorbeeld.

##### Samenvattend.

Herhaald suppleren van zand op platen en slikken kan een *zeer gunstig* effect hebben op

- Plaatareaal en
- Lange termijn behoud van ecologische waarden;

een *gunstig* effect op

- Stabiliteit van dijken en compartimenteringsdammen;
- en *tijdelijk en lokaal, ongunstige* effecten op
- bodemleven en schelpdierkweek,

welke geminimaliseerd kunnen worden door een gerichte spreiding, timing en vormgeving van de suppleties.

#### 4.1.11 Versterken dijken en compartimenteringsdammen (met behoud van de OSK)

##### Veiligheid

Zoals aangegeven in Appendix 1.4 zouden in geval van klimatologische veranderingen, de dijken mogelijk kunnen falen door een verhoogde maatgevende waterstand en hogere golven. Door het versterken van de dijken en compartimenteringsdammen zou dit falen tegengegaan kunnen worden. Als de OSK zijn kerende functie blijft vervullen worden de benodigde versterkingen beperkt.

##### Ecologie

Effecten op de ecologie zijn afhankelijk van de uitvoeringswijze.

Bij traditionele versterkingen met stenen en asfalt, komen in het voorland werkstroken voor met forse afmetingen (10-20m), waardoor schorren, en op slikken met name de zeegrasvelden, in de verdrukking komen. Bij verkeerde afwerking, bijvoorbeeld wanneer erg veel stenen op het slikken zijn achter gelaten, kan ook de foerageerfunctie voor vogels lokaal worden aangetast.

Bij de inzet van innovatieve dijkconcepten (Tangelder en Ysebaert, 2011), bijvoorbeeld in combinatie met suppletie op het slik in het dijkvoorland (zie 3.6.11), kan ecologische schade niet alleen worden voorkomen, maar zelfs omgebogen naar ecologische winst.

##### Visserij

Versterken dijken en compartimenteringsdammen heeft nauwelijks gevolgen voor de visserij

##### Samenvattend

Versterken dijken en compartimenteringsdammen heeft een rechtstreeks gunstig effect op

- Stabiliteit van dijken en compartimenteringsdammen
- en afhankelijk van de uitvoeringsvorm, een gunstig, dan wel ongunstig effect op
- De ecologie.

## 4.2 Conclusies over aanpassingen aan het systeem

Bovenstaande kwalitatieve analyse toont dat er in principe een scala aan mogelijke beheersmaatregelen en aanpassingen bestaat, waarmee de verschillende risico's kunnen worden beheerst.

Kijken we naar de risico's voor het veiligheidssysteem van de Oosterschelde, dan is de inschatting dat de belangrijkste daarvan betrekking hebben op

- de sterkte van de OSK, en met name
  - risico B : invloed van ontwikkelingen in de erosiekuilen
  - risico F : de dimensionering van de breukstenen damaanzetten;
- de sterkte en belasting op de omringende dijken en compartimenteringsdammen
  - risico D : verhoging van de golfbelasting.

De stabiliteit van de OSK hangt sterk samen met de grootte van de erosiekuilen doordat hier de bron ligt voor de reeds geconstateerde zettingsvloeiingen in het gebied van de bodembeschermingen (risico B). De grootte van de erosiekuilen heeft ook van meet af aan een negatieve invloed gehad op de morfologische ontwikkeling in de Oosterschelde. De kuilen vangen immers het sediment af dat vanuit zee de Oosterschelde in wil gaan. Veel pleit er daarom voor deze kuilen in grootte te decimeren.

De breuksteendammen die de damaanzetten vormen (risico F), zullen bij een hogere zeewaterstand zwaarder aangevallen worden en gelet op de beperkte reserve in het ontwerp ervan is mogelijk serieuze schade mogelijk in inleiding kan vormen voor vervolgschade in de omgeving (dijken). Een aanpassing lijkt gewenst, maar ook relatief eenvoudig uitvoerbaar. Dit is dus een aandachtspunt met uitzicht op een oplossing.

De veiligheid van dijken en compartimenteringsdammen (risico D) hangt samen met de kwaliteit van deze werken (en met name de oude dijken), de hoogte van de waterspiegel en de golfhoogtes ter plaatse. De hoogte van de waterspiegel is afhankelijk van de beheerkeuze, maar vooralsnog wordt hier aangenomen dat de waterstand mee omhoog gaat met de zeespiegel. De hoogte van de golven is afhankelijk van de verwachte windkracht en het voorland. Dat laatste wordt belangrijk beïnvloed door de morfologie van het gebied en – in detail - door de geulligging voorlangs de betreffende dijk of dam. Voor de veiligheid van de dijken en compartimenteringsdammen is meer duidelijkheid en zekerheid over de morfologie van het gebied daarom belangrijk.

Voor het inperken van deze risico's bestaat een reeks van maatregelen welke afzonderlijk of in combinatie, kan worden ingezet.

De stelling van DP | ZW Delta (2012) “...In de Oosterschelde kan de klimaatverandering tot 2100 opgevangen worden met technische aanpassingen aan de schuiven van de Oosterscheldekering in wisselwerking met het aanpassen van de dijken (naar verwachting bij 50 cm. zeespiegelstijging)” ( zie ook 1.1), wordt hiermee in zekere zin bevestigd. Echter, om de kansrijkheid van de mogelijke opties te bepalen is nader onderzoek nodig. Uit de kwalitatieve analyse komt naar voren dat sommige van de maatregelen tegengestelde effecten hebben voor de veiligheid van de OSK en van de dijken, of voor de veiligheid en ecologische functies. Om de effecten te kunnen afwegen is een nadere kwantificering onontbeerlijk.

Een eerste voorstel voor een onderzoeksplan dat hierin kan voorzien, wordt uitgewerkt in H.4.

## 5 Samenvattende analyse / basis voor onderzoeksplan

Het voorgaande geeft aan dat de invloed van de stormvloedkering (geometrie, eigenschappen en beheer) op het Oosterscheldegebied (hydraulica, morfologie, ecologie) niet alleen groot is, maar dat wijzigingen in de condities waarin het geheel komt te verkeren, op complexe wijze invloed hebben op de kering en de eigenschappen van het Oosterscheldegebied. In het licht van de klimaatverandering, is daarmee in kwalitatieve zin, het belang geschetst van de OSK voor het behoud van veiligheid en functies, op de lange termijn. Het is ook een eerste antwoord op de vraagstelling (par. 2.1) *“Wat betekent de lange termijn veiligheidsopgave voor het beheer en onderhoud van de Oosterscheldekering ?*

Gezien complexiteit van de relaties, is voor een gespecificeerd antwoord nader onderzoek nodig. Dat geldt ook voor het tweede deel van de vraagstelling (par. 2.1) *“Wat is hierbij de invloed van de keuze voor het beheer van kust en bekken?”*

Een kwalitatief beeld van de diverse invloeden is geschetst in par. 2.5 en hoofdstuk 3 en 4. Om de vraag te beantwoorden of het systeem de wijzigingen tot en met het jaar 2100 zonder grote en dus kostbare ingrepen kan doorstaan, is een kwantitatieve beschouwing nodig. Met name dringt de vraag zich op of er knikpunten bestaan waar het huidige systeem, eventueel met beperkte aanpassingen, zijn grenzen bereikt. Handhaven van het systeem is ook dan wellicht nog een optie, maar niet zonder dat grote ingrepen nodig zijn. Bij het bereiken van een knikpunt is het verantwoord ook andere mogelijke alternatieven in de beschouwingen te betrekken. Vooralsnog gaan we uit van het handhaven van het huidige systeem met stormvloedkering en ligt de vraag voor tot waar ermee valt te leven, dat wil zeggen zonder dat een majeure kostenstijging valt te verwachten.

In hoofdstuk 3 is kwalitatief gekeken naar de risico's voor de functies veiligheid, ecologische waarde en visserij indien de hydraulische randvoorwaarden op zee veranderen. Deze hydraulische randvoorwaarden worden als een externe onafhankelijke variabele beschouwd. Voordat er in nader detail gekeken wordt naar de genoemde risico's is het allereerst belangrijk om een kwantitatief overzicht te hebben van de gevolgen van de klimatologische veranderingen op de waterstand, stormintensiteit, stormduur, opwaaiing, etc.

Voorgesteld wordt om vervolgens op basis van ruwe schattingen, het aantal nader te beschouwen risico's te reduceren. Vervolgens kan het systeem op een kwantitatieve manier doorgerekend worden om de impact van de hoofdrisico's te bepalen. Op basis hiervan kunnen de kosten (beheer en onderhoud, eventuele schade, etc.) voor het systeem ingeschat worden, indien er geen aanpassingen worden gedaan om de risico's te verkleinen.

Vervolgens kan gekeken worden naar het kwantitatieve effect van verschillende aanpassingsopties op de hoofdrisico's. Kwalitatief is de relatie tussen de aanpassingen en risico's al beschreven in hoofdstuk 4. Als het kwantitatieve effect van de aanpassingen op de hoofdrisico's bekend is, kan men een pakket van aanpassingen opstellen waarmee de functies gewaarborgd worden, in combinatie met minimale kosten.

Een voorstel voor het werkplan voor onderzoek bevat de volgende stappen :

1. Hydraulische berekeningen om duidelijkheid te verkrijgen over de omvang van de te verwachten condities in de Oosterschelde bij handhaving van de huidige geometrie en voor een aantal beheersscenario's van de OSK (zie par. 2.5 en H.4): het getijverschil in de

- Oosterschelde, de getijvolumina, de snelheden, de sedimenttransporten, de vervallen over de kering tijdens sluiten, optredende golfhoogtes en opwaaings effecten. Het resultaat van deze studie dient als ondersteuning van de systeembeschrijving bij de huidige (referentie) en gewijzigde omstandigheden en om een kwantitatief inzicht te geven in de effecten van alternatieve beheersscenario's en van verschillende aanpassingen aan het systeem.
2. Een studie naar maatregelen voor/in de erosiekuilen bij de OSK, gericht op het kunnen elimineren van de gevolgen die de kuilen hebben op de stabiliteit van de omgeving (inclusief fundatie van de kering) en de morfologie van de Oosterschelde. Er is inmiddels een studie gestart gericht op het verklaren van opgetreden zettingsvloeiingen in de erosiekuilen en het stabiliseren van de erosiekuilen. Het resultaat van die studie wordt eerst afgewacht.
  3. Een studie van de morfologie in het Oosterscheldegebied (ontwikkeling van plaatareaal en geulen), met een tijdshorizon van 2100, waarbij ook de morfologie van het aansluitende buitengebied (zeezijde) wordt betrokken<sup>4</sup>. Het effect op de zandtransporten van een eventueel vloeiender overgang in bodemgeometrie tussen zeegebied en Oosterscheldegebied wordt daarin meegenomen.
  4. Maken van een inventarisatie en rubricering van probleemtrajecten van de dijken en compartimenteringsdammen waarin de aanval (waterstand en golven) en stabiliteit (constructie en hoogte voorland dijken en dammen) wordt meegenomen.
  5. Synthese van resultaten uit de stappen 1 t/m 4, uitmondend in de selectie van een aantal kansrijke strategieën.
  6. Herbepaling van de feitelijke sterkte van de SKO (incl. damaanzetten) op basis van de ontwerpnota's en geconstateerde eigenschappen en rekening houdend met het gewijzigde gebruik t.o.v. de ontwerpuitgangspunten (minder verval met name).
  7. Studie naar noodzaak en mogelijkheden voor versterking en aanpassing van de kering. In concreto (en afgezien van de geconstateerde problemen met de erosiekuilen): de damaanzetten, de schuiven, de dorpelbalken, de bovenbalken en de verkeerskokers,.
  8. Kostenramingen van beoogde mogelijk beoogde ingrepen en een eventueel ander beheer van de OSK. De resultaten worden vergeleken met de huidige kosten en met de revenuen. Effecten op de waarde van het te beschermen gebied worden daarin meegenomen.

Om de diverse vragen te kunnen beantwoorden is de inzet nodig van meerdere disciplines. Omdat de verschillende aspecten met elkaar samenhangen en elkaar onderling beïnvloeden, is een goede integratie van de resultaten van groot belang. Een integrale aanpak door een breed, multidisciplinair team (of meerdere teams), is dan ook aan te bevelen.

---

<sup>4</sup> | In aansluiting op de ANT-studie welke een tijdshorizon hanteert van 2060, en voortbouwend op de studie van de Bruijn (2012).

## 6 Literatuur

- ANT, 2012, Derde Interim-advies ANT Oosterschelde, Deltares report 1206094
- Advies Beheer Stormvloedkering Oosterschelde, Raad van de Waterstaat, 1986.
- Bosboom, J. and M.J.F. Stive (2011), Coastal Dynamics 1, VSSD Delft
- Bruijn, R. de, 2012, The future of the Oosterschelde with a new inlet channel through Neeltje Jans, Msc thesis TUDelft
- Deltaprogramma / Zuidwestelijke Delta 2012, "Deltaprogramma 2013; Mogelijke strategieën"
- Foundation aspects of coastal structures. Proceedings international symposium on soil mechanics research and foundation design for the Oosterschelde storm surge barrier. Delft, October 9-12, 1978.
- Hydraulic aspects of coastal structures: developments in hydraulic engineering related to the design of the Oosterschelde storm surge barrier in the Netherlands. Delft University Press, 1980.
- Inventarisatie Verkenningen en Studies Oosterschelde(kering) / Zuidwestelijke Delta. November 2011 (concept)
- Ontwerpnota Stormvloedkering Oosterschelde (5 delen), Rijkswaterstaat (omstreeks 1989)  
Boek 1 Totaalontwerp  
Boek 2 De waterbouwkundige werken  
Boek 3 De betonwerken  
Boek 4 Sluitingsmiddelen  
(Boek 5 Hulpsystemen en werktuigen)
- Overzicht van verslagen van het Waterloopkundig Laboratorium met betrekking tot onderzoeken ten behoeve van de Oosterschelde. Delft, WL, 1979, R1219.
- Rijkswaterstaat (2009), De Stormvloedkering in de Oosterschelde, Brochure RWS Zeeland (auteur; ir. K. Steenepoorte)
- Sand demand of the Eastern Scheldt. Morphology around the barrier. Deltares in opdracht van Rijkswaterstaat, Waterdienst, Project Z4581, 2008.
- Storm surge barrier Eastern Scheldt. Evaluation of water movement studies for design and construction of the barrier. Rijkswaterstaat en Waterloopkundig Laboratorium Delft. 1989. WL – code Z88. RWS – code PEGESS \_ N 89011.
- Tangelder, M. and T. Ysebaert (2012). Alternatieve waterkeringen: een verkenning naar nieuwe concepten voor kustverdediging in het kader van Beleid Ondersteuning Programmabureau Zuidwestelijke Delta. Yerseke, IMARES Wageningen UR: 51.

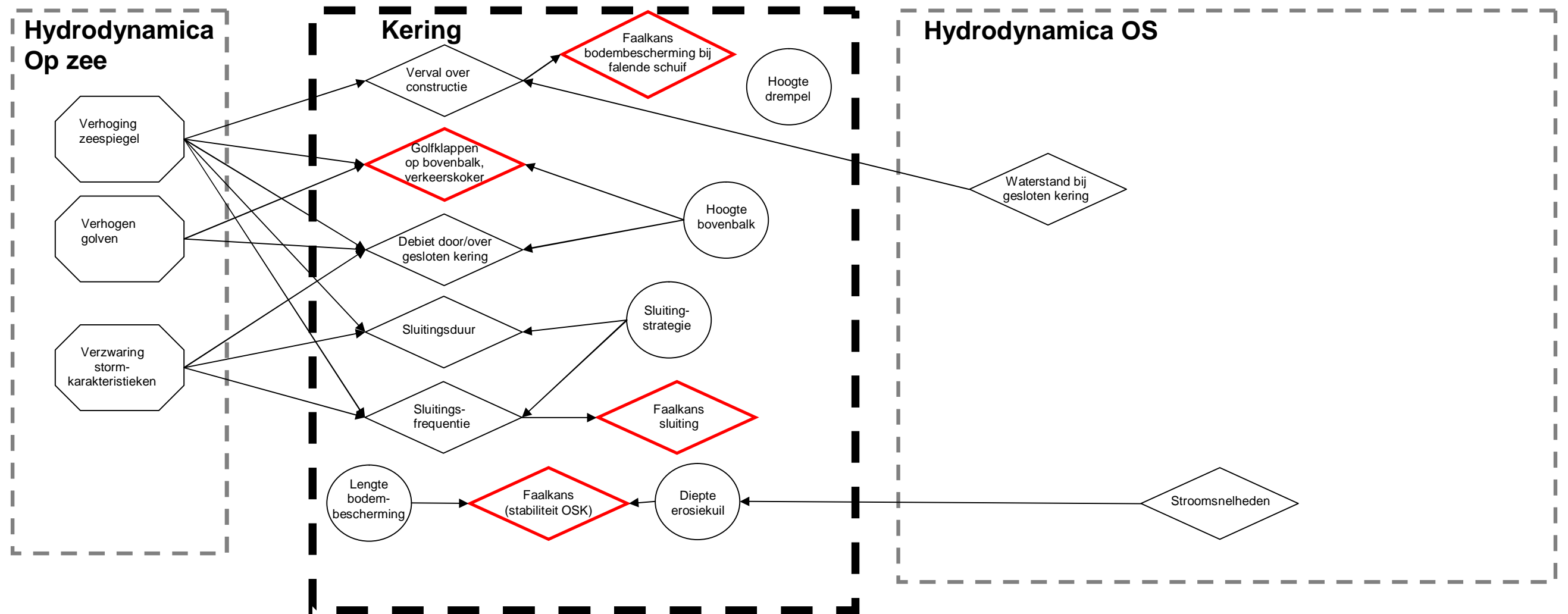
Verkenning Sluitingsregime Oosterscheldekering, Fase 2: Sluit strategieën, DHV in opdracht van Rijkswaterstaat RIKZ, november 2007

Visser, T., 1986. *Totaal Ontwerp en Ontwerpfilosofie Oosterscheldekering*. Den Haag: Rijkswaterstaat

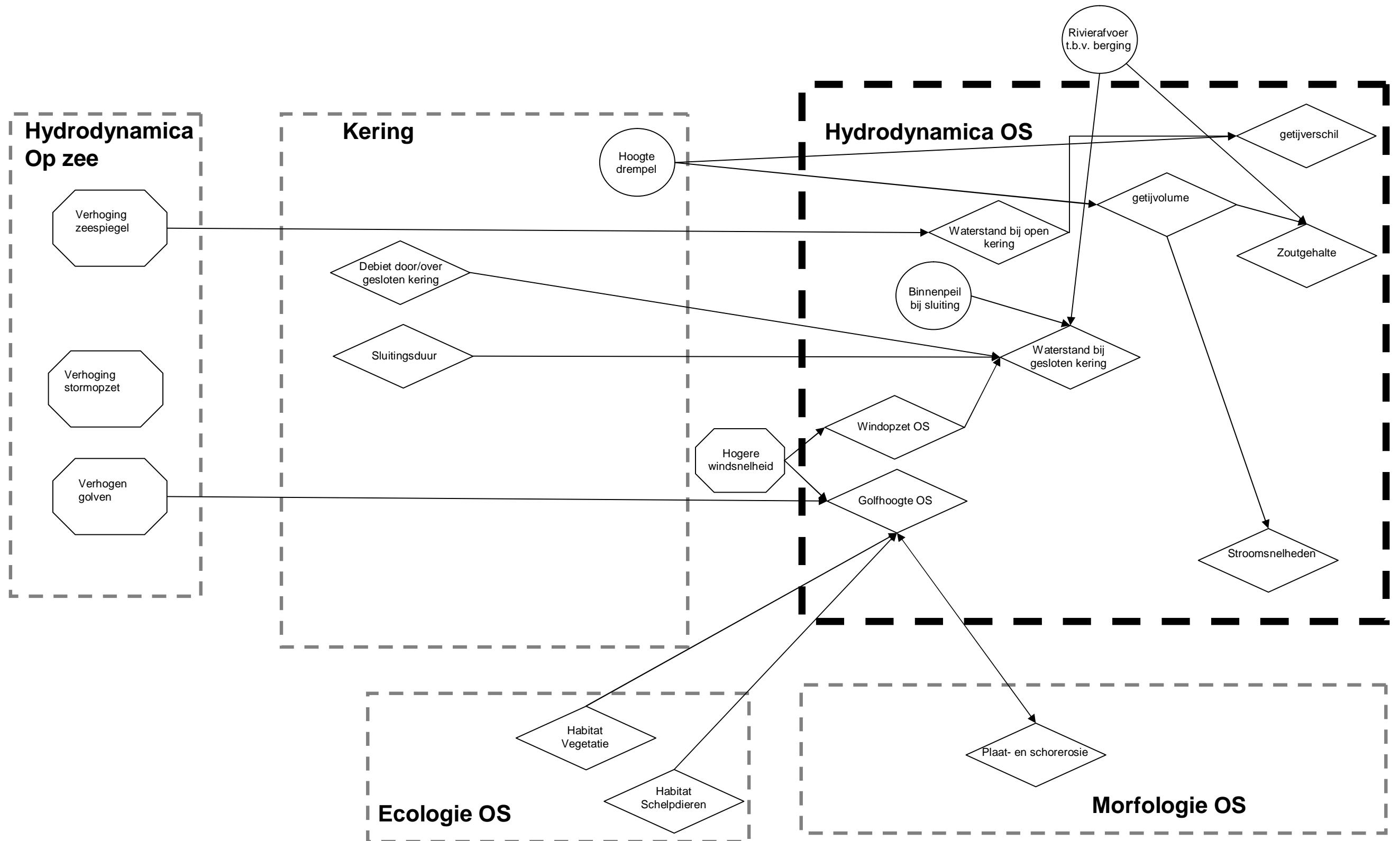


## **Appendix 1      Relatieschema's**

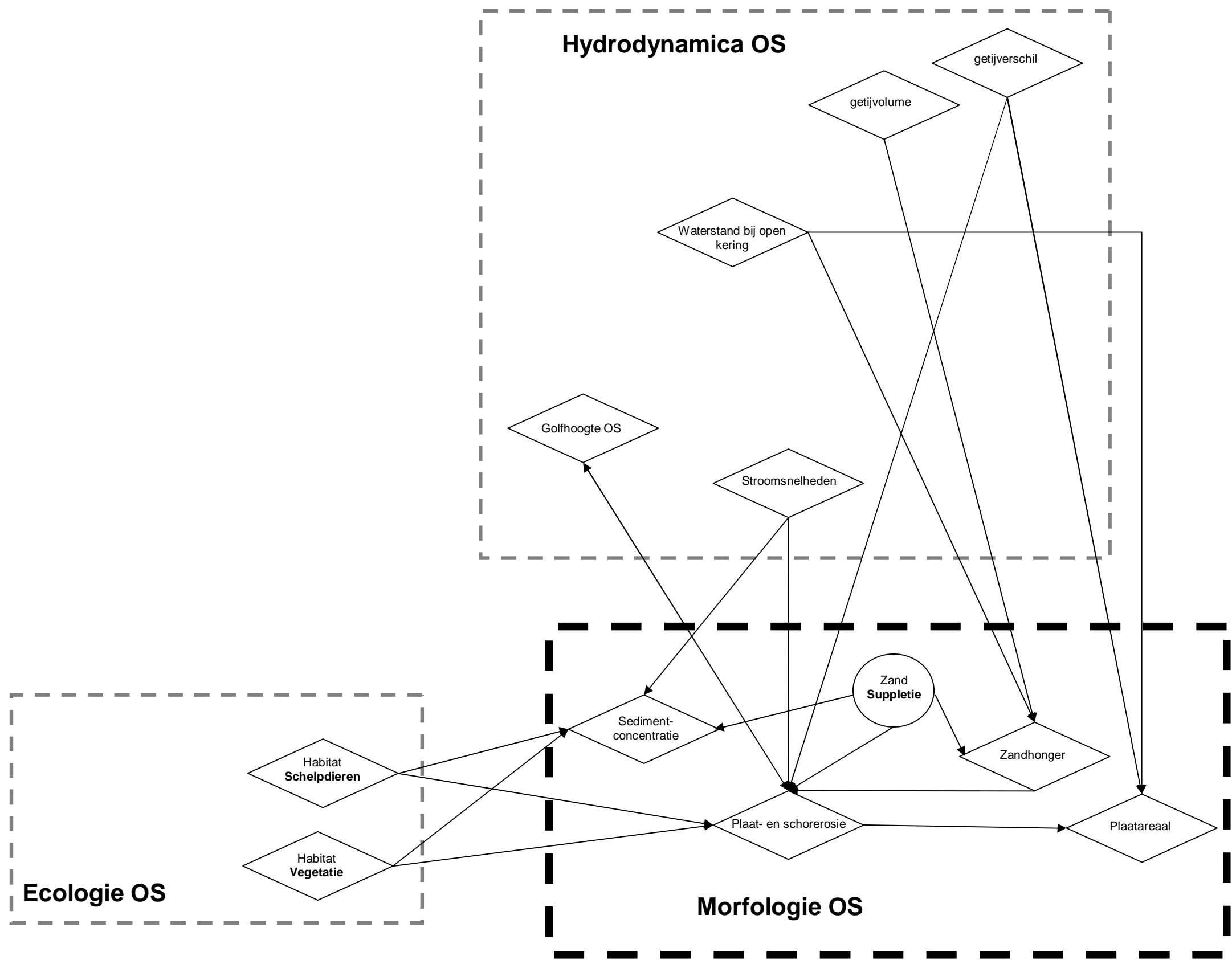
### **Relatieschema's voor de impact van klimatologische veranderingen op het Oosterschelde systeem**



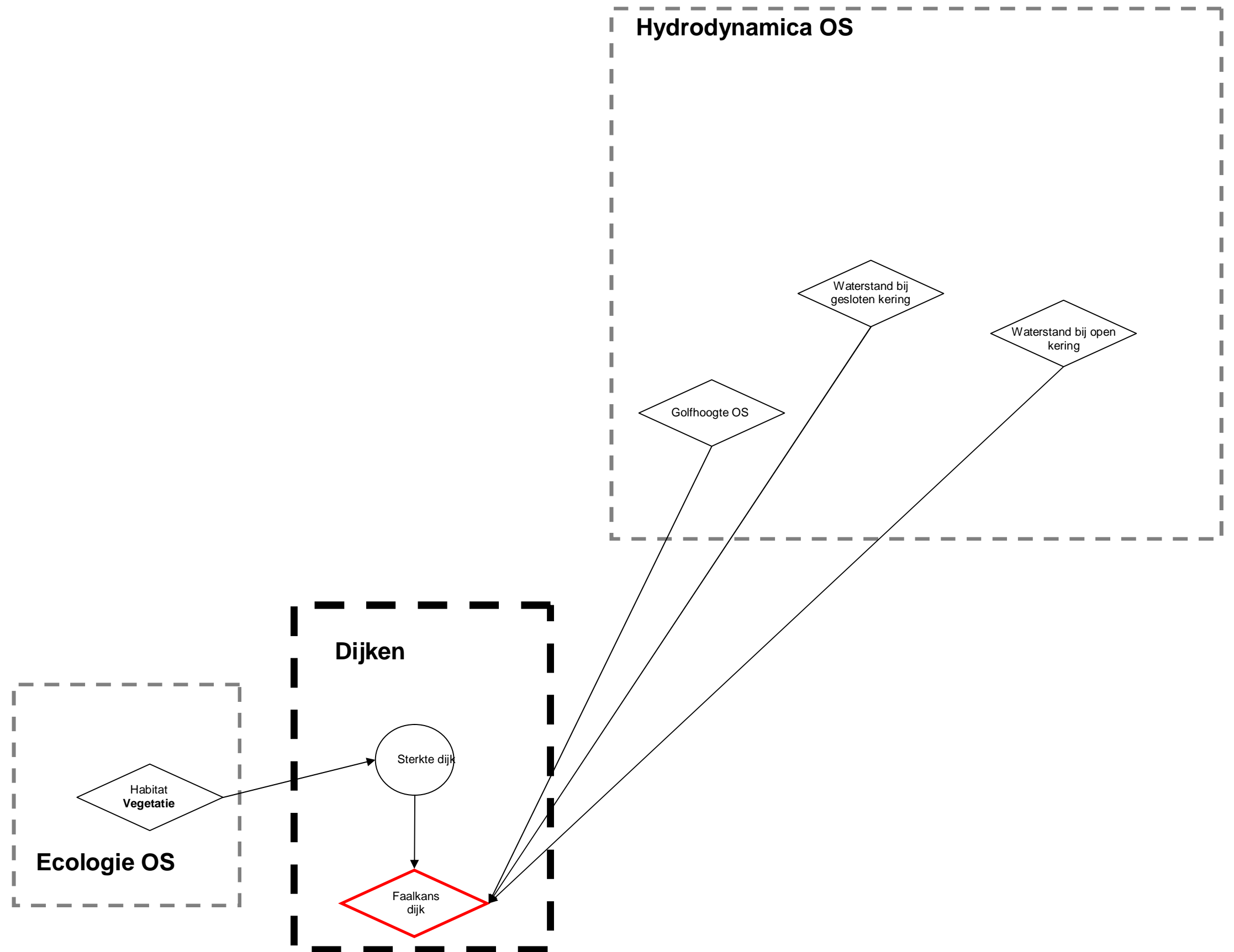
Appendix 1.1: Impact op de kering in geval van klimatologische veranderingen.



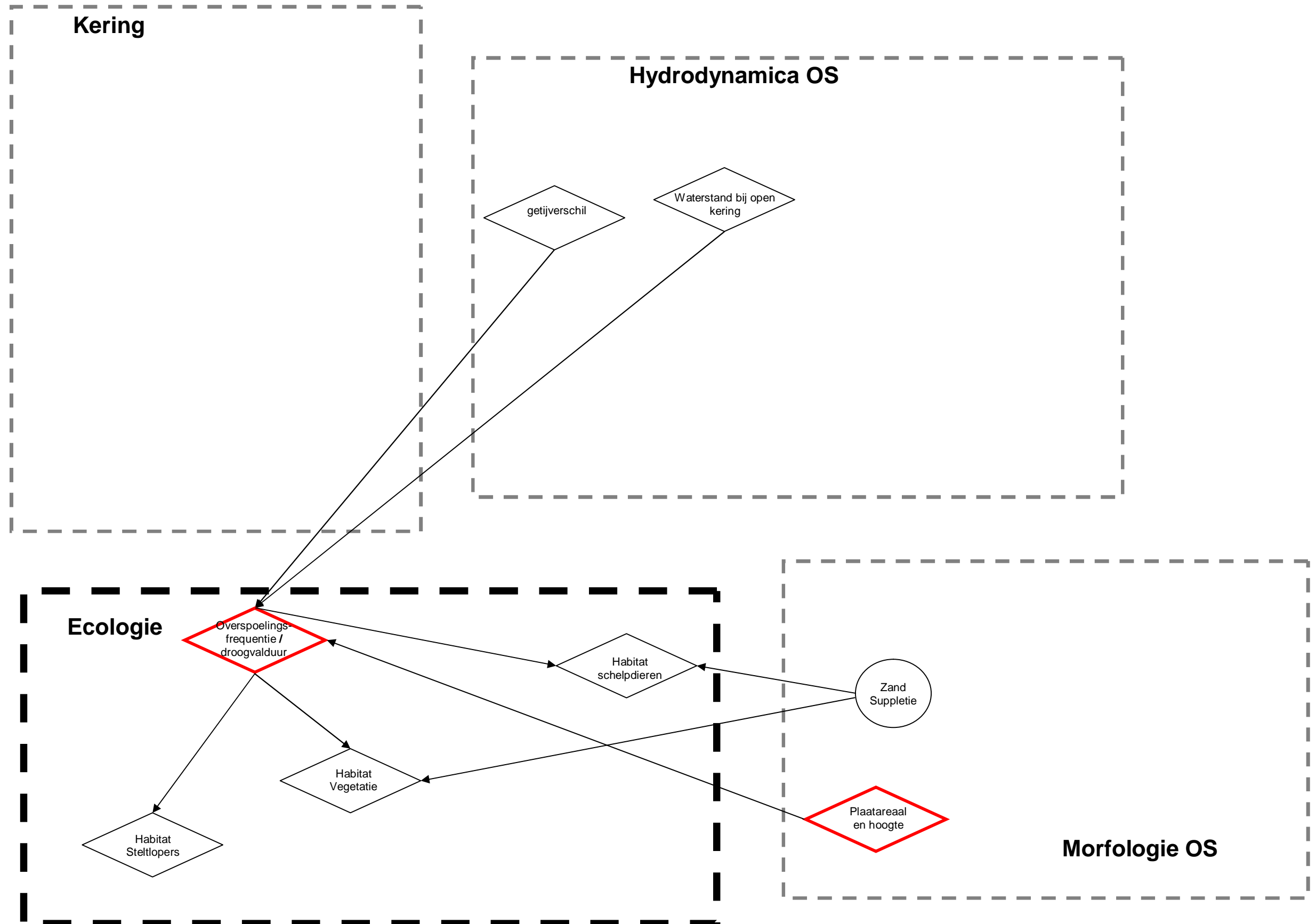
Appendix 1.2: Impact op de hydrodynamica in de Oosterschelde in geval van klimatologische veranderingen.



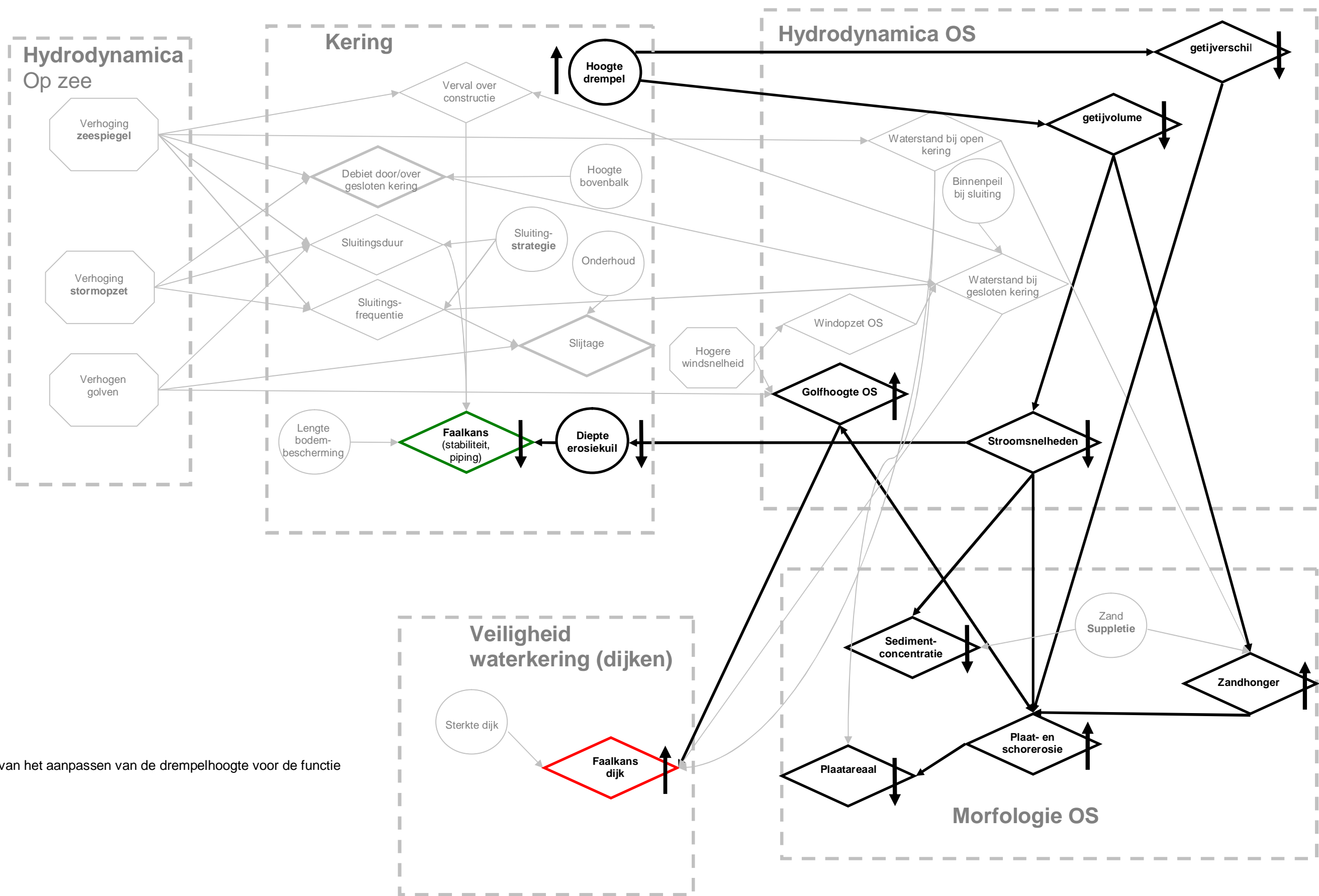
Appendix 1.3: Impact op de morfologie in de Oosterschelde in geval van klimatologische veranderingen.



**Appendix 1.4:** Impact op de veiligheid van het dijkenstelsel in de Oosterschelde in geval van klimatologische veranderingen



Appendix 1.5: Impact op de ecologie in de Oosterschelde in geval van klimatologische veranderingen



Appendix 1.6: Effect van het aanpassen van de drempelhoogte voor de functie veiligheid