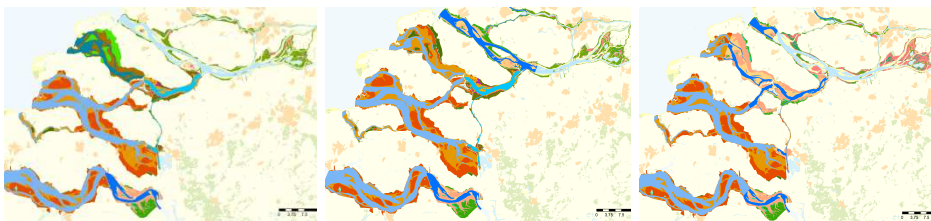


Samenhang in de Delta, ontwikkelingsvarianten voor de Zuidwestelijke Delta: Ecologische ontwikkeling van habitats en levensgemeenschappen (deel 2)

Tom Ysebaert, Marijn Tangelder en Jeroen Wijsman

Rapportnummer: C159/13



IMARES Wageningen UR

(IMARES - Institute for Marine Resources & Ecosystem Studies)

Opdrachtgever:

Marijke Vonk
Planbureau voor de Leefomgeving
Locatie Bilthoven
A. van Leeuwenhoeklaan 9
3720 AH Bilthoven

Publicatiedatum:

25 oktober 2013

IMARES is:

- een onafhankelijk, objectief en gezaghebbend instituut dat kennis levert die noodzakelijk is voor integrale duurzame bescherming, exploitatie en ruimtelijk gebruik van de zee en kustzones;
- een instituut dat de benodigde kennis levert voor een geïntegreerde duurzame bescherming, exploitatie en ruimtelijk gebruik van zee en kustzones;
- een belangrijke, proactieve speler in nationale en internationale mariene onderzoeksnetwerken (zoals ICES en EFARO).

P.O. Box 68	P.O. Box 77	P.O. Box 57	P.O. Box 167
1970 AB IJmuiden	4400 AB Yerseke	1780 AB Den Helder	1790 AD Den Burg Texel
Phone: +31 (0)317 480900	Phone: +31 (0)317 48 09 00	Phone: +31 (0)317 48 09 00	Phone: +31 (0)317 48 09 00
Fax: +31 (0)317 48 73 26	Fax: +31 (0)317 48 73 59	Fax: +31 (0)223 63 06 87	Fax: +31 (0)317 48 73 62
E-Mail: imares@wur.nl	E-Mail: imares@wur.nl	E-Mail: imares@wur.nl	E-Mail: imares@wur.nl
www.imares.wur.nl	www.imares.wur.nl	www.imares.wur.nl	www.imares.wur.nl

© 2013 IMARES Wageningen UR

IMARES, onderdeel van Stichting DLO.
KvK nr. 09098104,
IMARES BTW nr. NL 8113.83.696.B16.
Code BIC/SWIFT address: RABONL2U
IBAN code: NL 73 RABO 0373599285

De Directie van IMARES is niet aansprakelijk voor gevolgschade, noch voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van IMARES; opdrachtgever vrijwaart IMARES van aanspraken van derden in verband met deze toepassing.

Dit rapport is vervaardigd op verzoek van de opdrachtgever hierboven aangegeven en is zijn eigendom. Niets uit dit rapport mag weergegeven en/of gepubliceerd worden, gefotokopieerd of op enige andere manier gebruikt worden zonder schriftelijke toestemming van de opdrachtgever.

A_4_3_1-V13

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave.....	3
Samenvatting.....	4
1. Inleiding	6
Aanleiding	6
Doelstelling van deze studie	6
Leeswijzer	6
2. Werkwijze	7
Ecologische onderbouwing.....	7
Habitatanalyse	8
2. Ontwikkelingsvarianten voor de Zuidwestelijke Delta	11
4. Ecologische aspecten ontwikkelingsvarianten.....	17
4.1 Algemene beschrijving plangebied (huidige situatie)	17
4.2 Vergelijking ontwikkelingsvarianten op voorkomen systeemtypes en habitattypes20	
4.2.1. Volledig plangebied.....	20
4.2.2 Gebiedsniveau.....	22
4.4 Vergelijking ontwikkelingsvarianten op voorkomen van zout-brak-zoet	
overgangen	30
<i>Belang van een zoet-zout overgang</i>	30
4.5 Vergelijking ontwikkelingsvarianten op ecologische kwaliteit en biodiversiteit	38
4.6 Potentie schelpdierkweek ontwikkelingsvarianten	45
4.7 Potentie innovatieve dijkconcepten.....	47
5. Conclusies.....	53
6. Dankwoord.....	56
7. Kwaliteitsborging.....	56
Referenties	57
Verantwoording	60
Bijlagen	61
BIJLAGE A	62

Samenvatting

De Zuidwestelijke Delta is sinds de Deltawerken grondig veranderd. De Deltawerken brachten weliswaar veiligheid, maar daarmee verdween ook een groot deel van een zeer waardevol estuarien ecosysteem. Het oorspronkelijk stelsel van estuaria veranderde in een serie van elkaar gescheiden waterbekkens. Zoet en zout water zijn in de huidige situatie grotendeels gescheiden. Alleen de Westerschelde behield het karakter van een estuarium. De compartimentering van de Zuidwestelijke Delta door de Deltawerken zorgde ook voor toenemende ecologische problemen, zoals zeer beperkte mogelijkheden voor vismigratie en verslechtering van de waterkwaliteit. Voor de toekomst streven de Zuidwestelijke Deltaprovincies Zuid-Holland, Zeeland en Noord-Brabant naar een Delta die *economisch vitaal, ecologisch veerkrachtig en klimaatbestendig* moet zijn. Nu is het zaak aan deze opgave voor de Zuidwestelijke Delta concrete invulling te geven.

Voorliggende rapportage geeft inzicht in de ecologische potenties van verschillende ontwikkelingsvarianten voor de Zuidwestelijke Delta (ZW Delta) als geheel en voor de verschillende waterbekkens binnen de ZW Delta. Hierbij gaat het om de ecologische potenties binnen de buitendijkse gebieden. Deze studie maakt onderdeel uit van een overkoepelende studie, "Samengang in de Zuidwestelijke Delta: naar een vitale, veerkrachtige en veilige delta", die wordt uitgevoerd door het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL). Deze overkoepelende studie is erop gericht om de samenhang tussen beleidskeuzes voor de ZW Delta in beeld te brengen. Daar waar het Deltaprogramma zich richt op aspecten als waterveiligheid en zoetwatervoorziening worden door het PBL de ontwikkelpotenties vanuit een ruimtelijk-economisch en ecologisch perspectief beschouwd. Het PBL heeft IMARES Wageningen UR opdracht gegeven om het ecologisch perspectief voor verschillende ontwikkelingsvarianten van de ZW Delta uit te werken, te onderbouwen en aan te geven wat de toekomstige ecologische ontwikkeling en kwaliteit is. In een eerdere studie, uitgevoerd door IMARES begin 2013, is een ecologische indeling ontwikkeld van systeem- en habitattypen die gebruikt kan worden om de verschillende ontwikkelvarianten op een gestandaardiseerde manier met elkaar te vergelijken (Ysebaert et al. 2013). Voorliggende studie betreft de vervolgstap waarin een analyse is uitgevoerd naar het potentieel voorkomen van habitats en daarbij horende levensgemeenschappen in de verschillende ontwikkelvarianten. Eveneens komt de ecologische kwaliteit aan de orde. Als basis voor deze studie is een modelanalyse van de fysische randvoorwaarden gebruikt die is uitgevoerd door Deltares (Nolte et al. 2013). Deltares heeft voor de verschillende ontwikkelvarianten de waterverdeling, de getijslag, de zoet-zoutgradiënt, de nutriëntenstromen en de primaire productie berekend met een 1D SOBEM model voor de gehele ZW Delta. Deze modelresultaten vormden de input voor de voorliggende habitatanalyse die met behulp van GIS is uitgevoerd en resulteerde in een aantal habitatkaarten.

In totaal zijn zeven ontwikkelvarianten m.b.t. de korte, middellange en lange termijn voor de ZW Delta uitgewerkt door het PBL (dit is inclusief de huidige situatie, variant I). De varianten onderscheiden zich van elkaar door een toenemende verbinding tussen de verschillende bekkens door: verbeterd beheer van de bestaande infrastructuur (variant II) verbeterde inrichting door o.a. vergroten van verbindingen en gedempt getij (variant III en IV) en gebruik van stormvloedkeringen aan de Noordzee zijde en het gedeeltelijk opheffen van de compartimenteringsdammen (variant V). In de twee meest extreme varianten is er sprake van een volledig open delta zonder Deltawerken (variant VII: Zoute Delta), en een volledig afgedamde delta, met uitzondering van de Westerschelde, zonder compartimenteringsdammen en volledig in verbinding met de rivieren (variant VI: Zoete Lagune). In deze studie is, in verband met beperkte tijd, variant V buiten beschouwing gelaten.

In de varianten II t/m IV ontstaat in toenemende mate getijden natuur door gedeeltelijk herstel van estuariene dynamiek tot een semi-natuurlijk estuarium. Voornamelijk in het Grevelingenmeer en Volkerak-Zoommeer ontstaat hierbij nieuwe getijdennatuur ten opzichte van de huidige situatie (variant I). Estuariene dynamiek is de benaming voor het samenspel van verschillende abiotische factoren karakteristiek voor een estuarien milieu, welke in een natuurlijk systeem resulteert in vele geleidelijke overgangen (gradiënten) en een grote variatie aan habitats. Doordat estuariene dynamiek in de

varianten II t/m IV alleen op een aantal aspecten wordt hersteld – voornamelijk toename in waterbeweging en -uitwisseling en gedempt getij – vindt geen volledig herstel van getijdennatuur plaats. Het ontbreekt nog aan een volledige verticale gradiënt van getij en een volledige gradiënt van zoet naar zout. Wel worden de harde scheidingen van zoet en zout, getij en stagnant in de huidige situatie in toenemende mate meer gradueel, tot het ontstaan van een semi-natuurlijk estuarien systeem in variant V. De varianten II t/m IV leiden tot een toename van de brakwaterzone met mogelijke ontwikkeling van zeldzame brakwaterfauna en -flora. De toename in zout-zoet gradiënten, alsmede ook verbindingen tussen de verschillende bekkens, komt ten goede aan de vismigratie. Variant VI (zoete lagune) leidt tot een volledige systeemomslag van de zoute bekkens naar een stagnant zoetwater natuurtype (uitgezonderd Westerschelde) en resulteert in de laagste habitatdiversiteit van alle varianten. In variant VII (zoute delta) vindt systeemherstel plaats naar een volledig open delta zoals het geval was voor de aanleg van de Deltawerken en vindt ook nagenoeg volledig herstel van estuariene dynamiek plaats met een open verbinding tussen de Noordzee en de rivieren. Deze variant biedt daarmee ook de grootste kans voor herstel van duurzame estuariene natuur en biodiversiteit.

Als extra onderdeel van deze studie is ook gekeken naar de globale potentie van schelpdierkweek en toepassen van nieuwe types dijken ('innovatieve dijkconcepten') in de ontwikkelvarianten op basis van deskundigenoordeel. Dit laatste heeft betrekking op het toepassen van nieuwe typen dijken die een aanvulling vormen op de dijkveiligheid en ook meerwaarde bieden voor natuur en gebruiksvormen (zoals recreatie). Voorbeelden zijn het stimuleren van 'biobouwers' zoals oesterriffen, schorren, wilgenbossen en rietlanden op de voorlanden voor de dijken of het gebruik van zand (suppleren). Voor de (zoute) kweek van schelpdieren (voornamelijk mosselen en oesters) ontstaan nieuwe kansen daar waar nieuwe zoute, dynamische gebieden worden ontwikkeld zoals in het Grevelingenmeer, Veerse Meer en in mindere mate het Krammer-Volkerak.

Deze studie is ondersteunend aan de huidige beleidsontwikkelingen en keuzes die daarin gemaakt moeten worden. De resultaten dienen als een eerste indicatieve stap naar de habitat potenties in de verschillende bekkens in de Zuidwestelijke Delta onder verschillende ontwikkelvarianten.

1. Inleiding

Aanleiding

Voorliggende rapportage maakt onderdeel uit van een overkoepelende studie, uitgevoerd door het PBL (Planbureau voor de Leefomgeving), naar de potenties van verschillende lange termijn ontwikkelingsvarianten voor de Zuidwestelijke Delta (ZWD). Deze overkoepelende studie is erop gericht een gedeeld beeld van het ontwikkelingsperspectief voor de Rijn-Schelde Delta op lange termijn (2100) op te stellen. Dit perspectief moet de overheid helpen om op verschillende schaalniveaus effectieve investeringsbeslissingen te nemen. Van belang is om hierbij inzichtelijk te maken waar synergiën te behalen zijn, wat een effectieve volgorde van investeringen is en waar risico's op desinvesteringen liggen. Als tool bij deze studie zijn door het PBL een zevental ontwikkelingsvarianten opgesteld, die ieder een ander toekomst perspectief voor de Rijn-Schelde Delta vertegenwoordigen. Deze korte en lange termijn varianten adresseren in samenhang opgaven voor economische ontwikkeling, bescherming tegen overstromingen, zoetwatervoorziening en de ecologische ontwikkeling binnen het gebied.

Doelstelling van deze studie

Het PBL heeft IMARES Wageningen UR opdracht gegeven om de ecologische ontwikkeling voor verschillende ontwikkelingsvarianten uit te werken, te onderbouwen en aan te geven wat de toekomstige ecologische potentie/kwaliteit is. Deze opdracht is uitgevoerd in twee delen:

- Ontwikkelen van de ecologische onderbouwing die nodig is om invulling te geven aan de ecologische effecten van de ontwikkelingsvarianten (deel 1). Deze rapportage is afgerond in april 2013, zie Ysebaert et al. (2013).
- ***Inschatten van het potentieel voorkomen van habitats en levensgemeenschappen in de verschillende ontwikkelingsvarianten en deze te beschrijven en te waarderen (deel 2)***. Voorliggende rapportage is het resultaat van deel 2 van deze studie.

Leeswijzer

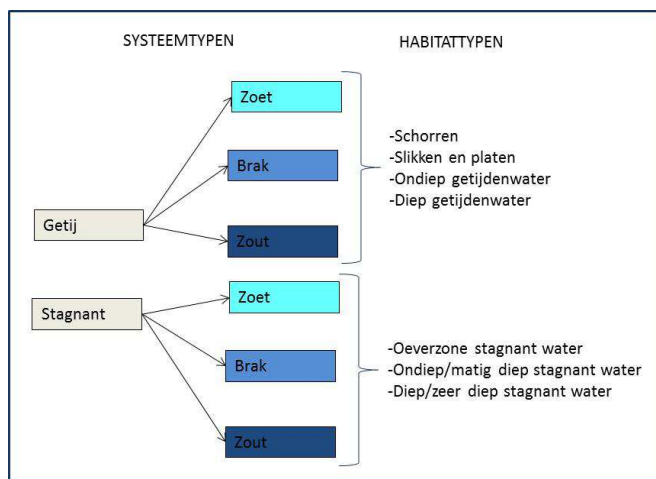
Hoofdstuk 2 beschrijft de werkwijze die gevolgd is. In hoofdstuk 3 worden de ecologische aspecten besproken van de zeven ontwikkelingsvarianten die door het PBL zijn opgesteld en die de basis vormen voor deze studie. Zes van de zeven ontwikkelingsvarianten zijn in deze studie verder uitgewerkt. Hoofdstuk 4 geeft de resultaten weer van de ecologische habitatanalyse m.b.t. potentie van voorkomen en kwaliteit en bespreekt tevens de mogelijkheden voor schelpdierkweek en toepassing van innovatieve dijkconcepten in de verschillende varianten.

2. Werkwijze

De werkwijze die is toegepast in deze studie bestaat uit twee belangrijke stappen. De eerste is de ecologische onderbouwing (gebaseerd op ecologische randvoorwaarden) die nodig is om het voorkomen van habitats en soorten te kunnen voorspellen. Deze stap is uitgevoerd in voorgaande studie door Ysebaert et al. (2013) en wordt beknopt toegelicht. De tweede stap is de analyse van het voorkomen van potentiële habitats in de verschillende ontwikkelingsvarianten aan de hand van de randvoorwaarden die in de eerste stap zijn gedefinieerd. De randvoorwaarden zijn gerelateerd aan de gemodelleerde omgevingscondities voor de verschillende ontwikkelingsvarianten (Nolte et al. 2013).

Ecologische onderbouwing

Zowel de fysisch-chemische toestand en ontwikkeling (b.v. zoutgehalte, nutriënten, waterdynamiek) als de ecologische toestand en ontwikkeling (ontstaan van habitats en levensgemeenschappen, biodiversiteit) zal in elke ontwikkelingsvariant anders zijn en tevens mede bepalend zijn voor het menselijk gebruik (bijv. recreatie) en de economische potentie (bijv. aquacultuur) van het gebied. De ontwikkelingsvarianten zullen ten opzichte van de huidige situatie resulteren in het ontstaan van andere ecosysteemttypen en habitattypen in de bekkens van de ZW Delta. In de studie van Ysebaert et al. (2013) is een ecologische structuur ontworpen en zijn systeemttypen en habitattypen beschreven die het uitgangspunt vormen voor deze studie. Allereerst is gekozen voor een indeling in systeemttypen: getijdensystemen en stagnante systemen die ieder weer worden opgesplitst in drie subtypen op basis van zoutgehalte (zout-brak-zoet). Voor alle zes sub-systeemttypen zijn weer verschillende habitattypen gedefinieerd op basis van waterstandskarakteristieken. Figuur 1 geeft een overzicht van deze indeling.



Figuur 1. Indeling in systeemttypen en habitattypen. Voor de zes verschillende systeemttypen zijn habitattypen benoemd voor de getijde en stagnante systeemttypen (Ysebaert et al., 2013)

Omdat abiotische kenmerken en processen in belangrijke mate het voorkomen van soorten, de biodiversiteit en het ecologisch functioneren, en daarmee de ecologische kwaliteit, in de verschillende bekkens zullen bepalen, zijn voor ieder habitatype abiotische stuurvariabelen gedefinieerd. De abiotische randvoorwaarden bepalen welke habitattypen waar kunnen voorkomen. Ten slotte is in Ysebaert et al. (2013) per habitatype een lijst met kenmerkende soorten opgesteld. De richtlijnen voor abiotische variatie samen met de kenmerkende soorten bepalen de potentie/kwaliteit van een habitat. Op basis van deze systeem- en habitatanalyse is een beoordelingskader opgezet met een set van parameters die nodig is voor de ecologische beoordeling van de ontwikkelingsvarianten. Dit dient als basis voor de habitatanalyse die onderwerp is van voorliggende studie.

Ten behoeve van deze rapportage is nog een volgende extra opdeling gemaakt naar hoogteligging t.o.v. het waterpeil:

- delen die vrijwel altijd onder water staan = 'permanent onder water habitat': bestaat uit diep en ondiep water.
- delen die periodiek droogvallen = 'droogvallend habitat'. In het geval van getijdenwateren gaat het om delen die bij vloed onder water staan en bij eb droogvallen, het intergetijdengebied: dit bestaat uit slikken, zandplaten en schorren. In het geval van stagnante wateren gaat het om de oeverzone die gekenmerkt wordt door peilfluctuaties.
- gebieden die vrijwel altijd droog liggen = overwegend terrestrisch habitat. Dit habitat kan bij uitzondering wel overspoelen, bijv. bij extreme springtijden in getijdenwateren of bij hoge rivierafvoeren. Ook kunnen in dit habitat permanent vochtige of natte gebieden voorkomen (bijv. poelen). In het rapport wordt dit habitat 'terrestrisch habitat' genoemd.

Habitatanalyse

Deltares heeft in opdracht van PBL voor de zeven ontwikkelingsvarianten de waterverdeling, getijslag, zoet-zoutgradiënt, nutriëntenstromen en primaire productie berekend met een 1D SOBEK model van de Zuidwestelijke Delta (Nolte et al., 2013). Dit model omvat de gehele zuidwestelijke delta en is daardoor in staat om op een consistente manier de interactie tussen en beïnvloeding van de verschillende deltawateren op elkaar inzichtelijk te maken. In de ontwikkelingsvarianten worden ruimtelijke veranderingen in het deltabekken beschreven, zoals het verwijderen van dammen en sluizen. Hierdoor verandert de verdeling van water over de verschillende bekkens met als gevolg dat (Nolte et al. 2013):

- zoet-zoutgradiënten (horizontaal) verplaatsen
- stratificatie in de (verticale) waterkolom toeneemt of afneemt
- de getijslag en daardoor het intergetijdengebied toeneemt of afneemt
- de morfologie van getijgeulen en intergetijdengebieden reageert
- de nutriëntenstromen veranderen en daardoor de primaire productie reageert
- de flora en fauna zich aanpast

Al deze elementen houden verband met elkaar. In kwalitatieve termen is meestal wel aan te geven wat verwacht mag worden. Een integrale ecosysteemanalyse waarbij deze elementen voor alle watersystemen gekwantificeerd worden, is echter nog niet eerder gedaan. In Nolte et al. (2013) is daartoe een eerste aanzet gedaan. Het levert een eerste kwantitatieve onderbouwing van de verschillende ontwikkelingsvarianten. De gevolgen voor de morfologische ontwikkeling, de sedimentsamenstelling, de zuurstofconcentratie als gevolg van stratificatie en de draagkracht voor commerciële schelpdieren zijn verder op basis van een deskundigenoordeel geëvalueerd, omdat dat met het 1D model niet berekend kan worden (Nolte et al. 2013).

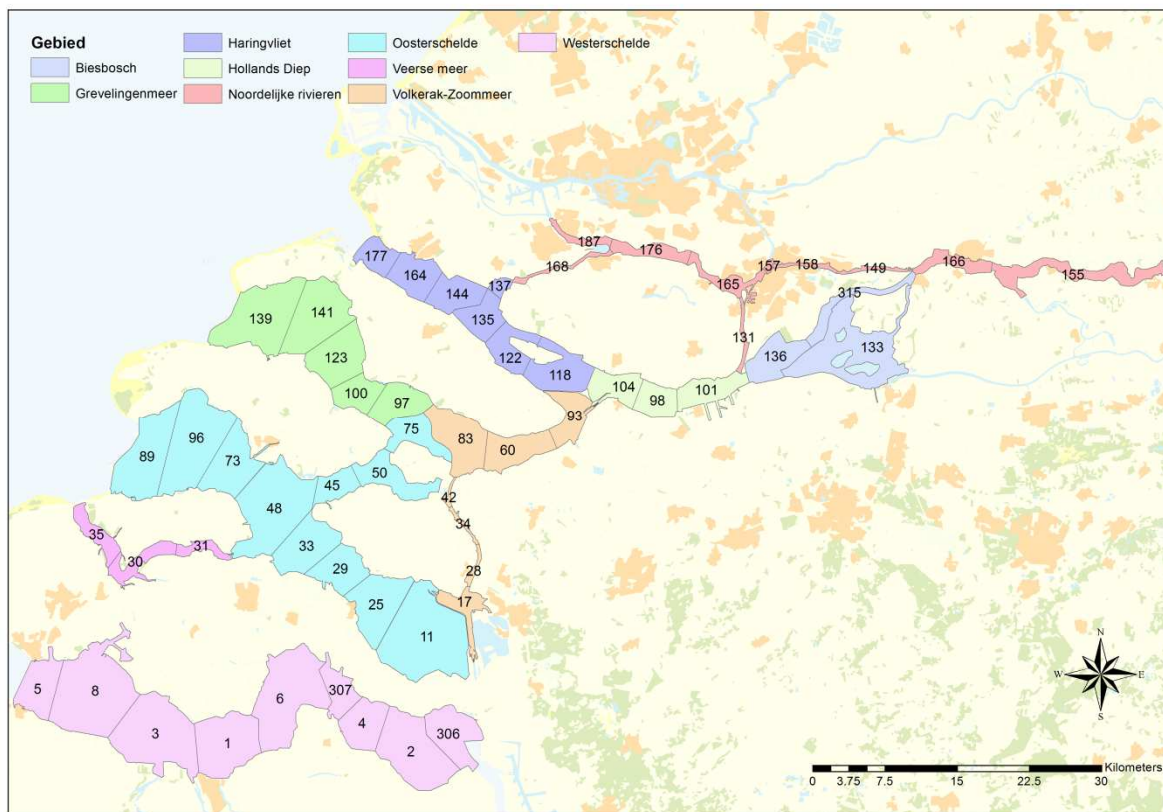
Op basis van de modelberekeningen is vervolgens door IMARES een doorvertaling gemaakt naar de gevolgen voor het voorkomen van systeemtypes en habitattypes in de verschillende varianten.

Hiervoor is een stapsgewijze aanpak gevolgd:

- Een dieptekaart (Westerschelde, Oosterschelde, Veerse Meer, Grevelingenmeer, Volkerak-Zoommeer) is geconstrueerd uit de dieptelodingen en het algemeen hoogtebestand Nederland. Diepte van de ondiepe gebieden in de stagnante wateren is verkregen door interpolatie.
- Een dieptekaart voor het Noordelijk gebied (Haringvliet, Hollandsch Diep, Biesbosch en noordelijke rivieren) is verkregen van Deltares.
- Beide kaarten zijn vervolgens gecombineerd in een 20x20 meter raster (diepte in cm t.o.v. NAP). Er moet benadrukt worden dat de hoogtekaarten gepaard gaan met een zekere mate van onnauwkeurigheid, zeker wat betreft de land – water overgangen. De resultaten moeten dan ook als indicatief beschouwd worden voor toekomstige veranderingen in de verschillende varianten.
- Van PBL is een GIS kaart (shape file) gekregen met een schematisatie van het onderzoeksgebied (PBL-vakken).
- Van de PBL-vakken zijn alleen de vakken gekozen in de Westerschelde, Oosterschelde, Veerse Meer, Volkerak-Zoommeer, Grevelingenmeer, Haringvliet, Hollands diep, Biesbosch en Noordelijke rivieren. In overleg met het PBL zijn de noordelijke wateren van de Zuidwestelijke

Delta (zoals Nieuwe waterweg, Spui en Noord), Markiezaat en de Voordelta buiten beschouwing gelaten. Het onderzoeksgebied en de opdeling in de PBL-vakken is weergegeven in Figuur 2.

- Van Deltares is een Excel-bestand ontvangen met waterstanden (hoogte cm NAP behorende bij verschillende percentielen droogval) en waterstandsverschil/getijslag (verschil tussen de maximale en minimale waterstand tijdens 48 uur op 1-2 juni 2006) voor ieder PBL-vak voor de verschillende ontwikkelingsvarianten.
- Van deze gegevens zijn de volgende parameters gebruikt: 1% droogval (\approx GLWS), 7% droogval (\approx GLWD), 50% droogval (\approx Gemiddelde waterstand), 93% droogval (\approx GHWD), 99% droogval (\approx GHWS) en waterstandsverschil (\approx getijslag). De percentielen behorende bij GLWS, GLWD, GHWD en GHWS zijn door Deltares bepaald.
- Tevens zijn van Deltares verschillende waterkwaliteitsgegevens ontvangen voor ieder PBL-vak voor de verschillende varianten. Hiervan is eigenlijk alleen het gemiddeld zoutgehalte (jaargemiddeld) gebruikt voor de bepaling van de habitats. De overige parameters worden waar mogelijk/relevant meegenomen in een kwaliteitsanalyse (op basis van experts oordeel).
- De getallen van de Excel-bestanden zijn gekoppeld aan de shape file van de PBL-vakken.
- De shape files zijn in GIS geconverteerd naar een 20x20 meter raster dat overeenkomt met het 20x20 meter diepteraster.
- De rasters zijn in GIS geconverteerd naar ascii-grid files.
- In PCRaster zijn de ascii-grid files geconverteerd naar map-files en er is een script geschreven om berekeningen uit te voeren met de kaarten en de habitatkaarten te maken:
 - Dieptekaart is omgezet van cm NAP naar m NAP
 - Op basis van het waterstandsverschil binnen 48 uur is berekend of het een getijdenwater is of niet. Als het verschil minder is dan 0,1 m dan wordt het beschouwd als een stagnant gebied. Als het verschil groter is dan 0,1 meter, dan is het een getijdenwater.
 - Uitzondering hierop vormt variant VI. Voor deze variant zijn alle gebieden, m.u.v. Westerschelde gekarakteriseerd als stagnant gebied (zie rapportage Deltares voor onderbouwing). De Westerschelde is in deze variant het enige getijdenwater.
 - Voor Getijdenwateren:
 - Diep water: Diepte < GLWD-5 m
 - Ondiep water: GLWD-5m \leq Diepte < GLWS
 - Slikken en zandplaten: GLWS \leq Diepte < GHWD
 - Schorren: GHWD \leq Diepte < GHWS
 - Terrestrisch: Diepte \geq GHWS
 - Voor Stagnante wateren:
 - Diep water: Diepte < Gemiddelde waterstand - 3m
 - Ondiep water: Gemiddelde waterstand - 3m \leq Diepte < Gemiddelde waterstand - 0.3m
 - Oeverzone: Gemiddelde waterstand - 0.3m \leq Diepte < Gemiddelde waterstand
 - Terrestrisch: Diepte \geq Gemiddelde waterstand
 - Op basis van het gemiddelde zoutgehalte (saliniteit) is bepaald of een gebied zoet (saliniteit < 0,5), brak (0,5 \leq saliniteit < 18) of zout (saliniteit \geq 18) is. In de beschrijving wordt binnen de brakke wateren ook nog onderscheid tussen oligohalien (0,5 \leq saliniteit < 5) en mesohalien (5 \leq saliniteit < 18).
 - Voor variant VI is het gemodelleerde zoutgehalte gecorrigeerd voor Veerse Meer en Grevelingenmeer. Deze gebieden worden zoet gekarakteriseerd (zie rapportage Deltares voor onderbouwing).
 - Het resultaat is een habitatkaart (20x20 meter) voor de zes geselecteerde varianten.
 - Voor iedere variant zijn de arealen van de habitats gesommeerd per PBL-vak.
 - Voor iedere variant zijn de arealen van de habitats gesommeerd per bekken.
 - De resultaten zijn geëxporteerd naar een Excel-bestand en de arealen zijn omgezet naar hectares.
 - De habitatkaart is geëxporteerd naar GIS en daar opgemaakt.



Figuur 2. Overzicht van het modelgebied met de onderscheiden deelgebieden. De nummers geven de PBL-vakken weer.

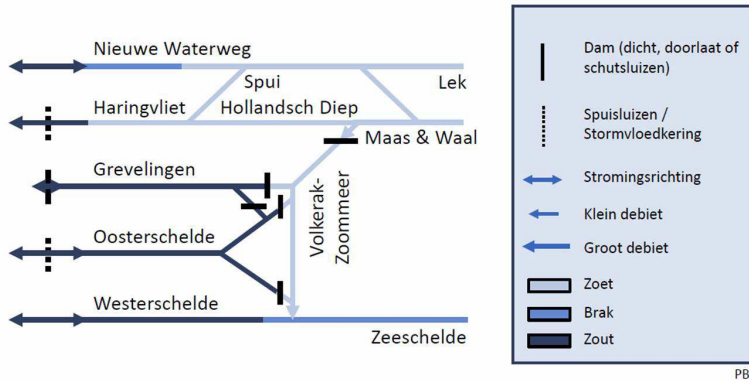
De arealen van de verschillende systeemtypes en habitattypes in deze studie zijn berekend op basis van de saliniteit- en waterstandskarakteristieken zoals berekend door SOBEK. Dit is gedaan voor varianten I (huidige situatie), II, III, IV, VI en VII. Variant V (variant met stormvloedkeringen aan de zeezijde in alle bekkens) is niet meegenomen in deze analyse, maar wordt in de bespreking van de ecologische kwaliteit meegenomen. De situering van de verschillende habitats in de Zuidwestelijke Delta en de berekende arealen daarvan moeten als indicatief en richtinggevend worden gezien. Onzekerheden in de 1-D modellering bij de voorgestelde ingrijpende maatregelen en het beperkte aantal klassen met harde grenzen van de omgevingsvariabelen bij het indelen van de habitats, net als de onzekerheden ten aanzien van de hoogtekarten (met name met betrekking tot de overgangszones tussen land en water), maakt dat de resulterende arealen een orde-van-grootte schatting zijn. De resultaten dienen daarom bij voorkeur geïnterpreteerd te worden in termen van de verschillen tussen de varianten. Daarom zijn de resultaten geaggregeerd naar PBL-vak en bekken (waterlichaam) en is de analyse op dat geaggregeerde niveau uitgevoerd.

2. Ontwikkelingsvarianten voor de Zuidwestelijke Delta

Binnen de PBL-studie zijn zeven ontwikkelingsvarianten uitgewerkt (hier is de huidige situatie bij inbegrepen). De varianten onderscheiden zich door een toenemende verbinding tussen de Deltawateren. In de extreme varianten is er sprake van volledig met elkaar verbonden Deltawateren, die of in volledig open verbinding staan met de Noordzee (variant VII: Zoute Delta), of in volledig open verbinding staan met de rivieren (variant VI: Zoete Lagune). Figuren 3 t/m 9 geven een schematisch overzicht van de verschillende varianten (Bron PBL). Tabel 1 gaat dieper in op de inrichtingsopties per bekken.

Variant I: Huidige situatie

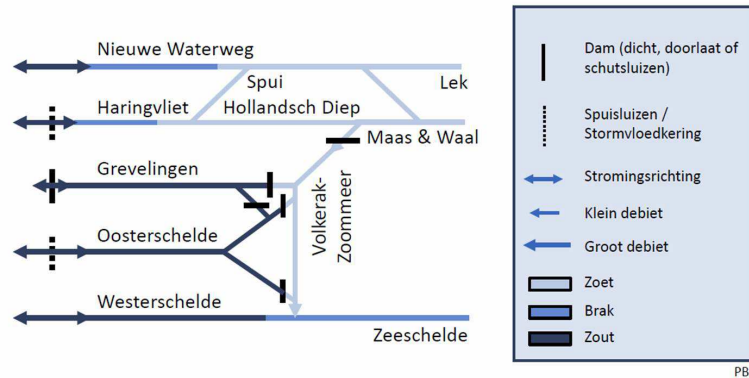
Doel: basis, referentie voor andere varianten



Figuur 3. Variant I: Huidige situatie (Bron PBL).

Variant II: Verbeterd beheer, Korte termijn

Doel: Optimalisatie uitsluitend met bestaande infrastructuur

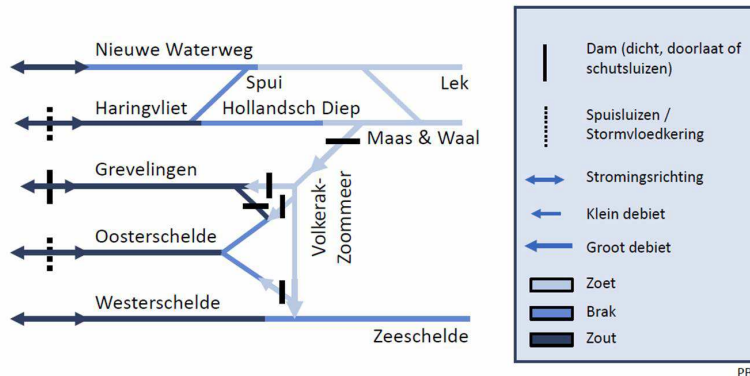


Haringvliet: Aanpassing beheer (Kier);
 Volkerak-Zoommeer: (Beperkt) doorspoelen Volkerak-Zoommeer en lozing op Westerschelde (bestaand Bathse spuikanaal bij Rilland-Bath) + Beheer-visserij Volkerak-Zoommeer;
 Grevelingen: Aanpassing beheer van bestaande doorlaten in Brouwersdam en Grevelingendam waardoor zuurstofloosheid zoveel als mogelijk wordt tegengegaan.

Figuur 4. Variant II: Verbeterd beheer, Korte termijn (Bron PBL).

Variant III: Verbeterde inrichting 1, Korte termijn

Doel: beperkte aanpassingen infrastructuur; karakter van systemen blijft behouden

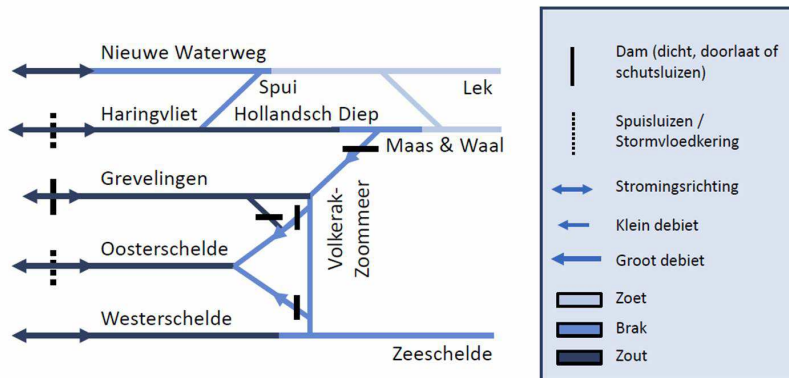


Haringvliet: Aanpassing beheer (gedempt getij);
 Volkerak-Zoommeer: Vergroting spuisluis Volkeraksluizen (doorspoelen Volkerak-Zoommeer + waterberging op Volkerak-Zoommeer) + Doorlaat in Oesterdam (lozing voedselrijk zoet water op Oosterschelde-Kom);
 Grevelingen: Doorlaat in Brouwersdam (50 cm getijslag waardoor 85% van zuurstofloosheid verdwijnt) + Doorlaat in Grevelingendam (voor waterberging zoet water op Grevelingen);
 Oosterschelde: Doorlaat in Philipsdam + Doorlaat in Oesterdam (aanvoer van voedselrijk zoet water naar Oosterschelde-Zijpe en Oosterschelde-Kom);
 Veerse meer: Doorlaatmiddel Zandkreekdam vergroten (50 cm getij) en Veerse Gatdam met doorlaat (50 cm getij)

Figuur 5. Variant III: Verbeterde inrichting 1, Korte termijn (Bron PBL).

Variant IV: Verbeterde inrichting 2, Korte termijn

Doel: uitgebreide aanpassingen infrastructuur; karakter (zoet/zout) van systemen verandert



PBL

Haringvliet: Aanpassing beheer (stormvloedkering);

Volkerak-Zoommeer: Vergroting spuisluis Volkeraksluizen (Zout Volkerak met aansluiting op Grevelingen en waterberging op Volkerak-Zoommeer) +

Stopzetten reducties van nutriënten-emissies maar water in stroomgebieden van Vliet, Dintel, Mark en Zoom;

Grevelingen: Doorlaat in Brouwersdam (waardoor 50 cm getijslag) + verwijderden Grevelingendam (tevens voor waterberging)

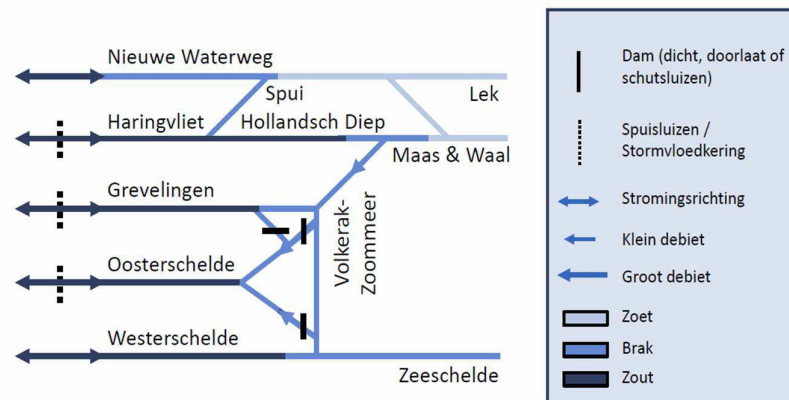
Oosterschelde: Doorlaat in Philipsdam + Doorlaat in Oosterdam (uitwisseling zout water tussen Volkerak-Zoommeer en Oosterschelde);

Veerse meer: Doorlaatmiddel Zandkreekdam vergroten (50 cm getij) en Veerse Gatdam met doorlaat (50 cm getij)

Figuur 6. Variant IV: Verbeterde inrichting 2, Korte termijn (Bron PBL).

Variant V: Stormvloedkeringen, Middellange termijn

Doel: zoute delta, veiligheid geregeld in de monding



PBL

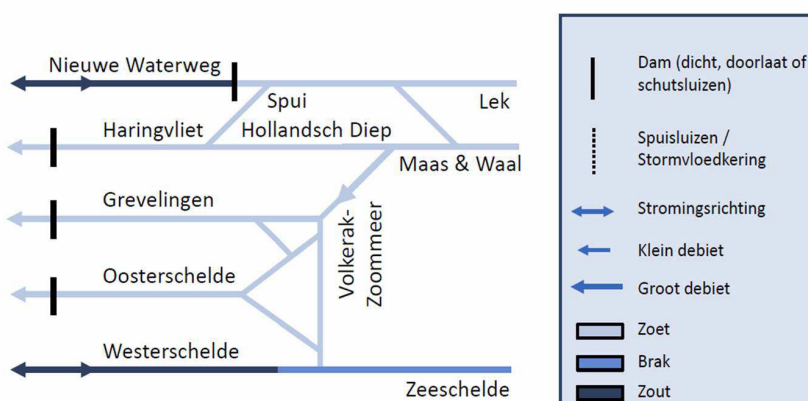
Haringvliet: Aanpassing beheer (=beheer als stormvloedkering);

Volkerak-Zoommeer: Open met Grevelingen en Oosterschelde (Verwijderen Grevelingendam en Volkerakdam, Doorlaatmiddel Philipsdam en

Oosterdam, zout;

Variant VI: Zoete Lagune, Lange termijn

Doel: zoete delta; zoetwatervoorraad



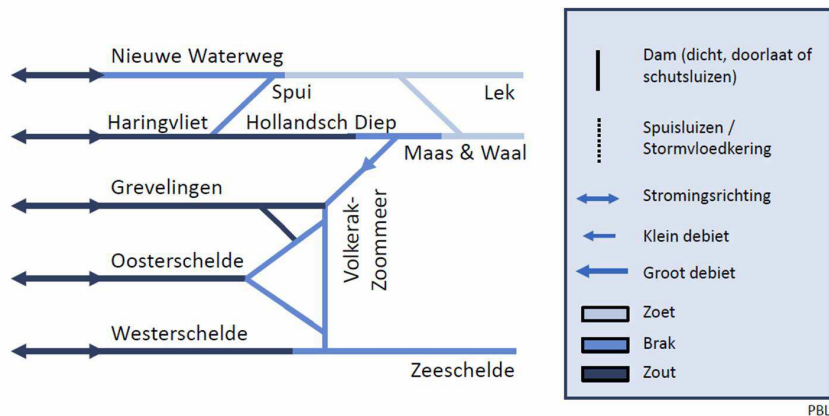
PBL

Mondingen met dammen en pompen/gemalen; compartimenteringsdammen weg;
Nieuwe waterweg afgesloten met scheepsluizen bij Vlaardingen en Oude Maas

Figuur 7. Variant V: Stormvloedkeringen, Middellange termijn (Bron PBL).

Figuur 8. Variant VI: Zoete lagune, Lange termijn (Bron PBL).

Variant VII: Zoute Delta, Lange termijn
Doel: zoute delta, volledig herstel estuariene dynamiek



Alle 'dammen' weg in mondingen en compartimenten;
Haringvliet: Open;
Volkerak-Zoommeer: Open, zout;
Grevelingen: Open (naar zee en naar Volkerak);
Oosterschelde: Open (naar zee en naar Volkerak en Markiezaat).

Figuur 9. Variant VII: Zoute Delta, Lange termijn (Bron PBL).

Tabel 1, overzicht van inrichtingsopties per bekken in de ontwikkelingsvarianten (Bron PBL).

Nr.	Inrichtingsopties	I	II	III	IV	V	VI	VII
		Huidige situatie	Verbeterd beheer Korte termijn	Verbeterde inrichting 1 Korte termijn	Verbeterde inrichting 2 Korte termijn	Stormvloedkeringen Middellange termijn	Zoete Lagune Lange termijn	Zoute Delta Lange termijn
1	Oosterschelde							
1.1	Stormvloedkering (zout met getij)							
1.2	Gesloten Oosterscheldekering (spuisluizen+pompen/gemaal)							
1.3	Verwijderen Oosterscheldekering							
1.4	Doorlaatmiddel Philipsdam							
1.5	Doorlaatmiddel Oesterdam							
1.6	Verwijderen Philipsdam (open met Volkerak-Zoommeer)							
1.7	Verwijderen Oesterdam en Markiezaatsdam							
1.8	Verwijderen Grevelingendam (open met Grevelingen)							
1.9	Verwijderen Zandkreekdam (open met Veerse meer)							
2	Haringvliet/Hollandsch diep							
2.1	Gesloten Haringvlietdam met spuisluizen (enig getij)							
2.2	Haringvlietdam op een kier (aangepast beheer)*							
2.3	Haringvlietdam met aangepast beheer: gedempt getij							
2.4	Haringvlietdam als stormvloedkering (aangepast beheer)**							
2.5	Gesloten Haringvlietdam (aangepast beheer met pompen/gemaal)							
2.6	Verwijderen Haringvlietdam							
2.7	Vergroten spuicapaciteit Volkeraksluisen (open met Volkerak)							
2.8	Verwijderen Volkerakdam (open met Volkerak)							
3	Nieuwe Waterweg							
3.1	Open met stormvloedkering (Maeslantkering)							
3.2	Gesloten met scheepsluizen bij Vlaardingen en Oude Maas**							
3.3	Verwijderen Maeslantkering							

Nr.	Inrichtingsopties	I	II	III	IV	V	VI	VII
4	Grevelingenmeer							
4.1	Gesloten met Brouwersdam (doorlaat) & Grevelingendam (zout en stagnant)	■						
4.2	Aanpassen beheer doorlaat Brouwersdam voor tegengaan zuurstofloosheid		■					
4.3	Doorlaatmiddel Brouwersdam vergroten (50 cm getij)			■	■			
4.4	Ombouwen Brouwersdam tot stormvloedkering					■		
4.5	Gesloten Brouwersdam (pompen/gemalen)						■	
4.6	Verwijderen Brouwersdam							■
4.7	Aanpassen beheer doorlaat Grevelingendam zuid tegengaan zuurstofloosheid		■	■				
4.9	Verwijderen Grevelingendam (open naar Volkerak)				■	■	■	■
4.10	Verwijderen Grevelingendam (open naar Oosterschelde)						■	■
4.11	Waterberging Grevelingenmeer*			■	■	■	■	■
5	Volkerak-Zoommeer*							
5.1	Gesloten met dammen (zoet en stagnant)	■						
5.2	Beperkt doorspoelen met zoet water (vergroten spuicap. Volkeraksluisen)		■					
5.4	Vergroten spuicapaciteit Volkeraksluisen (open met Hollandsch Diep)			■	■			
5.5	Doorlaatmiddel Philipsdam (open met Oosterschelde)			■	■	■		
5.6	Doorlaatmiddel Oesterdam			■	■	■		
5.7	Verwijderen Grevelingendam (open met Grevelingen)				■	■	■	■
5.8	Verwijderen Volkerakdam (open met Hollandsch Diep)					■	■	■
5.9	Verwijderen Philipsdam						■	■
5.10	Verwijderen Grevelingendam (open met Oosterschelde)						■	■
5.11	Verwijderen Oesterdam (open met Oosterschelde)						■	■
5.12	Verwijderen Markiezaatsdam (open met Oosterschelde)						■	■
5.13	Waterberging Volkerak-Zoommeer*			■	■	■	■	■
6	Markiezaatsmeer							
6.1	Gesloten met dammen (brak en stagnant)	■	■	■	■	■		
6.2	Verwijderen Oesterdam en Markiezaatsdam weg (open met Oosterschelde)						■	■

Nr.	Inrichtingsopties	I	II	III	IV	V	VI	VII
7	Veerse meer							
7.1	Zandkreekdam met doorlaat (open naar Oosterschelde) (zout met enig getij)							
7.2	Doorlaatmiddel Zandkreekdam vergroten (50 cm getij)							
7.3	Veerse Gatdam met doorlaat (50 cm getij)							
7.4	Verwijderen Zandkreekdam							
7.5	Verwijderen Veerse Gatdam							
8	Westerschelde							
8.1	Open (zout en getij)							
9	Overige opties (op diverse plaatsen toepasbaar)							
9.1	Beheer-visserij (Volkerak-Zoommeer)							
9.2	Stoppen reductie nutriëntenemissie naar stroomgebieden Dintel etc.							
9.3	Oeververdediging met stortstenen							
9.4	Zandsuppletie							
9.5	Kunstmatige aanvoer nutriëntrijk zoet water naar Oosterschelde							
9.6	Zandmotor (voor open mondingen)							
9.7	Barrière-eilanden in de monding (tegen zoutindringing, Nieuwe W.&Haringvl)							
9.8	Bellenscherm en trapjesschermb* (Nieuwe Waterweg)							
9.9	Dijkversterking							
9.10	Ontpoldering / wisselpolders / groeilanden (voorwaarde: sedimenttransport)							
9.11	Vooroevers / Oeverdijken							
9.12	Klimaatbufferzone tussen dijken							
9.13	Innovatieve dijkconcepten							
9.14	Verbinden water-land (b.v. aansluiten kreken op zout water)							
9.15	Ecoduct Markiezaat-Brabantse wal							
9.16	Verhogen grondwaterpeil							
9.17	Areaalvergroting natuur op land							
9.18	Ruimte voor natuurlijke processen (verstuiwing)							

4. Ecologische aspecten ontwikkelingsvarianten

4.1 Algemene beschrijving plangebied (huidige situatie)

In deze studie worden de volgende gebieden onderscheiden en nader uitgewerkt (Figuur 2):

- Westerschelde
- Oosterschelde
- Veerse Meer
- Grevelingen
- Volkerak/Zoommeer
- Haringvliet
- Hollandsch Diep
- Biesbosch
- Noordelijke Rivieren

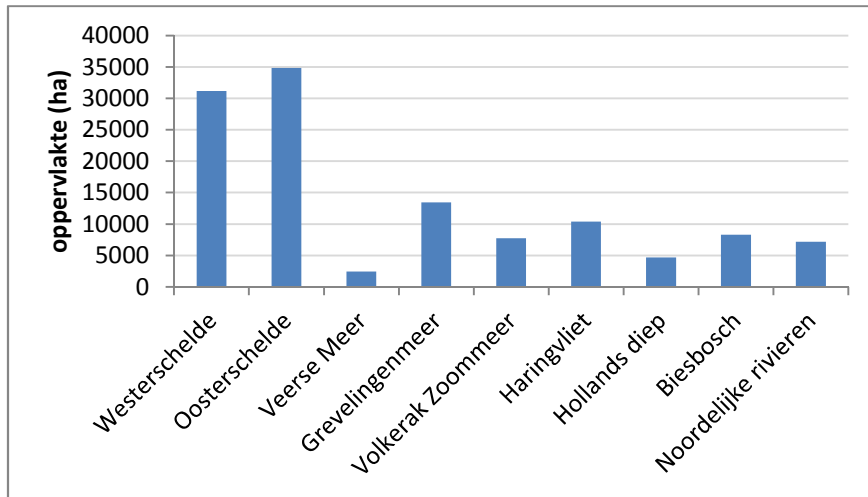
Deze gebieden behoren tot het zogenaamde modelgebied of plangebied.

Figuur 10 geeft een overzicht van de huidige situatie van de Zuidwestelijke Delta met de ligging van de bekkens en de Deltawerken.



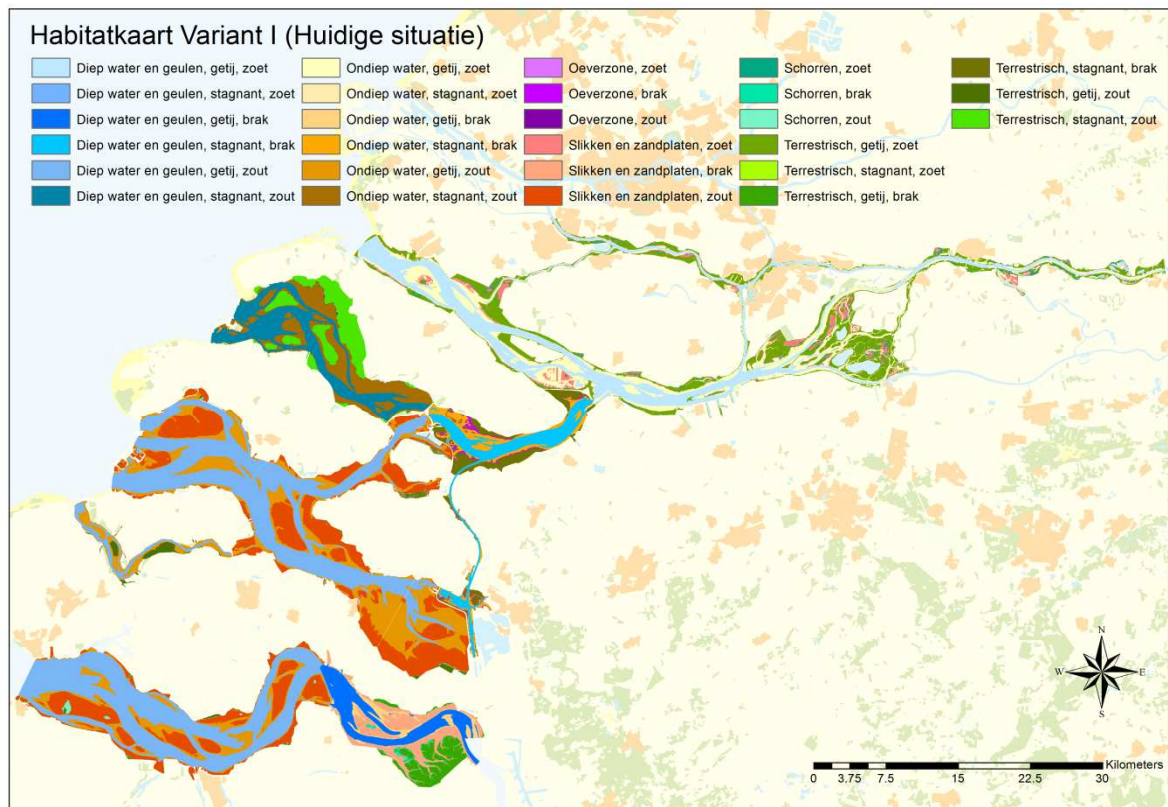
Figuur 10. De bekkens van de Zuidwestelijk Delta en met een overzicht van de Deltawerken. (bron: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Deltawerken>).

De totale oppervlakte van de beschouwde gebieden binnen het plangebied bedraagt 120 000 ha (Tabel 2). Westerschelde en Oosterschelde zijn veruit de grootste gebieden in de ZW Delta, en vertegenwoordigen samen 55% van het oppervlak (Figuur 11). De overige gebieden zijn < 15 000 ha; het kleinste gebied is het Veerse Meer met een oppervlak van 2 437 ha.



Figuur 11. Gemodelleerd oppervlakte van de verschillende bekken in het plangebied (in ha).

De Westerschelde en de Oosterschelde zijn in de huidige situatie de belangrijkste getijdenwateren (meso- tot macrotidaal), met een respectievelijk open en halfopen verbinding met de zee. Ondanks hun afgesloten karakter aan de zeezijde komt ook in Hollandsch Diep, Haringvliet, Biesbosch, Noordelijke rivieren en Veerse meer getij voor, maar de getijslag is veel kleiner (microtidaal). Het Volkerak-Zoommeer en Grevelingenmeer zijn stagnante wateren. Figuur 12 geeft het voorkomen van de verschillende ecosysteemtypen en habitattypes in de huidige situatie (Variant I) weer en is gebaseerd op waterstanden, saliniteit en getijde dynamiek.



Figuur 12. Habitatkaart Variant I: Huidige situatie.

Zoutgehalte

Op basis van het zoutgehalte (saliniteit) bestaat in de huidige situatie het plangebied uit 60% zoute wateren, 14% brakke wateren en 25% zoete wateren. Alleen de Westerschelde heeft twee types wateren, nl. zout en brak met getijde (en gaat over in een zoetwatergetijdengebied op Vlaams grondgebied, buiten het plangebied), de overige wateren hebben slechts één type. Oosterschelde, Veerse meer, en Grevelingenmeer zijn zout, Volkerak-Zoommeer brak, en Haringvliet, Hollandsch Diep, Biesbosch en Noordelijke rivieren zoet. Het Volkerak-Zoommeer wordt als brak geclassificeerd, vanwege van een (gemodelleerde) saliniteit van 0,6-0,7, m.a.w. dit bekken is slechts zeer licht brak. Een geleidelijke (en open) gradiënt van zout via brak naar zoet bestaat in de huidige situatie dus alleen in het Schelde-estuarium (Westerschelde op Nederlands grondgebied en Zeeschelde op Vlaams grondgebied).

Habitattypen gedefinieerd op basis van waterstandskarakteristieken

In de huidige situatie bestaat het plangebied voor 66% uit permanent water habitat (41% diep en 25% ondiep habitat), 20% droogvallend (18% slikken en zandplaten, 0.4% oeverzone en 1.3% schorren), en 14% terrestrisch. Slikken en zandplaten komen voor 88% voor in de Westerschelde en Oosterschelde (Tabel 2). In deze twee bekkens vertegenwoordigen slikken en zandplaten een derde van de totale oppervlakte. De gemodelleerde oppervlaktes van dit habitattype komen overeen met de in de werkelijkheid voorkomende oppervlaktes (Geurts van Kessel, 2004, Anon. 2010). In de andere gebieden komt dit habitattype veel minder voor (Tabel 3). Oeverzones komen slechts in zeer beperkte mate voor in Volkerak-Zoommeer en Grevelingenmeer (de enige als stagnante geclassificeerde wateren in de huidige situatie). Terrestrische delen komen in alle bekkens voor, maar vooral in Biesbosch en Grevelingenmeer (elk 20% van de totale oppervlakte) (Tabel 2). Relatief gezien komen terrestrische habitats het meest voor in Biesbosch en Noordelijke Rivieren (Tabel 3). Opvallend is ook het grote terrestrische areaal in de Westerschelde (Tabel 2); dit is te wijten aan het feit dat grote delen van het Verdrongen Land van Saeftinghe als terrestrisch worden geclassificeerd (op basis van de modelberekeningen en de gehanteerde klassegrenzen). Heel wat schorren in de Westerschelde zijn inderdaad sterk verhoogd en verruigd, en de overspoelingfrequentie is gering. Vooral de Oosterschelde kent relatief weinig terrestrisch habitat (Tabel 3).

De gemodelleerde oppervlaktes in tabel 2 wijken enigszins af van elders gerapporteerde arealen. Zo wordt het areaal slikken en zandplaten overschat in Biesbosch en en Haringvliet t.o.v. de in de MER Beheer Haringvlietsluizen (www.rijkswaterstaat.nl) gerapporteerde arealen. Dit heeft te maken met de opgelegde waterstanden, de gehanteerde bodemligging en de gehanteerde klasse-indelingen. De veranderingen die optreden in de verschillende ontwikkelingsvarianten zijn berekend t.o.v. van variant I, de huidige situatie.

Tabel 2. *Oppervlakte van de verschillende habitats (in ha) in de huidige situatie (variant I) per bekken (gedefinieerd op basis van waterstandskarakteristieken).*

Oppervlakte (ha)	Permanent onder water		Droogvallend			terrestrisch	Totaal
	diep water	ondiep water	slikken en zandplaten	oeverzone	schorren		
Biesbosch	1029	2717	959	0	319	3253	8278
Grevelingenmeer	5080	4858	0	87	0	3422	13446
Haringvliet	4524	2852	803	0	179	2024	10382
Hollandsch Diep	2486	1204	129	0	75	762	4656
Noordelijke rivieren	2141	1538	669	0	445	2366	7158
Oosterschelde	14244	9419	10740	0	131	323	34856
Veerse Meer	868	1117	9	0	0	442	2437
Volkerak Zoommeer	3270	1901	0	373	0	2191	7734
Westerschelde	15562	4777	8321	0	437	2048	31144
Totaal	49204	30382	21630	460	1586	16832	120093

Tabel 3. Relatieve oppervlaktes (%) per bekken van permanent onder water, droogvallend (= slikken en zandplaten, schorren en oeverzone), en terrestrisch habitat in de huidige situatie (variant I).

Relatief oppervlak (%)	Permanent onder water	Droogvallend	Terrestrisch
Biesbosch	45	15	39
Grevelingenmeer	74	1	25
Haringvliet	71	9	19
Hollandsch Diep	79	4	16
Noordelijke rivieren	51	16	33
Oosterschelde	68	31	1
Veerse Meer	81	0	18
Volkerak Zoommeer	67	5	28
Westerschelde	65	28	7

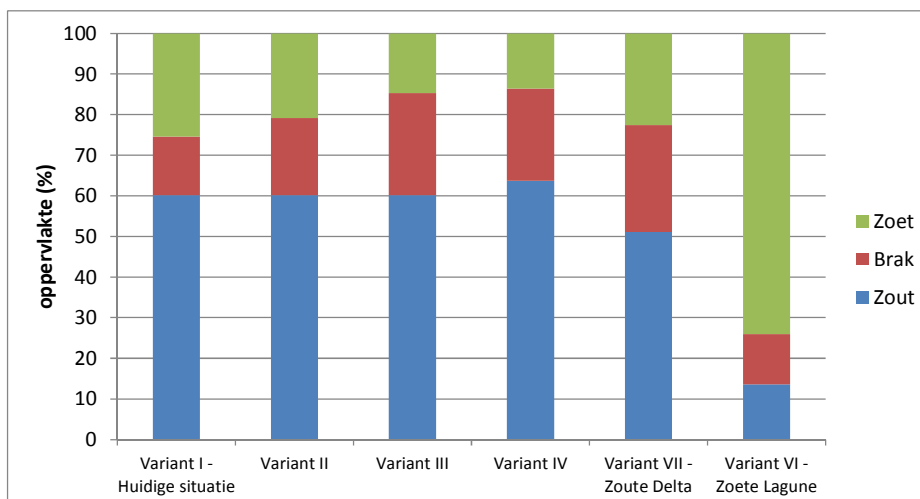
4.2 Vergelijking ontwikkelingsvarianten op voorkomen systeemtypes en habitattypes

In het volgende hoofdstuk wordt in de figuren en tabellen variant VII vóór variant VI gepresenteerd. Variant VII (Zoute Delta) volgt meer logisch op variant V, in een gradiënt naar een steeds meer in open verbinding met de zee staand systeem. Variant VI (Zoete Lagune) is de extreme zoete, stagnante variant.

4.2.1. Volledig plangebied

Effect op zoutgehalte

Ten opzichte van de huidige situatie leiden de ingrepen in varianten II en III tot een lichte toename van het brakke systeemtype (resp. +5% en +11%), ten koste van zoet (Figuur 13). Dit is met name een gevolg van het inlaten van zout water in de Haringvliet. In variant IV neemt het zoute systeemtype licht toe (+4%) in vergelijking tot de huidige situatie, als ook het brakke systeemtype (+9%). Variant IV kent het kleinste aandeel aan zoet systeemtype van alle ontwikkelvarianten. In variant VII (Zoute Delta) zien we door een sterk gewijzigde verdeling van de rivierafvoer een andere verhouding ontstaan, met minder zoute wateren (-9%), en een lichte toename van het brakke systeemtype (+12%). In deze variant zijn brakke wateren het meest vertegenwoordigd (26% van de totale oppervlakte van het plangebied). In de variant VI (Zoete lagune) zien we een sterke toename van het zoete systeemtype (+49% t.o.v. huidige situatie), en neemt vooral het zoute systeemtype (-46%) sterk af. Het areaal brakke wateren blijft nagenoeg hetzelfde (-2%). Deze brakke wateren bevinden zich in de Westerschelde waar nauwelijks veranderingen optreden tussen de varianten. Samenvattend, het brakke systeemtype neemt in alle varianten toe en het zoete systeemtype neemt af (t.o.v. de huidige situatie), behalve in variant VI, waar het zoete systeemtype sterk toeneemt. Het zoute systeemtype verandert weinig in de varianten II, III en IV, en neemt sterk af in variant VI (Zoete Lagune) en in mindere mate in VII (Zoute Delta).



Figuur 13. Effect van de verschillende varianten op de verdeling van zoute, brakke en zoete wateren in het plangebied (in %).

Wanneer we kijken naar de absolute veranderingen in oppervlak binnen een systeemtype, zien we dat het brakke systeemtype toeneemt met +31% in variant II, tot +74% en +83 % in respectievelijk variant III en variant VII (Zoute Delta). De afname van brak in variant VI (Zoete Lagune) is eerder beperkt (-15%), omwille van het blijvend estuariene karakter van de Westerschelde en de opschuiving hier van de brakke zone richting het mondingsgebied. In het geval van variant VI (Zoete Lagune) verdrievoudigt het zoete systeemtype, en verdwijnt 75% van het zoute systeemtype.

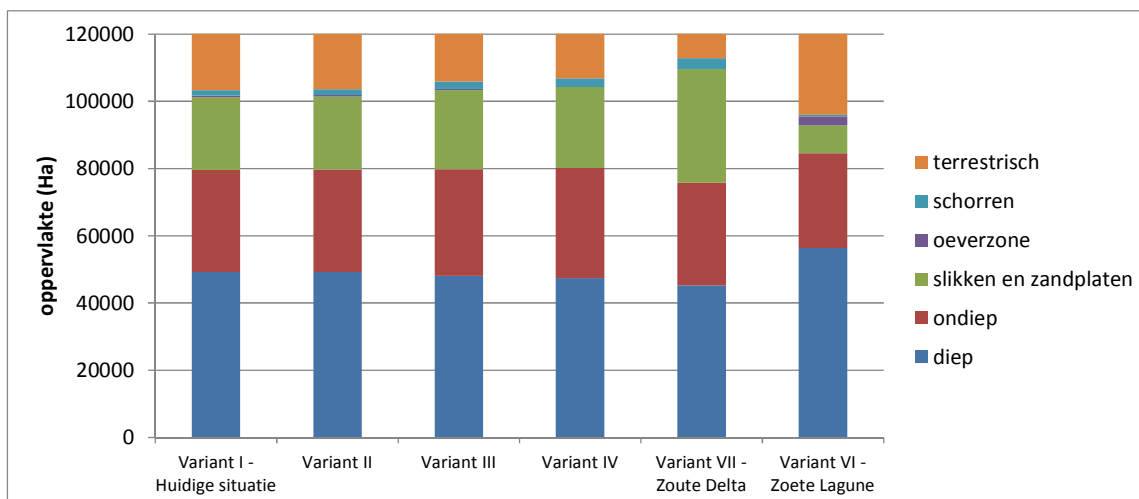
Effect op habitats gedefinieerd op basis van waterstandskarakteristieken

De varianten II, III en IV laten slechts een beperkt effect zien op de verhouding tussen permanent onder water habitat, droogvallend habitat en terrestrisch habitat (Tabel 4). Alleen in variant VII (Zoute Delta) zien we een grote toename van het droogvallend habitat, ten koste van het permanent onder water en terrestrisch habitat. De toename van het droogvallende habitat manifesteert zich met name in een toename van slikken en zandplaten, als ook schorren (Figuur 3). In variant VI (Zoete lagune) neemt met name terrestrisch habitat toe, ten koste van droogvallend habitat. Binnen het droogvallende habitat neemt in deze variant de oeverzone wel toe (Figuur 14). Dit is de enige variant waar oeverzones toenemen. Ook het habitat permanent onder water neemt met 4% toe.

Wanneer we kijken naar de absolute veranderingen in oppervlak binnen een habitattype, treden de grootste veranderingen op in varianten VI en VII. In variant VI (Zoete Lagune), neemt de oeverzone zesvoudig toe, ten koste van slikken en zandplaten (-62%) en schorren (-73%). Het tegenovergestelde zien we in variant VII (Zoute Delta), waarin oeverzones volledig verdwijnen en slikken en zandplaten (1.6x) en schorren (2x) sterk toenemen. Ook in variant IV verdwijnt de oeverzone volledig en neemt vooral schor habitat toe (1.6x).

Tabel 4. Relatieve oppervlaktes (%) per ontwikkelingsvariant van permanent onder water, droogvallend (= intergetijdengebied (slikken en zandplaten en schorren) en oeverzone), en terrestrisch habitat in het volledige plangebied (gedefinieerd op basis van waterstandskarakteristieken).

Relatief oppervlak (%)	Permanent onder water	Droogvallend	Terrestrisch
Variant I – Huidig	66	20	14
Variant II	66	20	14
Variant III	66	22	12
Variant IV	67	22	11
Variant VII – Zoute delta	63	31	6
Variant VI – Zoete Lagune	70	10	20



Figuur 14. Effect van de verschillende varianten op de verdeling van permanent onder water habitat (diep en ondiep), droogvallend habitat (slikken en zandplaten, oeverzone, schorren), en terrestrisch habitat (in ha).

4.2.2 Gebiedsniveau

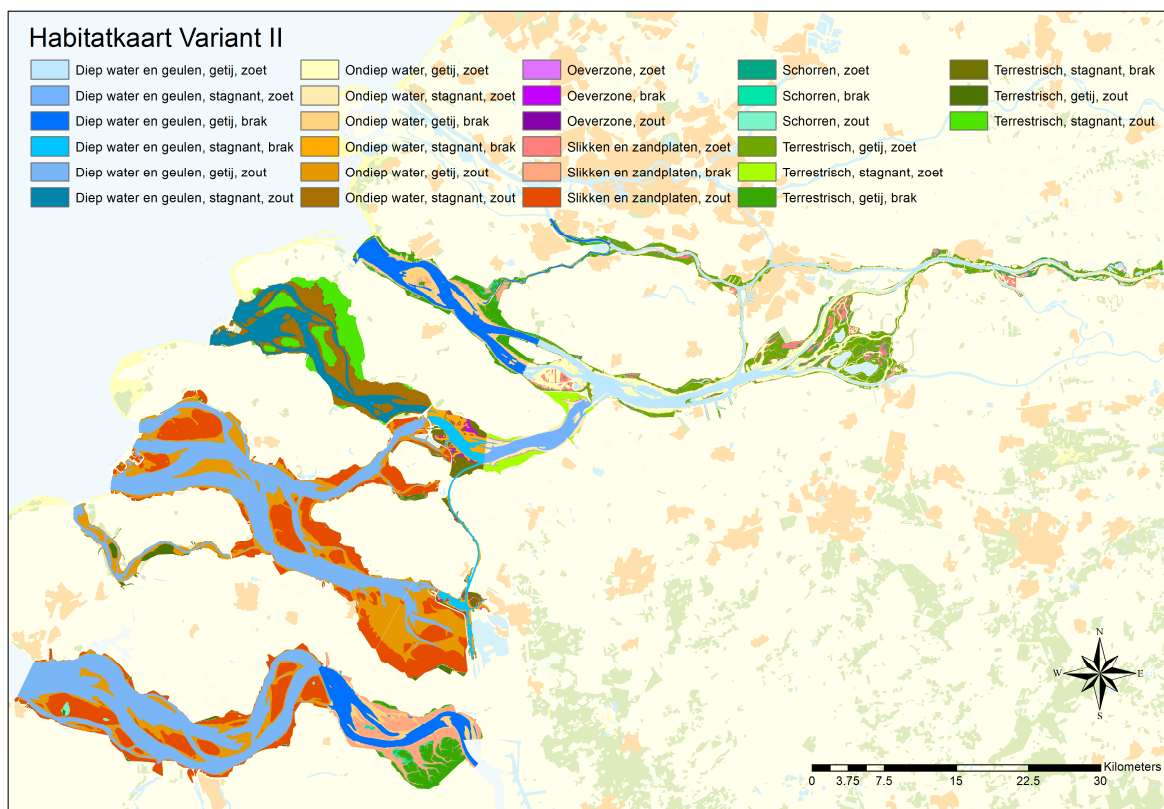
De verschillende varianten leiden tot veranderingen in systeemtypes en habitattypes in de verschillende gebieden. In Appendix A staan de oppervlaktes per systeemtype en habitatype voor elke variant en voor elk gebied binnen het plangebied. De belangrijkste veranderingen t.o.v. de huidige situatie worden hieronder per variant en gebied toegelicht. De veranderingen in zout-brak-zoet overgangen worden in een apart hoofdstuk besproken (paragraaf 4.4).

Ontwikkelingsvariant II – Verbeterd beheer, Korte termijn

De ingebruikname van de Kier in de Haringvliet zorgt ervoor dat netto minder afvoer is door de Haringvlietssluis en meer door de Nieuwe Waterweg. Dit leidt in de Haringvliet tot een toename van het brakke systeemtype (0 ha naar 8 000 ha), ten koste van het zoete systeemtype (Figuur 15). In de Noordelijke Rivieren zien we tevens een toename van 0 ha naar 850 ha brak water.

In variant 2 wordt tevens 25 m³/s i.p.v. 8 m³/s zoet water via de Volkerakssluis van het Hollandsch Diep naar het Volkerak-Zoommeer ingelaten. Dit zorgt voor een toename van ± 3 500 ha zoet water (45%) in een voorheen brak systeemtype.

Omdat nauwelijks veranderingen optreden in de waterstanden en de berekende gemiddelde getijslag, verandert in deze variant nauwelijks iets aan de oppervlakte habitats gedefinieerd op basis van de waterstandskarakteristieken. Waar de habitats een meer brak karakter (Haringvliet, Noordelijke Rivieren), dan wel een zoet karakter (Volkerak-Zoommeer) krijgen, zal de soortensamenstelling en diversiteit wijzigen (zie Ysebaert et al. 2012). Zo krijgt in de Haringvliet 550 ha voorheen zoet, slikken en zandplaten habitat een brak karakter.



Figuur 15. Habitatkaart Variant II: Verbeterd beheer, Korte termijn.

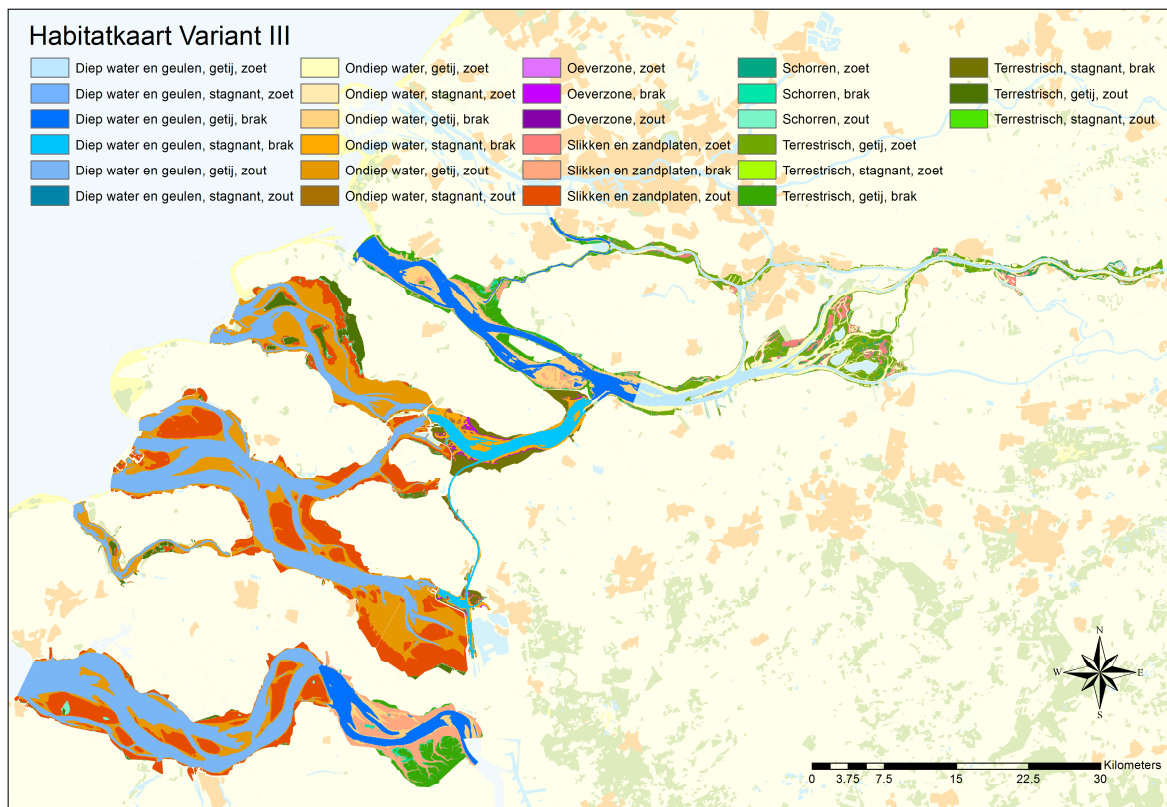
Ontwikkelingsvariant III – Verbeterde inrichting 1, Korte termijn

In variant III worden de Haringvlietsluizen verder opengesteld. Dit, gecombineerd met een grotere afvoer via de Volkeraksluizen zorgt voor een verdere verlaging van de netto afvoer door de Haringvlietsluizen. De 100 m³/s rivierwater die voor doorspoeling op het Volkerak-Zoommeer wordt ingelaten, wordt, verdeeld over de Philipsdam en de Oesterdam, naar de Oosterschelde gestuurd (Nolte et al. 2013). De opening in de Veerse gatdam en de vergrote opening in de Zandkreekdam zorgen voor een netto doorspoeling van circa 60 m³/s van het Veerse Meer.

De ingebruikname van een doorlaatmiddel in de Brouwersdam resulteert in een getij van circa 0,4 m. Het doorlaatmiddel in de Veerse gatdam en de vergrote Katse Heule in de Zandkreekdam resulteren in een getijslag van 0,6 m op het Veerse Meer, ofwel een verhoging van circa 0,45 m (Nolte et al. 2013). Op de overige Deltawateren verandert de getijslag niet.

De ingrepen in deze variant leiden tot een verdere toename van het brakke systeemtype ten koste van het zoete systeemtype: in de Haringvliet 10 400 ha brak water, in het Hollandsch Diep 1 550 ha, en in de Noordelijke Rivieren 850 ha (Figuur 16). In de overige gebieden treden geen veranderingen op. Het areaal zout water verandert niet in deze variant.

Door de veranderingen in waterstanden en gemiddelde getijslag verandert het oppervlakte van habitats gedefinieerd op basis van de waterstandskarakteristieken. De grootste veranderingen treden op in het Grevelingenmeer (zout systeemtype), waar ondiep water toeneemt met zo'n 1 250 ha (ten koste van diep water habitat), en slikken en zandplaten toenemen van 0 ha naar bijna 1 600 ha en schorren van 0 ha naar 280 ha (ten koste van terrestrisch habitat). Ook in de Biesbosch (zoet), Haringvliet (brak/zoet), Hollandsch Diep (brak/zoet) en Veerse Meer (zout) neemt de oppervlakte aan slikken en zandplaten en schorren toe. Waar de habitats een meer brak karakter (Haringvliet, Hollandsch Diep, Noordelijke Rivieren) krijgen en/of wijzigen qua waterstandskarakteristieken zal de soortensamenstelling en biodiversiteit wijzigen (zie Ysebaert et al. 2012). Brak water heeft van nature een lagere biodiversiteit dan zoete en zoute wateren.

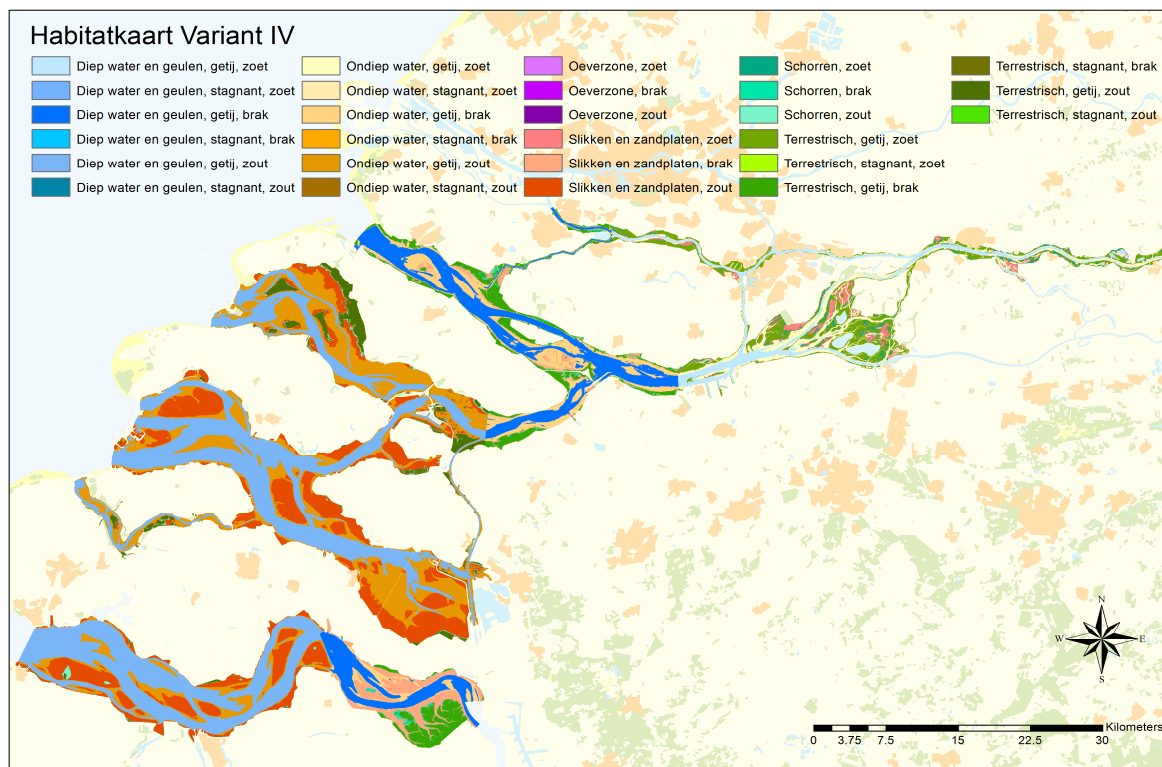


Figuur 16. Habitatkaart Variant III: Verbeterde inrichting 1, Korte termijn.

Ontwikkelingsvariant IV – Verbeterde inrichting 2, Korte termijn

Alle bekens staan onder invloed van (gedempt) getij. De opening van de doorlaatmiddelen in de Grevelingendam, de Philipsdam en de Oesterdam, waardoor water vrijelijk van het Grevelingenmeer en de Oosterschelde naar het Volkerak-Zoommeer kan stromen, resulteert in een bijzonder netto stromingspatroon (Nolte et al. 2013). De uitstroom naar de Noordzee gebeurt via de Bathse spuisluis naar de Westerschelde, maar merendeels via de Grevelingendam en de Brouwersdam. De netto waterstroming in de wateren ten noorden van de Volkeraksluizen blijft in variant 4 relatief ongewijzigd ten opzichte van variant III. Ook voor het Veerse Meer treedt geen wijziging op. Het Volkerak-Zoommeer krijgt in deze variant een berekende getijslag van 0,4 m op het Krammer-Volkerak en nog iets hoger op het Zoommeer. Door de verbinding met het Volkerak-Zoommeer neemt de getijslag op het Grevelingenmeer iets af t.o.v. variant III (0,3 m vs. 0,4 m). De grotere openstelling van de Haringvlietsluizen zorgt dat het getij in de Biesbosch 0,15 m toeneemt (Nolte et al. 2013). De ingrepen in variant IV leiden tot een verdere toename van het brakke systeemtype ten koste van het zoete systeemtype in het Hollandsch Diep (2880 ha). In Haringvliet en Noordelijke Rivieren treedt er geen verandering op t.o.v. variant III (zie boven). Het Volkerak-Zoommeer krijgt in deze variant een relatief grote zoute zone (4 250 ha), ten koste van het brakke systeemtype (Figuur 17). In de overige gebieden treden geen veranderingen op. In deze variant worden alle gebieden als getijdenwateren geïdentificeerd.

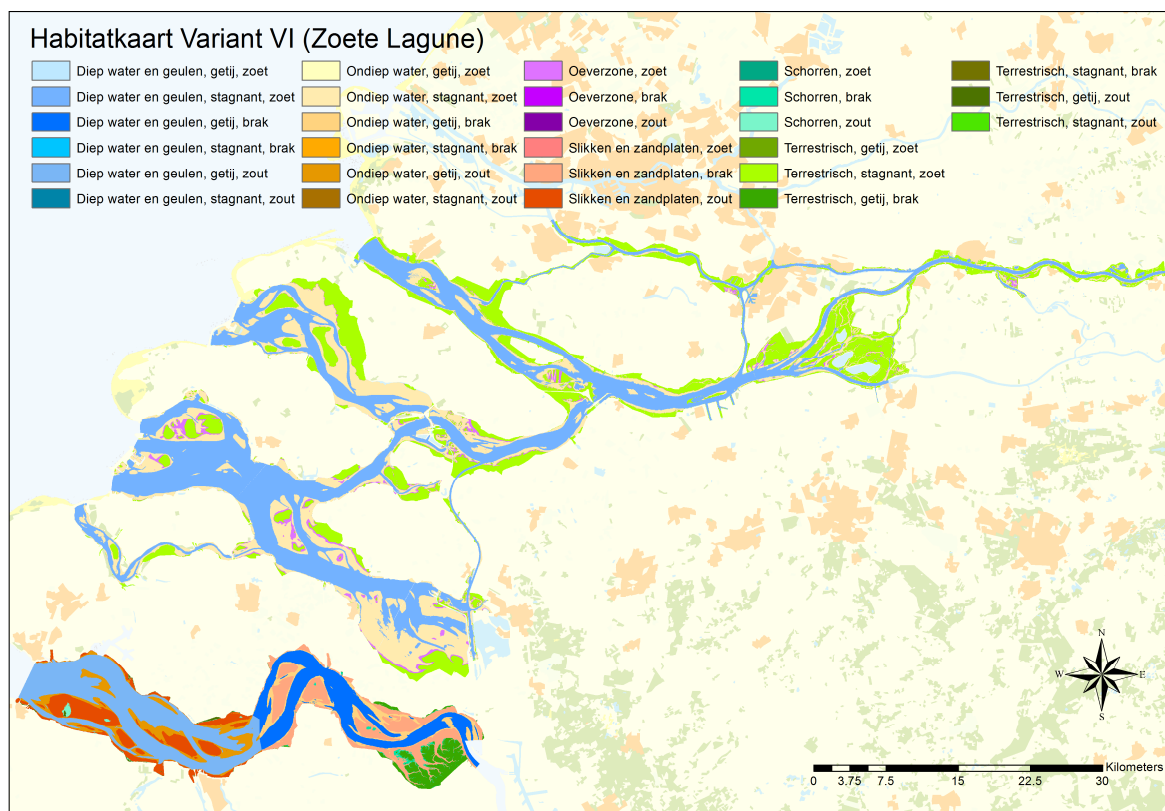
Door de veranderingen in waterstanden en gemiddelde getijslag verandert het oppervlakte van habitats gedefinieerd op basis van de waterstandskarakteristieken. De veranderingen t.o.v. de huidige situatie zijn vergelijkbaar met variant III, behalve voor het Volkerak-Zoommeer. Het Volkerak-Zoommeer is in variant IV een zout/brak getijdenwater, waar ondiep water toeneemt met zo'n 900 ha (grotendeels ten koste van diep water habitat), en slikken en zandplaten toenemen van 0 ha naar 600 ha en schorren van 0 ha naar 210 ha (ten koste van oeverzone en terrestrisch habitat). Waar de habitats een meer brak karakter (Haringvliet, Hollandsch Diep, Noordelijke Rivieren) of zout karakter (Volkerak-Zoommeer) krijgen, en/of wijzigen qua waterstandskarakteristieken, zal de soortensamenstelling en diversiteit wijzigen (zie Ysebaert et al. 2012).



Figuur 17. Habitatkaart Variant IV: Verbeterde inrichting 2, Korte termijn.

Ontwikkelingsvariant VI – Zoete lagune, lange termijn

In deze variant is de Nieuwe Waterweg voor rivierafvoer afgesloten met een scheepvaartsluis. De rivierafvoer verdeelt zich ruwweg gelijk over de Haringvlietsluizen en de Oosterscheldekering. Slechts een klein deel wordt door de spuisluizen in de Brouwersdam afgevoerd. In de Zoete lagune is geen getij, behalve in de Westerschelde. De waterstandsvariantie in het Haringvliet wordt veroorzaakt doordat niet continu gespuid kan worden. Bij vloed op zee staan de spuisluizen dicht en wordt het rivierwater niet afgevoerd. De waterstand in het Haringvliet loopt dan ongeveer 0,25 m op. De waterstand in Grevelingenmeer en Oosterschelde lopen met respectievelijk 0,1 m en 0,05 m op (Nolte et al. 2013). Deze extreme variant resulteert in een sterke verandering in het areaal van de onderscheiden systeemtypen. Alle gebieden worden stagnant en zoet, op de Westerschelde na (Figuur 18). Het zoet systeemtype neemt dan ook fors toe in oppervlakte (zie 4.2). In de Westerschelde zien we een toename van het brakke systeemtype (+ 5 000 ha) t.o.v. de huidige situatie, doordat de brakwaterzone stroomafwaarts uitbreidt ten koste van de zoute zone. Door de veranderingen in waterstanden en het verdwijnen van de getijslag (behalve Westerschelde) verandert het oppervlakte van habitats gedefinieerd op basis van de waterstandskarakteristieken grondig in deze variant. Slikken en zandplaten en schorren verdwijnen volledig in deze variant (behalve Westerschelde), en we zien een toename van zowel het diep water habitat als het terrestrisch habitat in bijna alle gebieden: in totaal komt er ± 7000 ha aan diep water habitat en ± 7 200 ha aan terrestrisch habitat bij t.o.v. de huidige situatie. De variant Zoete Lagune is ook de enige variant waar het habitat oeverzone toeneemt, tot zo'n 2700 ha. Meer dan de helft daarvan (1 500 ha) bevindt zich in de Oosterschelde, gevolgd door Volkerak-Zoommeer (361 ha, al aanwezig in de huidige situatie) en Biesbosch (309 ha). Waar de habitats een meer zoet en stagnant karakter (Haringvliet, Hollandsch Diep, Noordelijke Rivieren) krijgen, en/of wijzigen qua waterstandskarakteristieken, zal de soortensamenstelling en diversiteit wijzigen (zie Ysebaert et al. 2012).



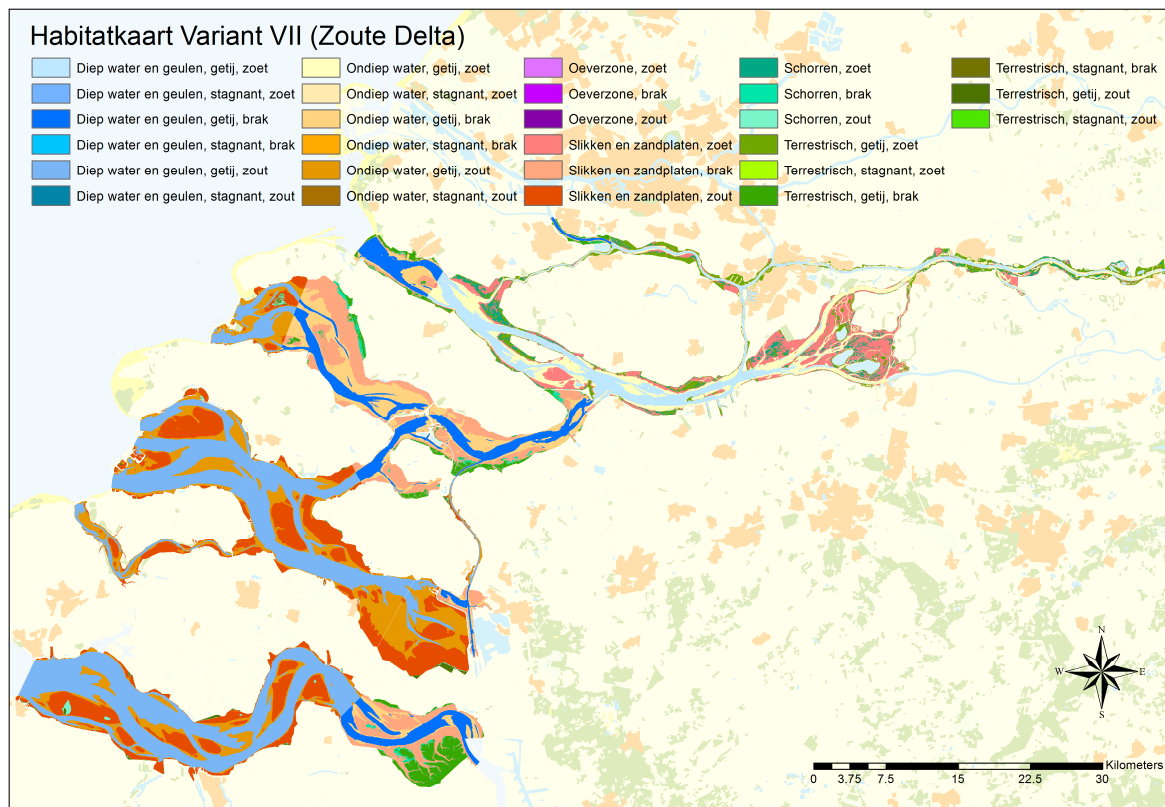
Figuur 18. Habitatkaart Variant VI: Zoete lagune, Lange termijn

Ontwikkelingsvariant VII – Zoute Delta, lange termijn

In deze variant worden alle kunstwerken en dammen verwijderd. De rivierafvoer verdeelt zich ruwweg gelijk over Nieuwe Waterweg, Haringvliet en Grevelingen (Nolte et al. 2013). De Oosterschelde blijft netto importerend, maar gezien de grote bruto uitwisselingsdebieten van circa 23 000 m³/s is dit netto debiet verwaarloosbaar (Nolte et al. 2013).

Deze extreme variant resulteert in een verandering in het areaal van de onderscheiden systeemtypen. Alle gebieden worden getijdenwateren. De brakke zone neemt in het Grevelingenmeer (+9400 ha), Haringvliet (+2 900 ha), en Noordelijke rivieren (+470 ha) toe t.o.v. de huidige situatie, en neemt af in het Volkerak-Zoommeer (-400 ha) en de Westerschelde (-1300 ha). In totaal neemt het brakke systeemtype wel toe in deze variant (zie 4.2). Het zoute systeemtype neemt fors af in de Grevelingen (-9400 ha), en in mindere mate ook in de Oosterschelde (-3300 ha). Het zoete systeemtype neemt af in het Haringvliet en de Noordelijke Rivieren (ten voordele van brak), en blijft in de Biesbosch en Hollandsch Diep onveranderd (Figuur 19).

Door de veranderingen in waterstanden verandert het oppervlakte van habitats gedefinieerd op basis van de waterstandskarakteristieken grondig in deze variant. Diep water habitat neemt in alle gebieden af, behalve in de Westerschelde en Oosterschelde waar het min of meer constant blijft. Ondiep water habitat blijft in totaal min of meer hetzelfde (zie 4.2), maar in het ene gebied is er sprake van een lichte toename van het areaal ondiep water (bijv. Volkerak-Zoommeer), in andere gebieden een lichte afname (bijv. Biesbosch). De grootste veranderingen doen zich voor in de droogvallende en terrestrische habitats, met een toename van slikken en zandplaten en schorren en een afname in terrestrisch habitat. In totaal komt er ± 12200 ha slikken en zandplaten bij t.o.v. de huidige situatie, met name in het Grevelingenmeer (+4250 ha), Biesbosch (+2800 ha), en Volkerak-Zoommeer (+2450 ha). Schorren verdubbelen min of meer in deze variant, met name in de Biesbosch (+400 ha), Haringvliet (+500 ha), Grevelingenmeer (+310 ha), en Volkerak-Zoommeer (+260 ha). Waar de habitats een meer brak/zout en getijdarakter krijgen, en/of wijzigen qua waterstandskarakteristieken, zal de soortensamenstelling en diversiteit wijzigen (zie Ysebaert et al. 2012).



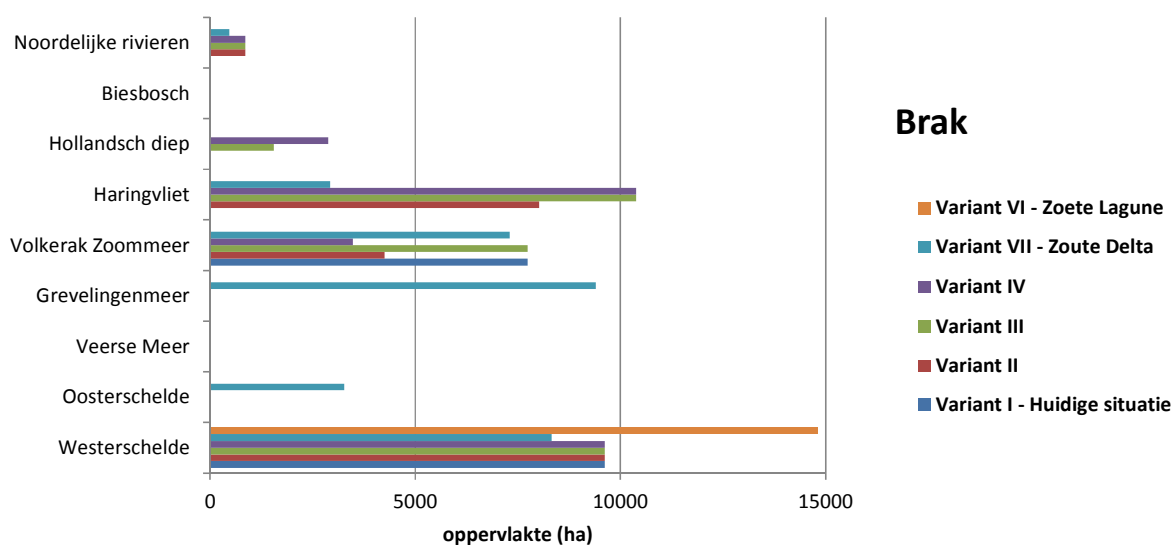
Figuur 19. Habitatkaart Variant VII: Zoute Delta, Lange termijn

Belangrijkste veranderingen in een aantal kenmerkende habitattypes samengevat

Een aantal observaties zoals hierboven beschreven, worden hieronder samengevat.

Veranderingen in het areaal van het brakke systeemtype

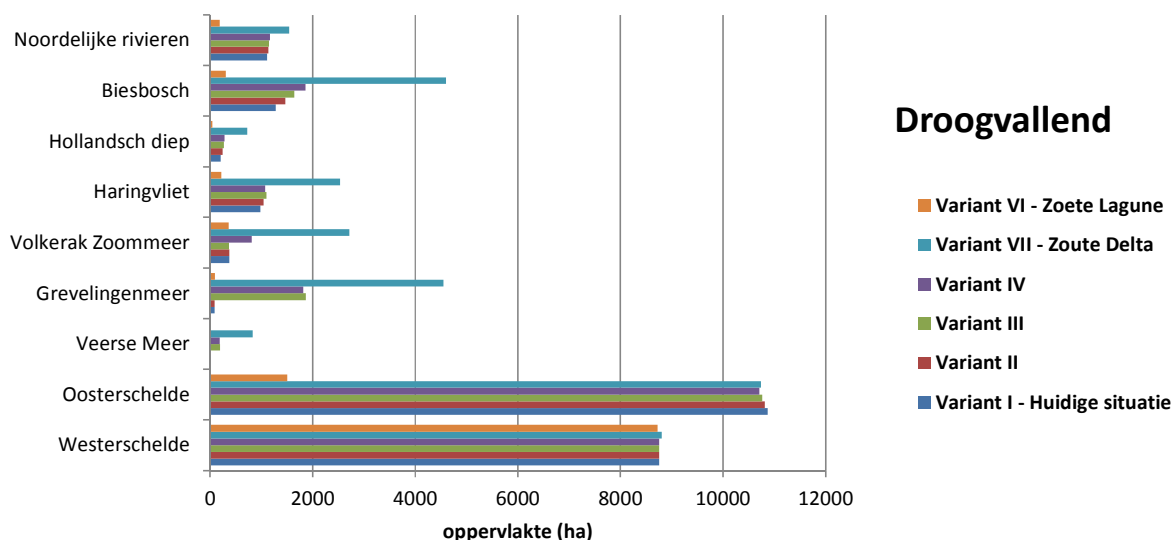
Het brakke systeemtype neemt toe in alle varianten, en kent de grootste verspreiding over het plangebied in variant VII Zoute Delta (Figuur 20). In deze variant komen in alle gebieden brakwaterzones voor, behalve in Veerse Meer (volledig zout) en Hollandsch Diep en Biesbosch (volledig zoet). Opvallend is de toename van de brakke zone in de Westerschelde in variant VI (Zoete Lagune), doordat de brakwaterzone stroomafwaarts uitbreidt ten koste van de zoute zone (onder de aanname van een verhoogde zoetwaterafvoer via Bathse spuilsuis (Figuur 20).



Figuur 20. Veranderingen in areaal (ha) van het systeemtype brakke wateren in de verschillende varianten.

Veranderingen in droogvallend habitattype

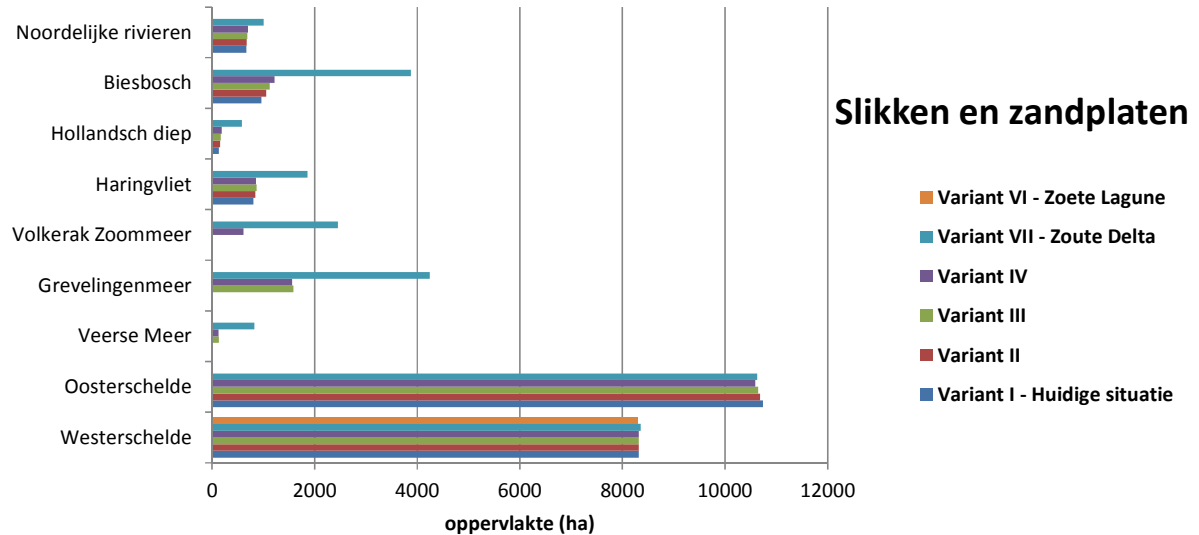
Het droogvallende type kent met name in variant VII (Zoute Delta) een grote toename, terwijl het daarentegen sterk afneemt in variant VI (Zoete Lagune) (Figuur 21). Het gaat hier met name om slikken en zandplaten en schorren (zie verder).



Figuur 21. Veranderingen in areaal van het habitattype 'droogvallend' in de verschillende varianten.

Veranderingen in slikken en zandplaten habitattype

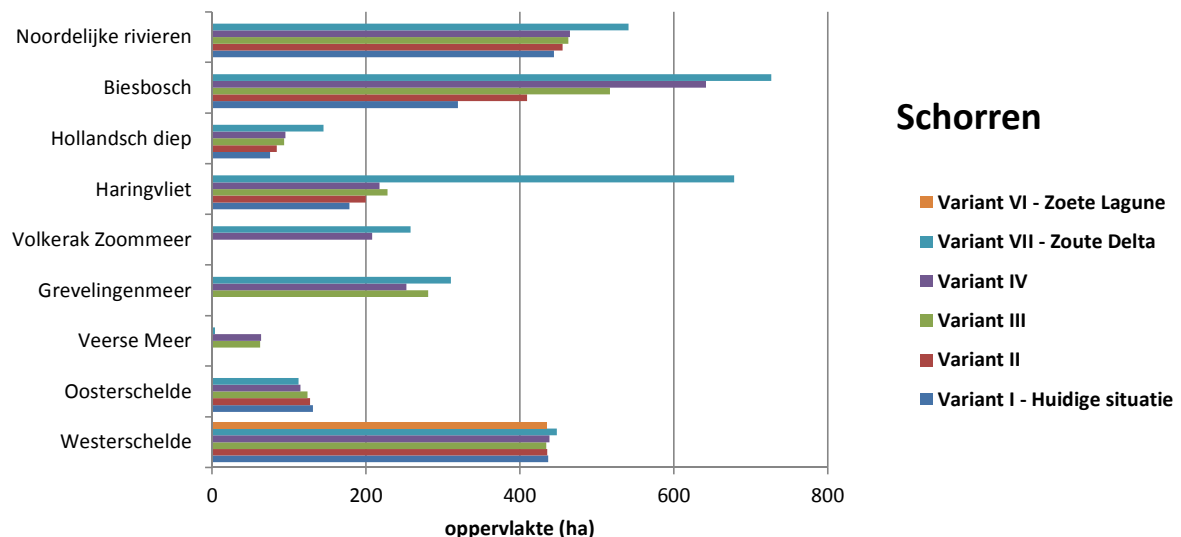
Slikken en zandplaten nemen toe in alle varianten, behalve in variant VI (Zoete Lagune) waar dit habitattype niet voorkomt. Veruit het grootste areaal komt voor in variant VII (Zoute Delta) (Figuur 22).



Figuur 22. Veranderingen in areaal van het habitattype 'slikken en zandplaten' in de verschillende varianten.

Veranderingen in schorren habitattype

Schorren nemen toe in alle varianten, behalve in variant VI (Zoete Lagune) waar dit habitattype niet voorkomt. Veruit het grootste areaal komt voor in variant VII (Zoute Delta) (Figuur 23). Er dient rekening gehouden worden met het feit dat, omdat sommige buitendijkse gebieden nu reeds relatief hoog liggen, deze gebieden als terrestrisch gekarteerd (op basis van de modelberekeningen en gehanteerde klassengrenzen) worden. Dit is reeds het geval in variant I (Huidige Situatie), waar bijv. grote delen van het Verdronken Land van Saefthinge als terrestrisch worden gekarteerd (zie boven).

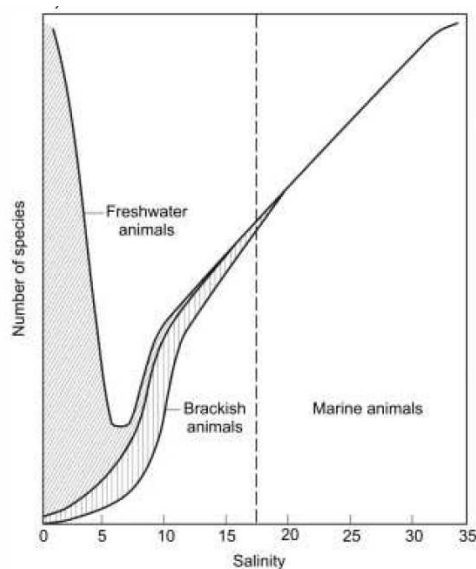


Figuur 23. Veranderingen in areaal van het habitattype 'schorren' in de verschillende varianten. Zie tekst voor nadere uitleg over afwijkende oppervlaktes.

4.4 Vergelijking ontwikkelingsvarianten op voorkomen van zout-brak-zoet overgangen

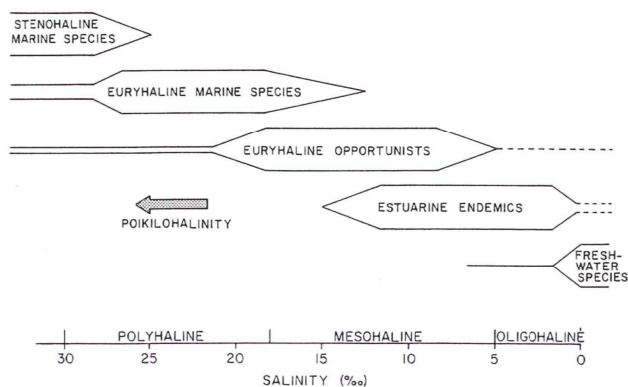
Belang van een zoet-zout overgang

Saliniteit is een belangrijke bepalende factor voor het voorkomen van soorten in estuaria en kustgebieden (De Leeuw and Backx 2001). De brakwaterzone heeft van nature een lage biodiversiteit. Dit is al begin vorige eeuw onderzocht door Remane (1934) in de Baltische Zee en later verder onderbouwd en breder toepasbaar gemaakt door o.a. Whitfield et al. (2011) (Figuur 24). Dit komt omdat maar enkele gespecialiseerde soorten kunnen overleven in dit milieu. In estuaria is het vooral de hoge dynamiek (in waterstanden en saliniteit) in de brakwaterzone die leiden tot een lager aantal soorten ten opzichte van zoet- en zoutwater systemen (Attrill 2002).



Figuur 24. Het relatieve aantal zoet-, brak- en zoutwatersoorten bij verschillende zoutgehalten. De brakwaterzone heeft van nature een relatief lage soortenrijkdom. De stippellijn geeft de 50% waarde aan van het zoutgehalte van zeewater. (Bron: Whitfield et al. (2011), naar Remane (1934)).

De brakwaterzone vertegenwoordigt daardoor een lage biodiversiteit, maar door het voorkomen van gespecialiseerde en vaak zeldzame soorten en habitats vertegenwoordigen deze gebieden een hoge uniciteit (Tangelder et al. 2012). Brakke habitats en daarin voorkomende soorten zijn daarom van internationaal belang. Naast het voorkomen van gespecialiseerde (zeldzame) brakwatersoorten is een zoet-zout-overgang ook essentieel voor het voorkomen van specifieke estuariene habitats waarvan sommige soorten afhankelijk zijn. Omdat estuaria over het geheel gezien zeer dynamische zoet-, brak- en zoutwatermilieus zijn met vele geleidelijke overgangen bestaat er een grote verscheidenheid in habitats. Daarom is een natuurlijk estuarium toch soortenrijk (De Leeuw en Backx 2001). In de overgang van zoet via brak naar zout komen daarom verschillende zoneringen van soortengemeenschappen voor. Figuur 25 illustreert de zonering van bodemdieren bij een natuurlijke zoet-zout overgang. Een natuurlijke zoet-zout overgang en een estuarien systeem als geheel fungeert als paaigebied en kraamkamer voor vele (commerciële) vissoorten op de Noordzee en de Atlantische Oceaan, kent een hoge productie, is rijk aan schelpdieren en vormt een belangrijk voedselgebied voor trekvogels. Een ander aspect van een geleidelijke zoet-zout overgang is het belang voor migratie van diadrome vissen. Estuaria vormen van nature het overgangsgebied tussen de zee en rivieren. Mirgrerende vis zoals Paling, Zalm, Forel en Steur trekken via het estuarium en verblijven er korte tijd om te acclimatiseren.



Figuur 25. Schematisch overzicht van de spreiding van bentische soortengroepen langs een geleidelijke zout gradiënt in een estuarium (Boesch 1977).

Door ingrijpen van de mens (t.b.v. onder meer veiligheid/Deltawerken, scheepvaart, drinkwatervoorziening, landwinning) is het grootste deel van deze natuurlijke zoet-zoutovergangen in de ZW Delta verdwenen. De soortengemeenschappen in de ZW Delta hebben daardoor grote veranderingen doorgemaakt doordat zich naast getijdensystemen (Oosterschelde, Westerschelde en de Voordelta), nieuwe stagnante zoet-, brak- en zoutwater ecosystemen hebben gevormd als gevolg van de Deltawerken (zie ook Ysebaert et al. 2013). Dit heeft ook grote gevolgen gehad voor de levensgemeenschappen daar waar deze nieuwe milieus zijn ontstaan.

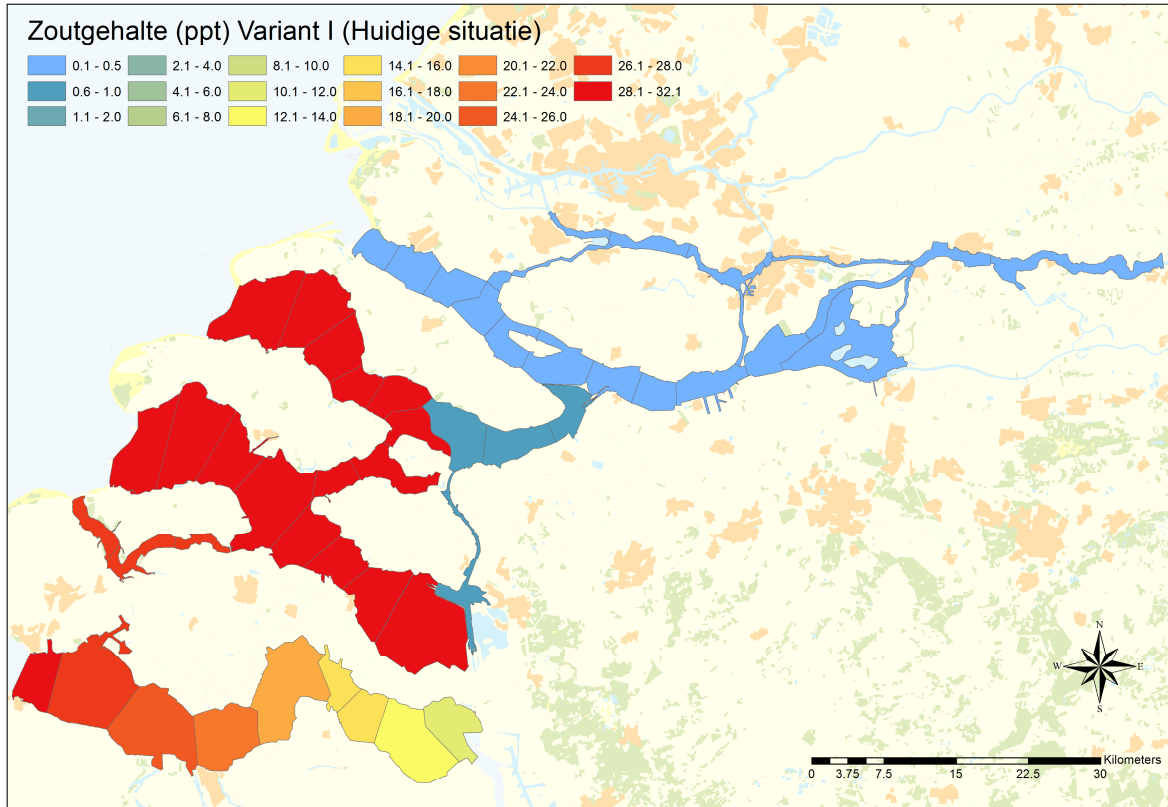
Analyse zoet-zout overgangen varianten

Gezien het ecologische belang van een geleidelijke zoet-zout overgang is het interessant om te analyseren wat het effect van de verschillende varianten hier op is. In onderstaande tekst wordt dit per variant besproken aan de hand van Figuur 26 t/m Figuur 31, die een overzicht geven van de verandering in saliniteit in de verschillende varianten. Variant I, II, III, IV, VI en VII zijn hierbij beschouwd. In Tabel 5 wordt de zonering in saliniteit aangegeven zoals deze ook beschreven staat in Ysebaert et al. (2013).

Tabel 5. Zonering op basis van zoutgehalte (saliniteit).

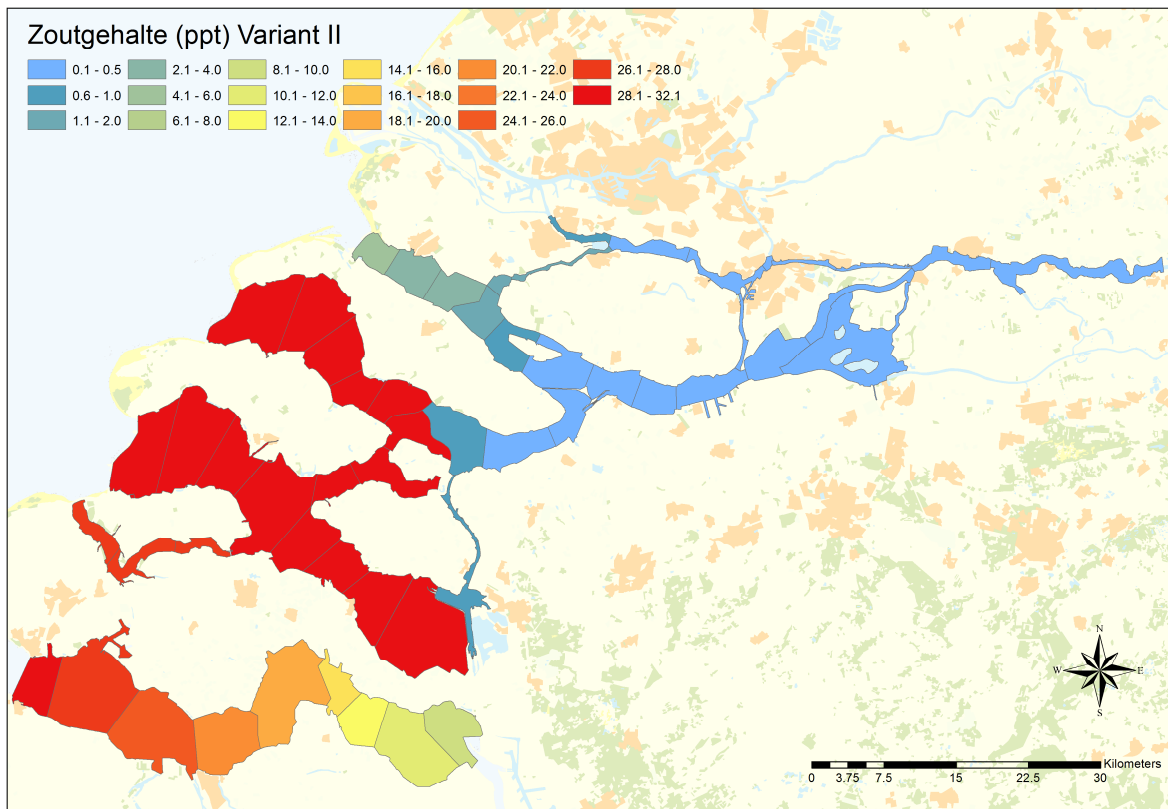
Zone	Zoutgehalte ppt (of psu) (saliniteit)
Zoetwater(getijdezone)	<0.5
Oligohaliene zone	0.5 – 5.0
Mesohaliene zone	5.0 – 18.0
Polyhaliene zone	18.0 – 30.6
Euhaliene zone	>30.6

Variant I (Figuur 26): de huidige situatie in de Zuidwestelijke Delta wordt gekenmerkt door een mozaïek van bekkens met abrupte overgangen in saliniteit. Alleen in de Westerschelde is nog een natuurlijke brak- en zoutwater zone gevoed door het zoete water van de Schelde. Door het afgedamde Haringvliet en Grevelingenmeer in combinatie met de compartimenteringsdammen en de abrupte overgangen van zoet naar zout is vrijwel geen vismigratie mogelijk via de delta naar het Rijn-Maas rivierensysteem.



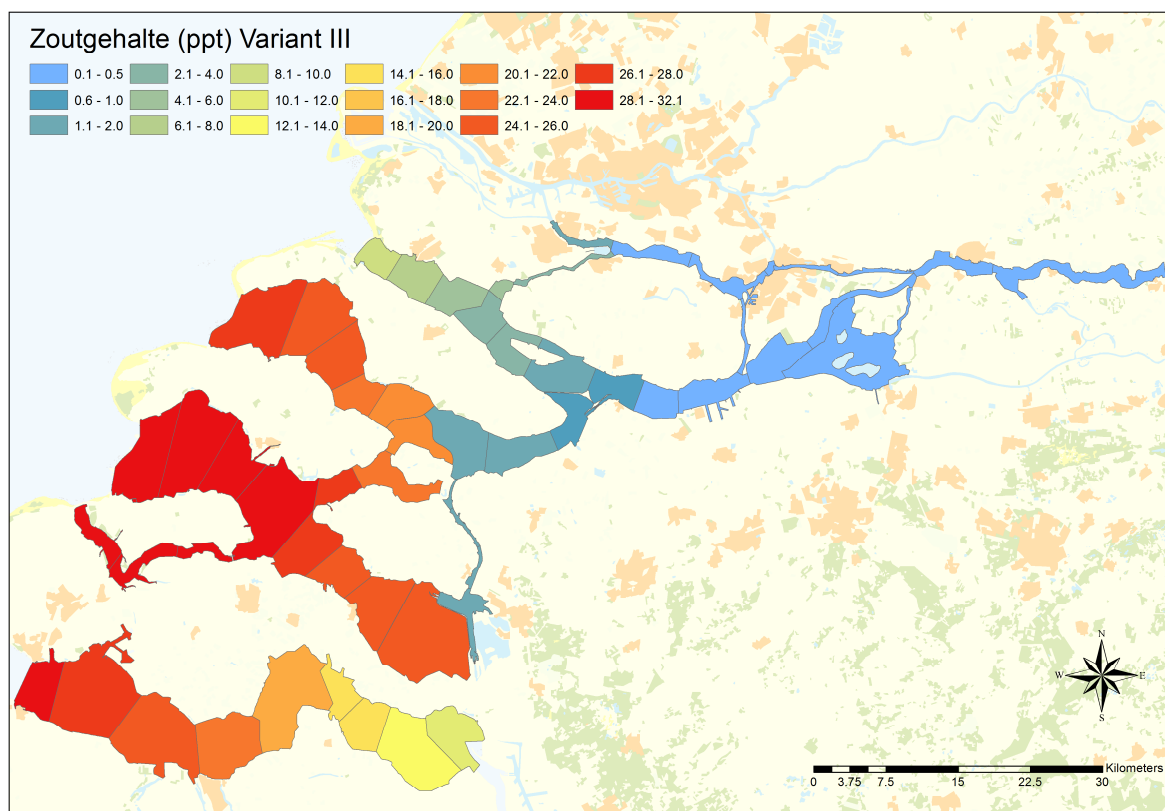
Figuur 26. Jaargemiddeld zoutgehalte (ppt) Variant I: Huidige situatie op basis van modelberekeningen door Nolte et al. (2013). De getallen per segment zijn berekend op basis van jaargemiddelde waarden.

Variant II (Figuur 27): door het toepassen van een aangepast beheer van de Haringvlietsluizen (Kier) ontstaat een geringe zoutinvloed tot aan Tiengemeten van maximaal jaargemiddelde van 6 ppt bij de monding. De saliniteit zal sterk fluctueren met de rivierafvoer en bij hogere afvoeren mogelijk volledig zoet zijn tot aan de Haringvlietsluizen. Hierdoor ontstaat een semi-natuurlijke dynamische zone die door de grote seizoenfluctuatie (langdurig zoet of brak) mogelijk minder interessant is voor specifieke brakwater soorten. Het voornaamste aspect is de mogelijkheid voor vismigratie en een zoete lokstroom in de Noordzee nabij de sluisen. Het (beperkt) doorspoelen van het Volkerak-Zoommeer met rivierwater zorgt voor een verzoeting tot een saliniteit lager dan 0.6. Het aanpassen van de doorlaat in de Brouwersdam om meer uitwisseling tussen het Grevelingenmeer en de Noordzee te bewerkstelligen en zo de zuurstofloosheid nabij de bodem van het meer te verminderen heeft volgens de analyse geen veranderingen in saliniteit tot gevolg. Op de Westerschelde ontstaat een geringe, maar te verwaarlozen verhoging van zoetwater invloed via de Bathse Spuisluis.



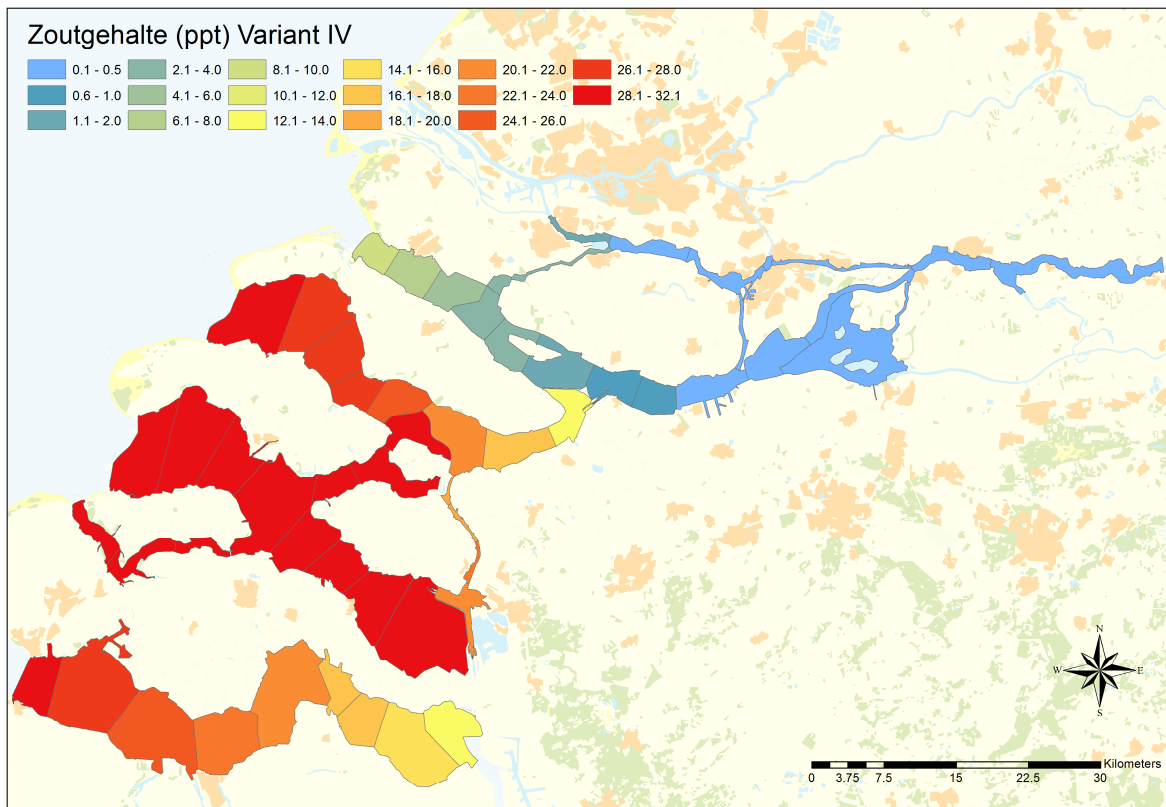
Figuur 27. Jaargemiddeld zoutgehalte (ppt) Variant II: Verbeterd beheer, Korte termijn, op basis van modelberekeningen door Nolte et al. (2013).

Variant III (Figuur 28): bij verdubbeling van de Kier ontstaat op het Haringvliet er een iets bredere brakke zone dan in Variant II met een maximale jaargemiddelde van 8 ppt bij de monding. Doordat er in periode van hoge rivierafvoeren langdurige verzoeting tot aan de Haringvlietdam kan optreden is deze zone mogelijk minder interessant voor specifieke brakwatersoorten. De gemiddelde zoutinvloed reikt tot het Hollandsch Diep, wat ook een geringe saliniteitsverhoging geeft op het Volkerak-Zoommeer, Spui en de westelijke Oude Maas. Er ontstaat een geringe zoetwaterinvloed in het Grevelingenmeer via een doorlaat in de Grevelingendam die zorgt voor een verlaging van de saliniteit tot minimaal 20 ppt. Ook de Oosterschelde ontvangt via het Zijpe via een doorlaat in de Philipsdam en in de Kom via een doorlaat in de Oosterdam een geringe hoeveelheid zoetwater (saliniteit minimaal 22 ppt). Deze geringe zoetwaterinvloed kan mogelijk positief zijn voor de groei van zeegras (Kamermaans, Hemminga et al. 1999), al lopen de meningen over het effect hiervan uiteen. Vanwege de verschillende doorlaten in de dammen worden naast het Haringvliet nu ook het Grevelingenmeer, Volkerak-Zoommeer en Oosterschelde interessant als vismigratieroute al is de zoete lokstroom die vissen prikkelt stroomopwaarts te zwemmen beperkt en is er een groot verschil in saliniteit van 20-24 ppt in Oosterschelde/Grevelingenmeer naar >2 ppt in het Volkerak-Zoommeer.



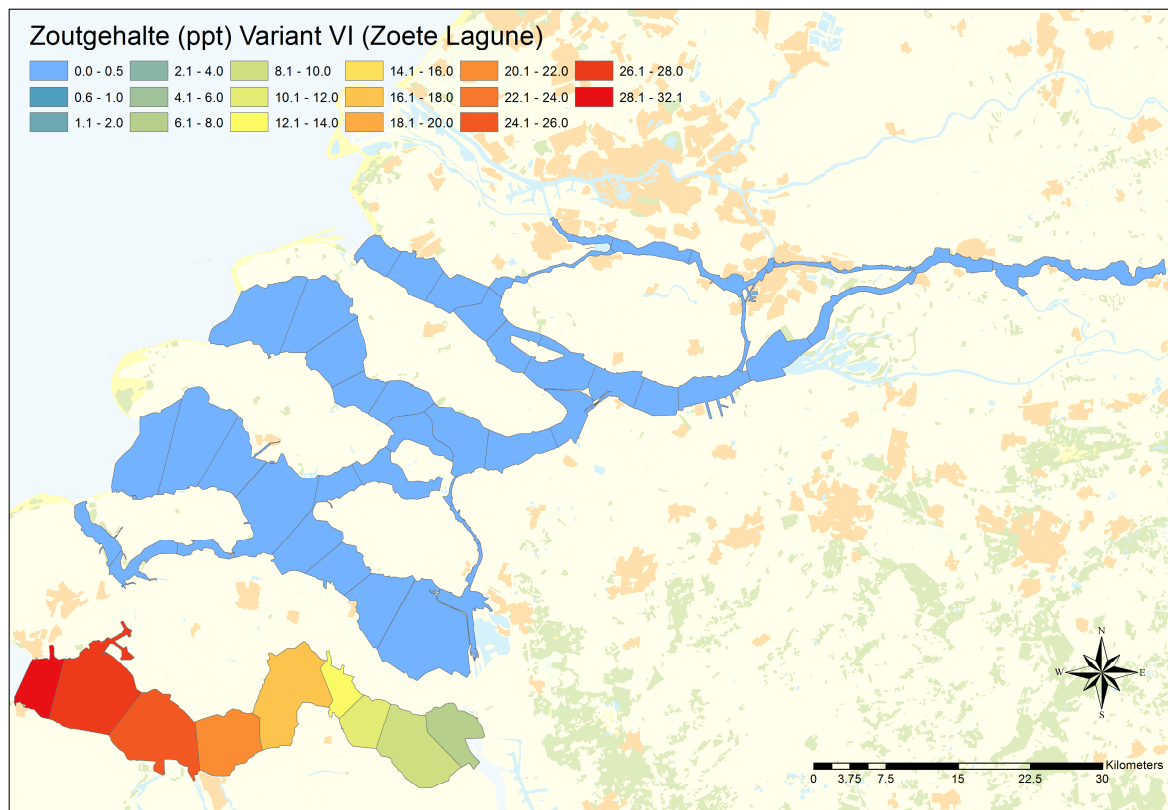
Figuur 28. Jaargemiddeld zoutgehalte (ppt) Variant III: Verbeterde inrichting 1, Korte termijn, op basis van modelberekeningen door Nolte et al. (2013).

Variant IV (Figuur 29): De Grevelingendam is verwijderd waardoor er een open verbinding bestaat tussen het Grevelingenmeer en het Volkerak-Zoommeer. Het Volkerak-Zoommeer vormt een, relatief kleine, brakke overgangszone (mesohalien) tussen het zoute Grevelingenmeer en Oosterschelde en het zoetere Haringvliet/Hollandsch Diep, waar zich een specifiek brak milieu zou kunnen ontwikkelen. Het zoutgehalte in het Volkerak-Zoommeer is hoger in deze variant dan in variant III. Langs de oevers kunnen zich brakwaterschorren ontwikkelen met een associatie van onder andere Zeebies, Riet, Heemst en Zeekraal. Ook vormt deze zone een meer geleidelijke overgang tussen zoet en zout als in variant III en is waardevol als acclimatisatie zone voor migrerende vissen. Door het verzilten van het Volkerak-Zoommeer is er minder zoetwaterinvloed op de Oosterschelde en het Grevelingenmeer dan in variant III. Via de Bathse Spuisluis wordt zoutwater geloosd op de Westerschelde waardoor hier een geringe verhoging in saliniteit ontstaat.



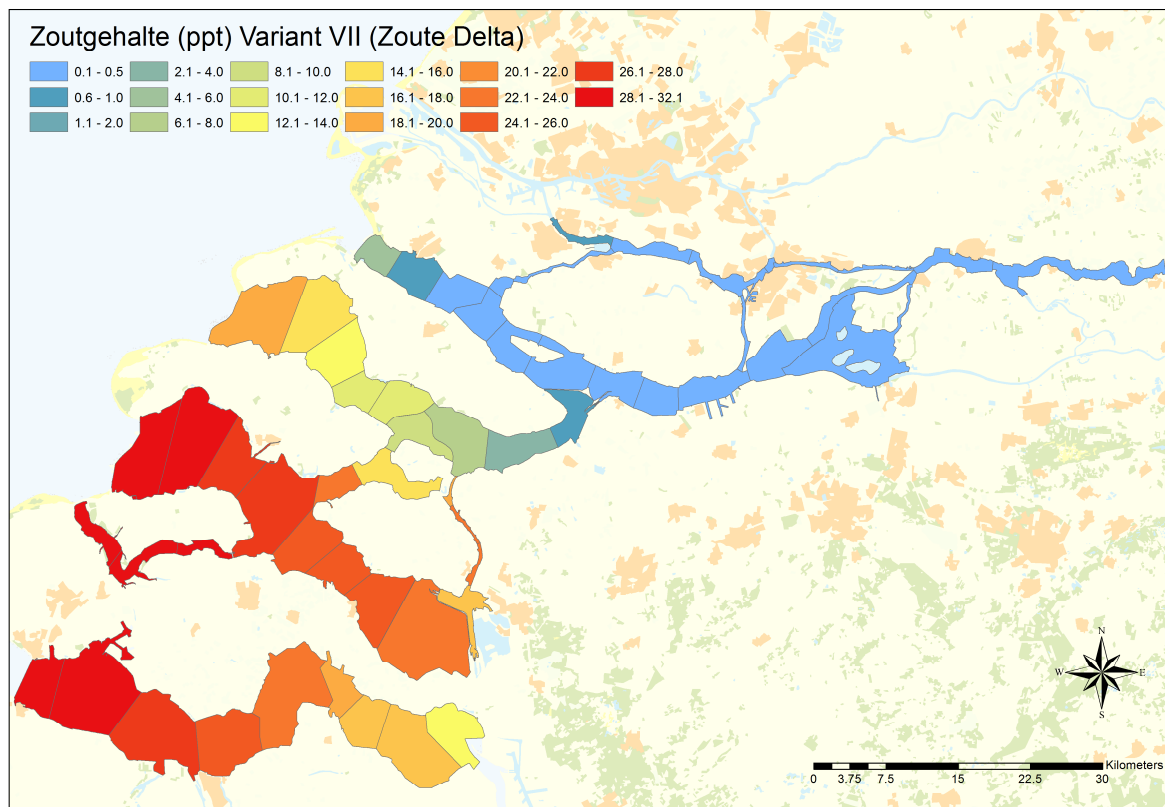
Figuur 29. Jaargemiddeld zoutgehalte (ppt) Variant IV: Verbeterde inrichting 2, Korte termijn, op basis van modelberekeningen door Nolte et al. (2013).

Variant VI (Figuur 30): In deze variant "Zoete lagune" zijn alle bekkens behalve de Westerschelde afgedamd en volledig zoet met een saliniteit van >0.5 ppt. Dit zorgt voor een abrupte overgang van zoet water in de bekkens naar de Noordzee (euhalien >30 ppt). In de zoete bekkens zal zich een typerend zoetwatermilieu ontwikkelen. In de Westerschelde is nog sprake van een natuurlijke zoet-zout overgang.



Figuur 30. Jaargemiddeld zoutgehalte (ppt) Variant VI: Zoete lagune, op basis van modelberekeningen door Nolte et al. (2013).

Variant VII (Figuur 31): In deze variant "Zoute Delta" zijn alle Deltawerken verwijderd waardoor er een volledig open verbinding ontstaat tussen de rivieren en de Noordzee. De bekkens van de Zuidwestelijke Delta vormen hierbij het estuariene overgangsgebied waarbij er weer een geleidelijke zoet-zout overgang bestaat zoals bij de situatie voor de Deltawerken. Met name Volkerak-Zoommeer en het Grevelingenmeer vormen gezamenlijk een geleidelijke gradiënt van de zoute Noordzee naar de zoete Rijn en Maas met een brede mesohaliene zone. Hier zullen zich dan ook specifieke brakwaterhabitats en soorten kunnen ontwikkelen. Door afwezigheid van de Haringvlietssluisen stroomt er meer zoetwater via de monding van het Haringvliet naar de Noordzee waardoor er enkel in de monding nog een licht brakke zone aanwezig is. De zoute zone komt hier volledig buiten het bekken te liggen in de Voordelta. De Oosterschelde ontvangt via het Zijpe en de Kom voedselrijk rivierwater wat mogelijk een gunstige invloed op primaire productie heeft (zie beschrijving variant III). In de Westerschelde is ook sprake van een natuurlijke zoet-zout overgang.



Figuur 31. Jaargemiddeld zoutgehalte (ppt) Variant VII: Zoute Delta, op basis van modelberekeningen door Nolte et al. (2013).

Samenvattend

In de huidige situatie komen nauwelijks zout-zoet overgangen voor, op de Westerschelde na. Deze nemen in alle varianten toe (Tabel 6). In varianten II en III komen er brak-zoet overgangen bij, in variant IV tevens zout-brak overgangen al zijn de overgangen niet zo gradueel als in een natuurlijk estuarium. In variant VII (Zoute delta) komen de meeste zout-zoet overgangen voor, en staan tevens de verschillende bekkens in volledige open verbinding met elkaar (gunstig voor migratie van vissen tussen de Noordzee en de rivieren). In variant VI (Zoete lagune) komen, op de Westerschelde na, geen zout-zoet overgangen voor. Wel staan de verschillende bekkens in open verbinding met elkaar.

Tabel 6. Het voorkomen van zout-brak-zoet overgangen in de verschillende bekkens per variant.

Zout-brak-zoet overgangen	Variant I Huidig	Variant II	Variant III	Variant IV	Zoute delta	Zoete lagune
Biesbosch	zoet	zoet	zoet	zoet	zoet	zoet
Grevelingenmeer	zout	zout	zout	zout	zout-brak	zoet
Haringvliet	zoet	brak-zoet	brak	brak	brak-zoet	zoet
Hollands diep	zoet	zoet	brak-zoet	brak-zoet	zoet	zoet
Noordelijke rivieren	zoet	brak-zoet	brak-zoet	brak-zoet	brak-zoet	zoet
Oosterschelde	zout	zout	zout	zout	zout-brak	zoet
Veerse Meer	zout	zout	zout	zout	zout	zoet
Volkerak Zoommeer	brak	brak-zoet	brak	zout-brak	zout-brak	zoet
Westerschelde	zout-brak	zout-brak	zout-brak	zout-brak	zout-brak	zout-brak

4.5 Vergelijking ontwikkelingsvarianten op ecologische kwaliteit en biodiversiteit

Voorgaande paragrafen gaan in op de potentie van de ontwikkeling van habitats in de ontwikkelingsvarianten en er wordt aangegeven welke habitattypes toe- of juist afnemen in oppervlak. Naast de ontwikkeling in oppervlak van habitats is ook het functioneren van het watersysteem, met name de te verwachten hydrologische, morfologische en waterkwaliteitsontwikkelingen van belang voor de ecologische kwaliteit (diversiteit aan habitats en soorten, ecologisch functioneren) van de verschillende bekkens in de ZW Delta. Dit hoofdstuk gaat kort in op de gevolgen van de in de ontwikkelingsvarianten voorgestelde maatregelen voor de ecologische kwaliteit van de bekkens in samenhang met de Zuidwestelijke Delta als geheel. Hiervoor worden de gevolgen voor de morfologische ontwikkeling, de sedimentsamenstelling, en de zuurstofconcentratie als gevolg van stratificatie in beschouwing genomen. Deze zijn reeds op basis van een deskundigenoordeel geëvalueerd door Deltares (Nolte et al. 2013), en worden hier verder benut en in een ecologische context geplaatst. De gevolgen voor vismigratie en het ontstaan van brakke overgangszones zijn al beschreven in paragraaf 4.4. Benadrukt moet worden dat de varianten een statische toestand beschrijven. In het 1D model reageert de morfologie (complex van geulen, ondiep water, intergetijdengebieden) niet op de veranderde waterbeweging (Nolte et al. 2013). In werkelijkheid zal de morfologie zich aanpassen in een complexe interactie tussen waterbeweging en geo(morfologie). Dit is moeilijk te voorspellen. Zo kan terugkeer van het getij in stagnante bekkens leiden tot het herstel van de natuurlijke dynamiek van de morfologische processen. Hierdoor kan bijv. oevererosie afnemen en kunnen weer glooiende oevers ontstaan. Op langere termijn kan echter intergetijdengebied verdwijnen (proces 'zandhonger' zoals in de Oosterschelde optreedt doordat het systeem morfologisch uit evenwicht is). Wat de waterkwaliteit betreft, hangt uiteraard veel af van hoe de nutriëntenvrachten vanuit de rivieren in de toekomst gaan evolueren. Voorspellingen maken is dan ook lastig.

Variant I Huidige situatie

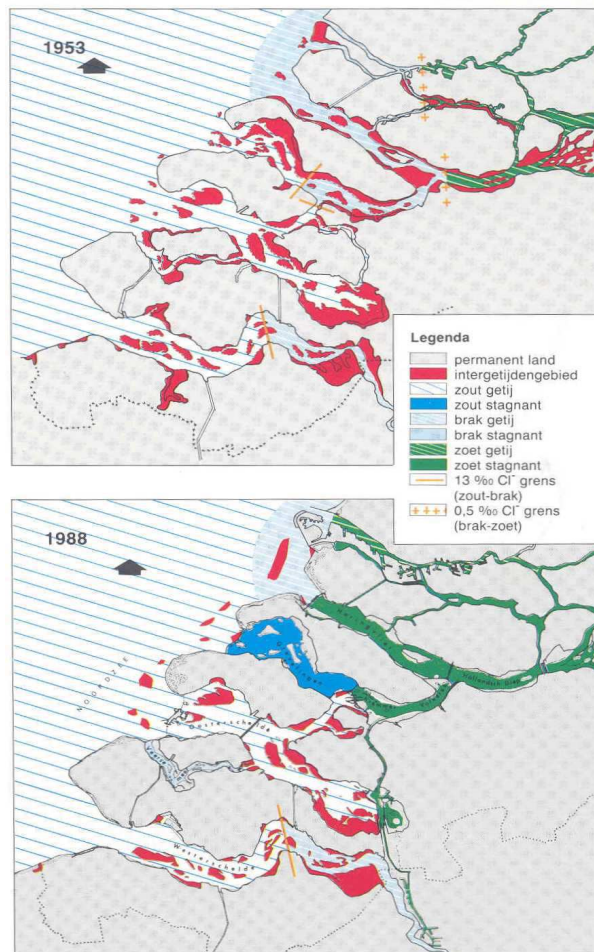
Het oorspronkelijk stelsel van estuaria werd door de Deltawerken veranderd in een serie van elkaar gescheiden waterbekkens. Zoet en zout water zijn in de huidige situatie gescheiden en de rivierinvloed verdween uit het grootste deel van de zuidelijke bekkens. Alleen de Westerschelde behield het karakter van een estuarium. De noordelijke deltabekken behielden een open verbinding via de Nieuwe Waterweg en de afvoer van rivierwater wordt hier gereguleerd door de Haringvlietssluisen.

De dynamische processen (zoals getij, stroming, erosie/sedimentatie) in de overgebleven getijdgebekken, maar ook de variatie aan stagnante systeemtypen in de Zuidwestelijke Delta zorgden voor een grote variatie in habitats en maakten dit gebied ecologisch waardevol zowel op nationaal als internationaal niveau. Zo ontwikkelden de platen en slikken die na de afsluiting permanent zijn drooggevallen zich in enkele jaren tot rijke natuurgebieden, met aanvankelijk heel wat pioniersoorten (bijv. zeekraal, lepelblad) gevolgd door zeldzame duinvalleiplanten (bijv. orchideeën). Dit betreft echter

een momentopname, en zonder beheer blijft deze situatie niet voortbestaan. Zonder beheer of herstel van sturende, dynamische processen gaat de successie steeds verder en worden deze droogvallende delen langzaam vervangen door graslandvegetaties en uiteindelijk door struweel en bos. Op Europese schaal zijn deze eindstadia niet zeldzaam, terwijl getijdenatuur en pionier condities dit wel zijn. In de huidige situatie kan enkel via intensieve beheersmaatregelen de pionier condities deels in stand gehouden worden.

De compartimentering van de Zuidwestelijke Delta door de Deltawerken zorgde ook voor toenemende problemen, zoals zeer beperkte mogelijkheden voor vismigratie en verslechtering van de waterkwaliteit. Zo treedt eutrofiëring op in het Volkerak-Zoommeer, welke in sommige zomers leidt tot bloei van toxische algen (*Microcystis*, blauwalg), kan leiden tot sterfte van de fauna in en om het meer, en ook schadelijk is voor de mens (Verspagen, Passarge et al. 2006). In het brakke Veerse Meer ontstonden problemen met de massale ontwikkeling van zeesla en algen en zuurstofloosheid in de diepere delen. Een doorlaatmiddel in de Zandkreekdam, de Katse Heule (in werking sinds 2004), zorgde voor een betere doorstroming en uitwisseling van water met de Oosterschelde, met een aanzienlijke verbetering van de waterkwaliteit en het benthische leven tot gevolg (Wijnhoven et al. 2010). In het Grevelingenmeer speelt ook zuurstofloosheid op de bodem als gevolg van stratificatie, met name in de diepere delen (Wijsman 2002); dit beïnvloedt het bodemleven zodanig dat het aantal bodemdieren soorten daalt (Lengkeek, Bouma et al. 2007). In de Biesbosch, het Hollands Diep en het oostelijk deel van de Haringvliet is door wegvallen van de dynamiek vervuild rivierslib bezonken met vervuilde waterbodems tot gevolg. Het slib dat vanuit de rivieren aangevoerd is de laatste jaren wel sterk in kwaliteit verbeterd.

Verder is door inpolderingen en de aanleg van de Deltawerken het areaal getijdennatuur (slikken, platen en schorren) drastisch afgenomen en is de oorspronkelijke zoet-zout overgang verdwenen en alleen nog in de Westerschelde aanwezig (zie paragraaf 4.4) (Figuur 32). Daar waar getijdennatuur nog aanwezig is, staat deze onder druk. Door een verstoorde water- en sedimenthuishouding speelt in de Oosterschelde het proces van 'zandhonger' waarbij in het intergetijdengebied netto meer erosie optreedt dan sedimentatie waardoor het areaal van slikken en platen geleidelijk vermindert, en de geulen langzaam opvullen. De voorspelling is dat hierdoor in 2060 circa 50% van de slikken en zandplaten zullen zijn verdwenen (Van Zanten and Adriaanse 2008). Dit heeft op termijn gevolgen voor het foerageer areaal voor vogels, maar ook voor rust- en zooggebied voor zeehonden en voor het habitat voor bodemleven wat voorkomt op de slikken en platen. De Westerschelde is samen met de Eems-Dollard het enige estuarium waar nog een natuurlijke overgang van rivier naar zee bestaat. Echter door het intensieve bagger- en stortbeleid ontstaan veranderingen in het morfologisch systeem die zorgen voor het ontstaan van hoogdynamisch intergetijdengebied daar waar laagdynamische gebieden aanwezig waren. Op sommige platen treedt veel sedimentatie op en ontstaan pionier schorren. De schorren langs de randen hogen ook op tot hoog in de getijden prisma waardoor verruiging ontstaat. Het Verdronken land van Saeftinghe is, samen met de duinen, het hoogste deel van Zeeland.



Figuur 32. Voorkomen van verschillende systeemtypes en habitattypes in 1953 (voor de Deltawerken) en in 1988 (na aanleg van de Deltawerken) (Baptist et al., 1988).

Estuariene dynamiek

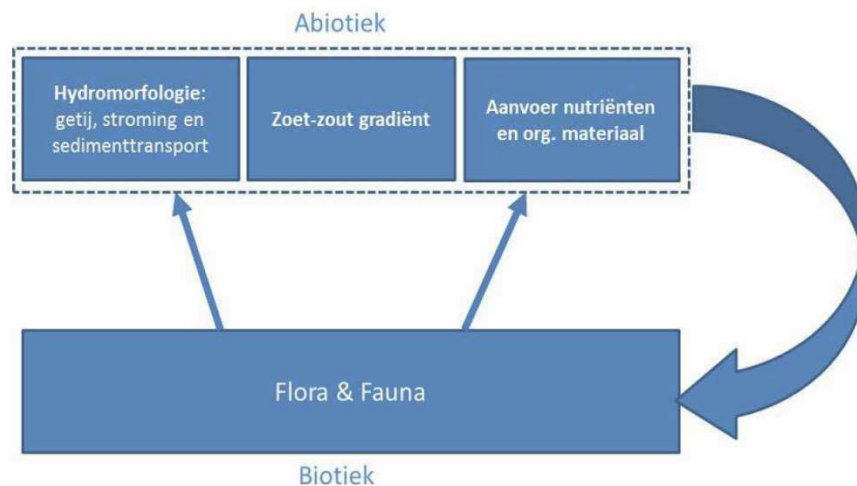
De hoofdoorzaak van de achteruitgang in de ecologische kwaliteit in de verschillende bekkens van de Zuidwestelijke Delta wordt vaak toegeschreven aan het verdwijnen van de estuariene dynamiek. Het Nationaal Waterplan (2009-2015) kiest voor estuariene dynamiek als belangrijkste ecologische doelstelling. Eerder al werd het belang van (gedeeltelijk) herstel van estuariene dynamiek voor het oplossen van waterkwaliteitsproblemen en herstel van estuariene natuur onderstreept in de Integrale Visie op de Deltawateren (Provincie Zeeland, 2003) en door het Uitvoeringsprogramma Zuidwestelijke Delta (2010). Van belang is om te benadrukken dat we in deze studie het functioneren van de Zuidwestelijke Delta als één geheel beschouwen en niet als afzonderlijke subsystemen.

Het ecologisch functioneren en daarmee ook de ecologische kwaliteit van de delta wordt nauw verbonden met estuariene dynamiek, en de verwachting is dat herstel van estuariene dynamiek leidt tot een grotere ecologische veerkracht in de Zuidwestelijke Delta (zie ook Tangelder et al. 2012). Ook de in deze studie behandelde varianten beschrijven met oplopend niveau van ingrijpen het steeds meer verbinden van de bekkens in de richting van een estuarien systeem, met in variant VII een Zuidwestelijke delta waarin alle mondingen in open verbinding staan met de zee. Enkel variant VI wijkt hier sterk van af, omdat hier juist gekozen wordt voor het volledig afdammen van de mondingen (behalve Westerschelde) en het zoet maken van de overige bekkens. De vraag is nu of deze varianten het estuariene karakter dusdanig herstellen zodat de gewenste estuariene flora en fauna zich herstelt en handhaaft. Daarvoor is een beter begrip van estuariene dynamiek noodzakelijk.

Estuariene dynamiek is de benaming voor het samenspel van verschillende abiotische factoren karakteristiek voor een estuarien milieu met vele geleidelijke overgangen (gradiënten) en een grote

variatie aan habitats. Estuariene gradiënten zijn geleidelijke overgangen tussen de zee en de rivier enerzijds en tussen het water en het land anderzijds, zoals die van nature in estuaria voorkomen, waarbij zowel het getij, als de afvoer van zoet water, de menging van zout en zoet water, de morfologische processen als sedimentatie en erosie en de natuurlijke dynamiek een grote rol speelt (zie ook De Leeuw & Backx, 2001). Abiotische aspecten in een estuarium kunnen op verschillende manieren worden ingedeeld. Omdat in het beleid de nadruk ligt op herstel van estuariene dynamiek wordt een indeling gehanteerd zoals in Figuur 33 is weergegeven: hydromorfologie, zoet-zout gradiënt en aanvoer nutriënten en organisch materiaal. Dit zijn abiotische sleutelvariabelen van estuariene dynamiek die sturend zijn voor de ontwikkeling van estuariene levensgemeenschappen. Met hydromorfologische processen wordt de waterbeweging en geomorfologie bedoeld (getijdynamiek, rivierdynamiek, morfodynamiek). Eb en vloed (verticaal getij) en stroming (horizontaal getij) en het transport van sediment wat ten grondslag ligt aan sedimentatie en erosie processen, zijn van belang voor het vormen van het estuariene landschap met slikken, platen, schorren, ondiepwatergebieden en diepe geulen. Een combinatie van wisselende rivierafvoeren en getij zorgt voor variabele zoutgehalten (zoutdynamiek) en een overgang van zoet water in de rivier naar brak in de overgangszone tot zout water nabij de monding en in zee (zoet-zout gradiënt). Tot slot zijn de aanvoer van nutriënten en organisch materiaal vanuit de rivieren en de zee een belangrijk aspect in een estuarium, omdat dit in grote mate de primaire productie en de doorwerking in het voedselweb bepaalt. Al deze abiotische aspecten bepalen in grote mate het voorkomen en de ontwikkeling van estuariene flora & fauna (Figuur 33). De leefomgeving voor planten en dieren in een natuurlijk estuarien milieu wordt gekenmerkt door een grote variatie aan habitats en sterk wisselende omstandigheden in de tijd. Het is de rijkdom van habitats waar het estuarium haar biodiversiteit aan ontleent. De organismen in het estuarium dienen aangepast te zijn aan de dynamiek van het abiotische systeem op verschillende tijdschalen. Binnen één getijdencyclus is op getijdenplaten variatie in overspoeling en droogstand, in stroomsnelheden, in zoutgehalte van het water, slibconcentratie, voedselconcentratie, zuurstof, nutriënten, etc. Met de seizoenen kunnen al deze parameters drastisch wijzigen met de variatie van zoetwaterafvoer, terwijl op langere tijdschalen gehele habitattypes (bv. platen, geulen, ondiep water) zich van de ene naar de andere plaats kunnen verleggen. Niet heel veel soorten kunnen de dynamiek met zijn extreme variabiliteit aan. Weliswaar zijn brakke estuariene habitats soortenarmer dan vergelijkbare habitats in zoetwater of in de zee, door de (soms grote) zoutschommelingen, maar de soorten die voorkomen zijn echter typisch voor estuaria, en verschillen binnen een estuarium ook aanzienlijk van plaats tot plaats. Tegelijkertijd kunnen abiotische processen, zij het in mindere mate, ook beïnvloed worden door biotische processen, bijvoorbeeld wanneer schorvegetatie zorgt voor bevordering van sedimentatie.

In Ysebaert et al. (2013) is reeds dieper ingegaan op de abiotische variatie als belangrijkste sturende variabelen welke bepalend zijn voor de ecologische variatie binnen een bepaald habitat. Tevens is in Ysebaert et al. (2013) een lijst met kenmerkende soorten opgenomen per habitat. Over het algemeen kan gesteld worden dat hoe vollediger en meer geleidelijk de gradiënten zijn van zoet naar zout en van land naar water, hoe groter de biodiversiteit zal zijn. Ruimte speelt hierbij een grote rol. Voor geleidelijke overgangen en het optreden van estuariene processen zoals sedimentatie en erosie is ruimte (lengte, breedte) nodig. En op een andere manier speelt oppervlakte ook nog een rol, daar grotere arealen van een bepaald habitat doorgaans meer soorten zullen herbergen.



Figuur 33: Een vereenvoudigde schematisatie van de relatie tussen abiotiek en biotiek in een estuarium.

Ontwikkelingsvarianten II t/m V: mitigeren effecten compartimentering

De varianten II t/m V (variant V wordt in het kader van deze studie niet besproken) zijn met oplopend niveau van ingrijpen gericht op het verbinden van de bekkens in de richting van een estuarien systeem. In variant V wordt door de aanleg van stormvloedkeringen een getij van een tot enkele meters teruggebracht op alle deltawateren (Nolte et al., 2013). Op het Grevelingenmeer ontstaat een getijslag van 2,2 m en op het Krammer-Volkerak 1,3 m. Het Zoommeer blijft met bijna 1,0 m iets achter. Op het Haringvliet en Hollandsch Diep ontstaat ook een getijslag van 1,1 tot 1,4 m.

De mate waarin de processen van hydrodynamiek, morfodynamiek en zoutdynamiek (= estuariene dynamiek, zie boven) hersteld worden, is bepalend voor de mate van herstel van estuariene natuurwaarden. Een grotere getijslag, een dynamisch evenwicht tussen sedimentatie en erosie, en geleidelijke overgangen van zoet naar zout kan ruimte bieden voor allerlei estuariene gradiënten en habitats, en kan daarmee de diversiteit vergroten (Ysebaert et al. 2013). Daarnaast speelt waterkwaliteit een belangrijke rol.

Waterkwaliteit

De verbindingen tussen bekkens en toename in dynamiek zal effect hebben op de waterkwaliteit in de bekkens. Dat het toelaten van gedempt getij de stratificatie in een meer kan verhelpen is gebleken in het Veerse Meer. Door de combinatie van stilstaand water en de overslag van voedselrijk polderwater ontstond hier een overmatige groei aan zeesla en een verslechtering van de waterkwaliteit (Nolte 2002). De plaatsing van een doorlaat ('Katse Heule') in de Zandkreekdijk in 2004 en daardoor de inlaat van Oosterschelde water zorgde voor meer horizontale doorstroming en een beperkt getij van 20 cm waardoor de waterkwaliteit verbeterde. Alleen in de diepste delen treedt mogelijk nog zuurstofloosheid op. De soortenrijkdom van het benthos is weer toegenomen (Wijnhoven, Escaravage et al. 2010) met een gemeenschap van schelpdieren (zowel mosselen als oesters), zakpijpen, garnalen en krabben. Voor het Grevelingenmeer is een verbinding met de Noordzee voorzien via een doorlaat (II (105 m³/s), III (1000 m³/s), IV (1000 m³/s)) en stormvloedkering (V). In Nolte et al. (2013) wordt aangenomen dat de doorlaat in de Brouwersdam in variant II nog een te gering effect zal hebben ten opzichte van de huidige situatie (100 m³/s) om stratificatie in het Grevelingenmeer te verhelpen. In variant III t/m V is dit wel het geval. Het doorzicht neemt waarschijnlijk af en de waterbeweging neemt toe waardoor er meer stroomminnende soorten zoals bloemdieren zullen ontstaan en een benthos en vis gemeenschap die meer zal gaan lijken op de Oosterschelde.

In het Volkerak-Zoommeer verkorten de verblijftijden van het water door inlaat van toenemende hoeveelheden Hollandsch Diep water in variant II (25 m³/s) en III (100 m³/s). In variant IV zal het Volkerak-Zoommeer verziltten door een verbinding met het zoute water van de Oosterschelde en het Grevelingenmeer via de Philipsdam en Oesterdam. In variant V bestaat een open verbinding met de

Oosterschelde en het Grevelingenmeer. Volgens Nolte et al. (2013) is onbekend of in variant II t/m IV voldoende dynamiek zal ontstaan om stratificatie volledig te voorkomen en zuurstofloosheid volledig te verhelpen. Door het verzilten zal bloei van zoetwater blauwalg soorten waarschijnlijk niet meer optreden. In variant V wordt een zodanige getijdendynamiek teruggebracht dat er geen waterkwaliteitsproblemen zullen optreden.

In het Haringvliet en Hollandsch Diep ontstaat steeds meer waterbeweging. Op de bodem van dit bekken is een met zware metalen vervuilde sliblaag aanwezig die een erfenis is van de Rijn vervuiling in de jaren 70. Het is onbekend wat het effect van meer getijdenbeweging op deze sliblaag is.

Morfologische aspecten

Volgens Nolte et al. (2013) zal het morfologisch systeem zich in variant II t/m V niet herstellen naar de situatie van voor de Deltawerken. Doorlaten, sluizen en stormvloedkeringen laten nog onvoldoende sedimenttransport toe om de natuurlijke balans van opbouw en afslag volledig te herstellen. Zo is ook de verwachting dat de problematiek met de zandhonger in de Oosterschelde niet volledig verholpen zal worden, al treedt er wel meer dynamiek op. De slikken en zandplaten en de schorren die ontstaan in het Grevelingenmeer, Volkerak-Zoommeer en Haringvliet/Hollandsch Diep hebben te maken met een gelijksoortige morfologische onbalans zolang het transport van water en sediment geknepen wordt door dammen (Nolte et al. 2013). Een belangrijke kanttekening bij voorkomen van schorhabitat in de varianten is dat deze puur gebaseerd is op geschikte hoogteligging. In de praktijk is het ontstaan en de ontwikkeling van schorhabitat van meerdere factoren afhankelijk zoals sedimentsamenstelling, chemische waarden in de bodem, aanwezigheid van een zaadbank die groei van schorrenplanten mogelijk maakt etc. Voor wat de morfologische ontwikkeling van de Zuidwestelijke Delta in de verschillende varianten op langere termijn betreft, is het van belang te benadrukken dat de morfologie constant in ontwikkeling is, en dat aanpassingen aan een nieuw dynamisch evenwicht lang duren (op tijdschaal van decennia tot eeuwen), waarbij ook klimaatveranderingen zoals zeespiegelstijging een significante rol spelen (Nolte et al. 2013). Dit is niet meegenomen in deze studie.

Systeem als geheel: meer graduele overgangen

Het verbinden van bekkens middels sluizen, doorlaten en keringen heeft voornamelijk gevolgen voor de waterbeweging en -kwaliteit en minder voor het transport van sediment. Verblijftijden van het water in de stagnante bekkens nemen af en er ontstaat meer dynamiek met horizontale waterbeweging al dan niet in combinatie met verticaal (gedempt) getij. Door deze verbindingen ontstaat ook vermenging van zout en zoet en stofstromen die in de verschillende bekkens aanwezig zijn. De harde scheidingen van zoet en zout, getij en stagnant die in de huidige situatie aanwezig zijn worden in Variant II t/m V in toenemende mate meer gradueel, tot het ontstaan van een semi-natuurlijk estuarien systeem in variant V (niet besproken in dit rapport).

Ecologische kwaliteit

De maatregelen in de varianten II t/m V hebben tot gevolg dat de estuariene dynamiek toeneemt, en daarmee ten goede komt aan estuariene natuurwaarden en biodiversiteit. Hier moeten wel een aantal kanttekeningen geplaatst worden. Estuariene dynamiek is een ruim begrip waaronder verschillende aspecten van het estuariene functioneren samengevoegd zijn: getijdynamiek, rivierdynamiek, morfodynamiek, zout-zoet gradiënten, aanvoer organisch materiaal en nutriënten. Al deze aspecten zijn belangrijk voor (de ontwikkeling van) de habitats en daarbij horende biodiversiteit in de verschillende bekkens. Omdat deze aspecten niet volledig hersteld worden in de varianten zal ook de (estuariene) biodiversiteit zich niet volledig herstellen. Samenvattend kan men stellen dat in de varianten II t/m IV wel steeds meer horizontale doorstroming van de bekkens gerealiseerd wordt, wat deels de huidige ecologische problemen door stratificatie zal oplossen (met name in Grevelingen, in mindere mate in Volkerak-Zoommeer). Hierdoor zal de biodiversiteit van diep en ondiep getijdenwater waarschijnlijk toenemen, en meer kenmerkende soorten herbergen (Ysebaert et al. 2013). Het verticale getij wordt in deze varianten echter maar in (zeer) beperkte mate hersteld, waardoor intergetijdennatuur (slikken, platen en schorren en de daarbij horende kenmerkende soorten, zie Ysebaert et al. 2013) slechts in beperkte mate zal voorkomen. Vanuit het beleid wordt juist intergetijdennatuur als zeer waardevol

gezien. Zout-zoet gradiënten worden in toenemende mate gerealiseerd in de varianten, alsmede ook verbindingen tussen de verschillende bekkens, wat vismigratie ten goede komt en waar in de brakke overgangszones zeldzame brakwaterfauna en -flora tot ontwikkeling kan komen (Ysebaert et al. 2013). Zo vormt het Volkerak-Zoommeer in variant IV een brakke overgangszone (mesohalien) tussen het zoute Grevelingenmeer en Oosterschelde en het zoetere Haringvliet/Hollandsch Diep waar zich een specifiek brak milieu kan ontwikkelen. Langs de oevers kunnen zich smalle zones met brakwaterschorren ontwikkelen met een associatie van onder andere zeebies, riet, heemst en zeekraal (zie Ysebaert et al. 2013).

In variant V zijn alle buitenste keringen vervangen door stormvloedkeringen, en hiermee worden grotendeels de verschillende aspecten van estuariene dynamiek hersteld. In deze variant wordt een behoorlijke getijslag gerealiseerd in de verschillende bekkens, wat intergetijdennatuur met bijhorende kenmerkende soorten ten goede komt. De verdeling van de rivierafvoer die zich naar het zuiden verplaatst, zorgt ervoor dat de zoet-zoutgradiënt verder naar het westen ligt dan in variant IV (zie Nolte et al. 2013). Opgemerkt dient te worden dat alle Deltawateren nog steeds gedimensioneerd zijn op de open estuariene situatie van voor de Deltawerken: een combinatie van diepe getijgeulen naast intergetijdengebieden. Bij (her)introductie van (gedempt) getij zal naar verwachting een situatie ontstaan die vergelijkbaar is met de Oosterschelde: de morfologische dimensies zijn te groot voor de getijdynamiek en herverdeling van zand van intergetijdengebieden naar de geulen treedt op (zogenaamde 'zandhonger' van de Oosterschelde). Verwacht wordt dan ook dat in alle ontwikkelingsvarianten waarin nog sprake is van (stormvloed)keringen die het getij reduceren (varianten II t/m IV), een negatieve trend van het areaal intergetijdengebied zal ontstaan (Nolte et al. 2013). Hoe snel intergetijdengebieden verdwijnen is zonder nader onderzoek niet te zeggen.

Ontwikkelingsvariant VII Zoute delta

In variant VII 'Zoute Delta' zijn alle dammen, keringen, doorlaten en sluizen verwijderd waardoor eigenlijk min of meer de situatie ontstaat zoals die voor de Deltawerken was en is een (vrijwel) natuurlijke morfologische dynamiek te verwachten. Of er dan sprake is van toe- of afname van het areaal intergetijdengebied is niet op voorhand aan te geven (Nolte et al. 2013). Omdat er ook sprake is van inpolderingen en andere aanpassingen is er geen sprake van volledige terugkeer naar de situatie van voor de Deltawerken, zoals weergegeven in Figuur 32). Wel betekent dit het opnieuw ontstaan van een grotendeels natuurlijk estuarium dat gekenmerkt wordt door een geleidelijke overgang van zoet naar zout met een brakke overgangszone, getijdenbeweging, sedimenttransport en het samenspel van sedimentatie en erosie. Er speelt waarschijnlijk daardoor ook geen zandhonger in de Oosterschelde door verwijdering van de Oosterscheldekering en de compartimenteringsdammen (Nolte et al. 2013).

Door de dynamiek en afwezigheid van stagnante delen treedt er weinig of geen stratificatie op, en treedt zuurstofloosheid in de diepere delen of bloei van blauwalgen waarschijnlijk niet meer op. Variant VII wordt gekenmerkt door een hoogproductief systeem zoals in een natuurlijk estuarium met een hoge biodiversiteit kenmerkend voor zoet-brak-zout zones en vervult een belangrijke rol als kraamkamer functie voor jonge Noordzeevis en als foerageer- en broedgebied voor vogels en leefgebied voor zeezoogdieren. Met andere woorden, de estuariene dynamiek wordt in belangrijke mate in al zijn aspecten hersteld in variant VII, en biedt daarmee de grootste kans voor het herstel van estuariene natuur en biodiversiteit (zie ook de studie van Baptist et al., 2007). De verschillende habitattypes zijn goed vertegenwoordigd in deze variant en binnen de habitattypes komt de nodige abiotische variatie voor die een grote diversiteit waarborgt (Ysebaert et al. 2013).

Ontwikkelingsvariant VI Zoete lagune

Variant VI Zoete lagune gaat uit van de afdamming van alle Deltawateren aan de Noordzee zijde, op de Westerschelde na, en het verwijderen van de compartimenteringsdammen. Hierdoor zal een rigoureuze omslag plaatsvinden naar een zoet, stagnant systeem gevoed door voedselrijk rivierwater, waarbij alle zout- en brakwatersoorten zullen verdwijnen, op de Westerschelde na. De stagnante zoetwater bekkens ondervinden peilvariatie op basis van seizoendynamiek, en alle estuariene intergetijdennatuur verdwijnt (op Westerschelde na). In deze variant ontstaat een totaal andere natuur, met waarschijnlijk een diversiteit aan soorten vergelijkbaar met de andere grote meren in Nederland (Ysebaert et al. 2013).

Volgens Nolte et al. (2013) zal er temperatuurstratificatie optreden gezien de diepte van de bekkens met voormalige geulen waarbij de vraag is of doorspoeling met rivierwater voldoende is om de stratificatie en ontstaan van zuurstofloosheid in de onderste waterlaag te beperken. Door stagnatie van het water en aanvoer van stikstof- en fosfaatrijk water bestaat de kans op bloei van blauwalgen. Verder ontstaat een systeem wat mogelijk vergelijkbaar is met het huidige Volkerak-Zoommeer.

4.6 Potentie schelpdierkweek ontwikkelingsvarianten

Buitendijkse schelpdierkweek in Nederland beperkt zich tot de zoute wateren (Oosterschelde, Grevelingenmeer en Waddenzee). De belangrijkste soorten die worden gekweekt zijn mosselen (*Mytilus edulis*) en Japanse oesters (*Crassostrea gigas*), en in mindere mate Platte Oester (*Ostrea edulis*). Het zaad wordt ingevangen of opgevist in de Oosterschelde en de Waddenzee, waarna het wordt uitgezaaid op de kweekpercelen. Na een periode van 2-4 jaar worden de schelpdieren opgevist om te worden verhandeld. Recentelijk wordt er voor het verkrijgen van het mosselzaad steeds meer gebruik gemaakt van zogenaamde Mossel-Zaad-Invang (MZI) systemen. Naast de kweek van mosselen en oesters op de bodempercelen worden er ook mosselen gekweekt in zogenaamde hangcultures waarbij de mosselen in "sokken" hangen in de waterkolom.

De kweek van mosselen en oesters stelt enkele randvoorwaarden aan de omgeving (Van Broekhoven 2010; Wijsman en Kleissen 2012). De waterkwaliteit moet geschikt zijn voor een goede groei en ontwikkeling van de schelpdieren. Het water moet voldoende zout zijn, er moet voldoende voedsel (algen) in het water zitten voor een goede groei en het water mag niet zuurstofloos worden. De hoeveelheid beschikbaar voedsel is van groot belang voor de potentie (draagkracht) van het gebied voor schelpdierkweek (Geurts van Kessel, Kater et al. 2003; Schellekens and Smaal 2012; Wijsman and Kamermans 2012). Daarnaast zijn er ook nog fysische en logistieke randvoorwaarden voor de schelpdierkweek. Zo moeten de kweekgebieden diep genoeg zijn om te kunnen bereiken met de kotters. Ook mogen ze niet te diep liggen omdat ze dan moeilijker zijn te bevissen. Er moet voldoende waterbeweging zijn om het water te verversen en het voedsel naar de schelpdieren te transporteren, maar het mag ook niet te hard stromen omdat de schelpdieren anders kunnen wegspoelen. Ten slotte kunnen ook andere gebruiksfuncties (transport, recreatie) ertoe leiden dat een gebied ongeschikt is voor schelpdierkweek.

Voor de verschillende varianten is op basis van expert judgment ingeschat wat de mogelijkheden zijn voor schelpdiercultuur binnen de deelgebieden.

Tabel 7. Potenties voor schelpdierkweek. ++: zeer geschikt; + geschikt, ? mogelijk geschikt, -- niet geschikt.

Zout-brak-zoet overgangen	Huidig	Variant II	Variant III	Variant IV	Variant VII Zoute delta	Variant VI Zoete lagune
Biesbosch	--	--	--	--	--	--
Grevelingenmeer	+	+	++	++	++	--
Haringvliet	--	--	--	--	?	--
Hollands diep	--	--	--	--	--	--
Noordelijke rivieren	--	--	--	--	--	--
Oosterschelde	++	++	++	++	++	--
Veerse Meer	+	+	++	++	++	--
Volkerak Zoommeer	--	--	--	++	?	--
Westerschelde	?	?	?	?	?	?

De Oosterschelde is in de huidige situatie het belangrijkste kweekgebied voor schelpdieren. Studies aan de draagkracht van de Oosterschelde voor schelpdieren hebben aangetoond dat productiviteit in dit systeem niet beperkt wordt door licht of door nutriëntenbeschikbaarheid, maar dat (over)begrazing de belangrijkste regulerende factor is (Smaal et al. 2013). Het doorlaatmiddel in de Phillipsdam en de Oesterdam (variant III en variant IV) kunnen mogelijk een positief effect hebben op de draagkracht van het gebied voor schelpdierkweek doordat er relatief voedselrijk zoetwater wordt ingelaten in de Oosterschelde (Wijsman, Poelman et al. 2013). Echter worden er ook belangrijke kanttekeningen geplaatst. Zo is in deze uitgegaan van een optimale verspreiding van nutriënten, terwijl dit beïnvloed wordt door verschillen in temperatuur en dichtheid van het water (afhankelijk van saliniteit) en lokale en temporele omgevingsvariabelen suboptimaal kunnen zijn. Ook de variant VII (Zoute delta) zal door de verbeterde uitwisseling van het water met de Noordzee leiden tot een betere draagkracht. Wel gaat dan naast voedselbeschikbaarheid ook de troebelheid een rol spelen. Een verhoogde troebelheid kan juist leiden tot een verminderde primaire productie. Dit maakt het lastig om te voorspellen of de geplande ingrepen tot een verhoogde schelpdierproductie zullen leiden. Bijkomende (model)studies zijn hiervoor nodig. Variant VI (Zoete Lagune) zal ertoe leiden dat er geen (zoute) schelpdierkweek meer mogelijk is in de Oosterschelde.

Ondanks dat (het westelijke deel van) de Westerschelde zout is, worden daar geen schelpdieren gekweekt. De reden hiervoor zijn de overige gebruiksfuncties (scheepvaart) en de waterkwaliteit. Het is echter niet uit te sluiten dat bepaalde vormen van schelpdiercultuur toch mogelijk zijn in het gebied. Hier zal nader onderzoek dienen te worden uitgevoerd.

In het Grevelingenmeer wordt op dit moment op grote schaal oesters gekweekt. In het verleden, voor de Deltawerken, was het gebied ook een belangrijk kweekgebied voor mosselen. De belangrijkste knelpunten voor de huidige schelpdierkweek in het gebied zijn de waterkwaliteit (zuurstofloosheid) en de draagkracht van het systeem. De verbeterde uitwisseling met de Noordzee (varianten II, III, IV en VII), zal waarschijnlijk een positief effect hebben op de waterkwaliteit en de draagkracht. In variant VI (Zoete Lagune) zal er geen (zoute) schelpdierkweek mogelijk zijn. Een hogere zoetwaterinvloed in het Grevelingenmeer (variant III en IV) zorgt voor meer toevoer van nutriënten en kan mogelijk leiden tot een verhoging van het chlorofylgehalte en primaire productie in de zomer. Ook in variant VII is er een verhoogde zoetwaterafvoer via de Grevelingen, en in het oostelijke deel wordt het zoutgehalte waarschijnlijk te laag voor schelpdierkweek. Daarnaast kan, net zoals in de Oosterschelde, ook hier verhoogde troebelheid een rol spelen.

In het Veerse meer zijn er vooral na de aanleg van de Katse Heule mogelijkheden ontstaan voor schelpdiercultuur. Er wordt inmiddels al geëxperimenteerd door ondernemers. De mogelijkheden liggen hier vooral in hangcultuursystemen. In varianten III en IV wordt de doorspoeling van het Veerse meer vergroot door de hoeveelheid water door het doorlaatmiddel te vergroten en een doorlaat te creëren in de Veerse gatdam. Het is de verwachting dat dit een positief effect heeft op de potenties voor schelpdierkweek. Ook is de verwachting dat het weghalen van de Veerse gatdam een positief effect heeft op schelpdierkweek (variant VII). In variant VI (Zoete Lagune) is geen schelpdierkweek mogelijk.

Het Volkerak Zoommeer was voor de deltawerken een belangrijk gebied voor de mosselkweek (Wijsman and Kleissen 2012), maar deze is volledig verdwenen toen het zoet is geworden. De zoutgehalten van varianten 2, 3 en 6 zijn te laag voor schelpdierkweek. Het gemiddelde zoutgehalte in variant VII is zeer laag voor schelpdieraquacultuur, vooral in het Krammer-Volkerak. In variant IV zijn de zoutgehalten hoog genoeg voor schelpdierkweek. Ook de overige parameters maken het gebied geschikt voor schelpdierkweek (Wijsman and Kleissen 2012).

De overige gebieden: Biesbosch, Haringvliet, Hollands diep en de Noordelijke rivieren zijn in de huidige situatie te zoet voor schelpdieraquacultuur. Ook in alle voorgestelde varianten behouden de bekkens een te laag zoutgehalte om zoute schelpdierkweek mogelijk te maken. Zelfs in de variant Zoute Delta wordt het gemiddelde zoutgehalte in de monding niet hoger dan 4.5 ppt.

4.7 Potentie innovatieve dijkconcepten

De Zuidwestelijke Delta kent circa 700 km aan primaire waterkeringen. Deze dijken vormen de grens tussen land en water en begrenzen daarmee de buitendijkse habitats zoals beschouwd in deze studie. Er komt steeds meer aandacht voor meer natuurlijke of innovatieve vormen van kustverdediging die naast veiligheid ook meer ruimte bieden voor natuur en ook mogelijkheden bieden voor andere gebruiksvormen (bv. recreatie en toerisme, aquacultuur). Deze typen dijken worden ook wel "Innovatieve dijkconcepten" genoemd volgens recente studies (Van Loon-Steensma, Schelfhout et al. 2012; Tangelder, Groot et al. 2013). Andere benamingen als "Natuurlijke keringen" (Fiselier, Jaarsma et al. 2011) en "Alternatieve waterkeringen" (Tangelder and Ysebaert 2012) betekenen in essentie hetzelfde. Innovatieve dijkconcepten zijn interessant in het kader van deze studie omdat implementatie van meer ruimtelijke en natuurlijke dijkvormen mogelijkheden biedt voor de vorming van nieuw habitat op een ecologisch waardevol gebied op de grens van land en water, daar waar nu een traditionele dijk aanwezig is. Deze dijk vormt een harde grens tussen de landzijde en de waterkant. Per variant zullen de mogelijkheden voor innovatieve dijkconcepten verschillen. Deze paragraaf gaat kort in op de potentie van innovatieve dijkconcepten en bespreekt de mogelijkheden per variant. De studie uitgevoerd door Tangelder et al. (2013) naar kansen voor innovatieve dijkconcepten in de Zuidwestelijke Delta dient hiervoor als basis.

Verschillende concepten

Er zijn verschillende ruimtelijke mogelijkheden voor innovatieve dijkconcepten op en rondom de waterkering:

- Het betrekken van de **vooroever** bij de waterkering
- Aanpassingen in de **dijkzone** of vervanging van de dijk zelf
- Het betrekken van **binnendijs gebied** bij de waterkering

Zoals beschreven in Tangelder et al. (2013) worden er binnen deze ruimtelijke indeling zeven typen innovatieve dijkconcepten onderscheden:

Biobouwers zijn organismen die door hun aanwezigheid of activiteiten, direct dan wel indirect, hun omgeving beïnvloeden en daarmee habitat voor andere soorten veranderen, behouden, vernietigen of juist nieuw habitat creëren (Jones, Lawton et al. 1994; Jones, Lawton et al. 1997). In het Engels worden biobouwers "ecosystem engineers" genoemd: ingenieurs van ecosystemen. Zo zijn de vegetatie op de schorren en het helmgras in de duinen verantwoordelijk voor de opbouw van een deel van de Zuidwestelijke Delta. De laatste jaren heeft de interesse in inzet van deze biobouwers in kustverdediging een vlucht genomen: ten eerste is er behoefte aan duurzame, kosteneffectieve methoden in het licht van klimaatverandering en zeespiegelstijging en ten tweede is er ook behoefte aan methoden van kustverdediging die een geringe impact hebben op het ecosysteem en misschien zelfs wel kansen bieden om ecologische processen te bevorderen (Day, Psuty et al. 2000). De inzet van biobouwers biedt mogelijkheden om bescherming van de kust te realiseren met behulp van ecologische functies.

Voorbeelden van biobouwers voor een dijk zijn:

- Stimuleren schorontwikkeling of schorbehoud (zout)
- (kunstmatige) oesterriffen (zout)
- Rietontwikkeling of gebruik van drijvende rietmatrassen (zoet)
- Ontwikkeling wilgen of grienden (zoet)

Zandige oplossingen hebben betrekking op het (strategisch) aanbrengen of suppleren van zand zodanig dat de dynamiek van getij, stroming, golven en wind benut kan worden voor transport van zand om het kustfundament te verstevigen. Voorbeelden van methoden zijn:

- voorland suppletie: volledig voorland ophogen
- zandmotor: heel veel op één plek, het zand wordt door water- en winddynamiek verspreid.

Robuuste keringen: Een Robuuste Dijk is een verzamelterm van inrichtingsvormen waarbij de waterkering zo robuust is dat de dijk doorbraakbestendig is, ook als deze zou overstromen. Voorbeelden zijn Klimaatdijk, Multifunctionele dijk, Terpendijk, Deltadijk en Superdijk. Dergelijke waterkeringen bieden mogelijkheden voor multifunctioneel medegebruik op de dijk zelf voor wonen, wegen, recreatie etc. Afhankelijk van lokale omstandigheden kan een breed dijkontwerp bijdragen aan de vermindering van kwelwater binnendijks.

Hybride keringen bestaan uit een combinatie van hard (dijk) en zacht (zand). Door een zachte vooroever voor de waterkering neemt de golfbelasting op de harde kering af en kan worden volstaan met een lagere kruin. Een voorbeeld hiervan is een "duindijk" waarbij de dijk ingebed in een duin van zand komt te liggen. Een andere methode is het concept van de "oeverdijk" waar een zeer flauw aflopend zandtalud wordt aangelegd vanaf de dijk.

Technische oplossingen kunnen worden ingezet als onvoldoende ruimte achter de dijk beschikbaar is om dijkversterking uit te voeren. Traditioneel wordt dan gedacht aan het plaatsen van een stalen damwand in de dijk. Er zijn echter ook innovatieve technische oplossingen beschikbaar zoals "inside technieken" die de dijk sterker en zwaarder maken. De voorbeelden die worden gegeven, zijn ten eerste om de binnenwaartse stabiliteit te bevorderen en ten tweede voor het tegengaan van piping.

De **dubbele dijk of triple dijk** bestaat uit een parallelsysteem van twee of drie dijken achter elkaar. Door de aanwezigheid van een tweede (en eventueel derde) dijk kunnen de veiligheidseisen van de eerste dijk in principe aangepast worden, bijvoorbeeld door het accepteren van een lagere kruinhoogte en door de dijk overslagbestendig te maken waarbij het binnen talud van de dijk wordt aangepast met een harde bekleding zodat deze bestendig is tegen golfoverloop. In het gebied tussen de dijken wordt meer wateroverlast toegelaten dan in het land daarachter. Dit concept kan toegepast worden op plekken waar al dubbele dijken aanwezig zijn (bijvoorbeeld bij inlagen zoals langs de Oosterschelde).

Sedimentatiegebieden is een concept wat erop gericht is om de kustzone te laten meestijgen met de zeespiegelstijging door binnendijks gebied onder invloed van het getij te zetten door een of meerdere openingen in de primaire waterkering. Hierbij wordt alvorens een tweede dijk landinwaarts aangelegd of een oude aanwezige slaperdijk verstevigd. Onder de juiste omstandigheden treedt schorvorming op waardoor het gebied kan opslibben en kan meegroeiën met de zeespiegelstijging. Laagje voor laagje sedimenteert zand en slib dat met het getij wordt meegevoerd waardoor het gebied steeds hoger komt te liggen. Dit draagt bij aan een robuuste kustzone. Het concept Sedimentatiegebieden is ook wel bekend als "Wisselpolders" (De Mesel, Ysebaert et al. 2013), waarbij het gebied na opslibbing weer wordt ingepolderd. Zo kan over een lange periode, stapsgewijs de kustzone opgehoogd worden.

Zowel de ruimtelijke indeling als de verschillende typen innovatieve dijkconcepten worden gevisualiseerd in Figuur 34. Deze concepten kunnen interessant zijn vanuit een ecologisch perspectief en de natuurwaarde verhogen, behalve de meer technische oplossingen. Hier gaat het om een technische aanpassing van de kern van de dijk. Dit heeft geen gevolgen voor natuurwaarden en wordt daarom ook niet verder meegenomen. De overige typen worden verder uitgediept.



Figuur 34, Verschillende typen innovatieve dijkconcepten (Tangelder, Groot et al. 2013).

Innovatieve dijkconcepten en land-water overgangen

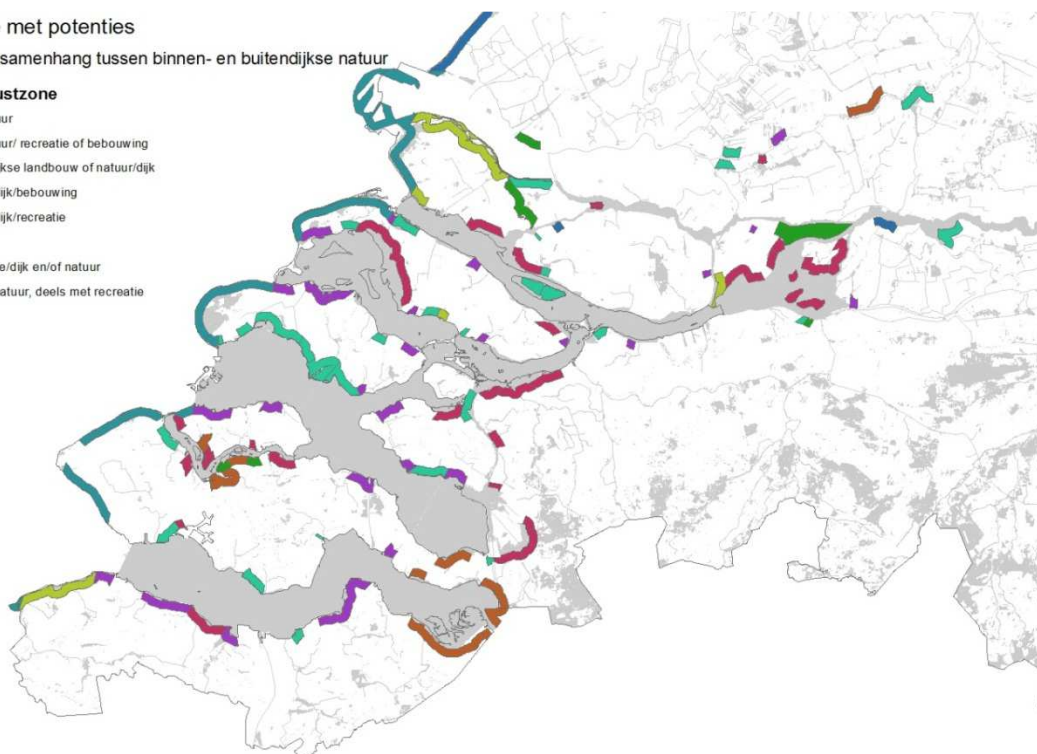
In veel kustzonegebieden in de Zuidwestelijke Delta (Figuur 35) grenst buitendijkse natuur aan natuur op het land. Innovatieve dijkconcepten bieden kansen om een meer graduele verbinding tussen het binnen- en buitendijkse milieu te bewerkstelligen en daarmee de relatie land-water te versterken.

Kustzone met potenties

Versterken samenhang tussen binnen- en buitendijkse natuur

Typering kustzone

- Dijk/natuur
- Dijk/natuur/ recreatie of bebouwing
- Buitendijkse landbouw of natuur/dijk
- Natuur/dijk/bebouwing
- Natuur/dijk/recreatie
- Natuur
- Recreatie/dijk en/of natuur
- Strand/natuur, deels met recreatie



Figuur 35. Kustzone biedt potenties om samenhang tussen natuur binnendijs en buitendijs te versterken (Bron: BPL).

Buitendijkse mogelijkheden hiervoor spitsen zich toe op ontwikkeling van voorlanden door onder meer suppleren en het gebruik van biobouwers. Met name het stimuleren van schorontwikkeling door het creëren van juiste omstandigheden, biedt de mogelijkheid om een meer graduele overgang van het slik naar de dijk en binnendijks te bewerkstelligen. Door de toename in hoogteverschillen ontstaat ook meer habitatheterogeniteit en ecologische variatie. In zoete systemen zijn er mogelijkheden voor ontwikkeling van riet en wilgen op de oevers. Hier vindt geen opslibbing plaats, maar er kan wel vegetatie successie optreden. Door gericht maai- en grasbeheer op de buitendijkse gebieden kan voorkomen worden dat vergaande successie plaatsvindt en meer ecologische variatie ontstaat. Het reduceren van vegetatie strookt echter niet met de golfdempende functie van voorlanden die voor deze concepten zijn voorzien. Naast gebruik van biobouwers kan het gebruik van zand door suppleties helpen om voorlanden voor de dijken op te hogen. Daarnaast kan deze suppletie ook tegen de dijk worden aangelegd (hybride dijk) waardoor de dijk wordt ingepakt in zand. Hierdoor ontstaat een duingebied. Deze concepten hebben allen gemeen dat voldoende ruimte beschikbaar moet zijn.

Binnendijks bieden zowel sedimentatiegebieden als dubbel/tripple dijken de mogelijkheid voor het ontwikkelen van nieuwe natuur waarbij zoute/brakke (getijden) natuur ontstaat. Deze nieuwe natuur vormt een tussendijkse overgangszone tussen water en land. De nieuwe natuur biedt een waardevol foerageergebied voor vogels. Met name het tussendijkse gebied van dubbel/tripple dijken kan als waardevol foerageergebied fungeren omdat het niet onderloopt met hoogwater. Naast natuurwaarden bieden deze gebieden ook mogelijkheden voor extensieve vormen van aquacultuur (schelpdieren) en zeeteelt (zeekraal en lamsoor) (De Mesel, Ysebaert et al. 2013).

Wat betreft het toepassen van concepten voor aanpassing van de dijk kan de toepassing van robuuste keringen met een zeer flauw verhang ecologisch waardevol zijn omdat er een bredere zonering van hard substraat (afhankelijk van de dijkbekleding) habitat ontstaat ten opzichte van een traditionele dijk. Technische oplossingen betreft het aanpassingen aan het binnenwerk van de dijk zelf en heeft weinig gevolgen voor de ecologie, echter kan gebruik van damwanden om de dijk te verstevigen de kwelstromen en binnendijkse natte natuur beïnvloeden.

Potenties binnen de ontwikkelingsvarianten

De verschillende varianten beschouwd in deze studie zijn gericht op diverse grootschalige systeemveranderingen in de bekkens van de Zuidwestelijke Delta. Met het ontstaan van aanpassingen in water- en sedimentdynamiek en zoutgehalte in de bekkens, zoals voorgesteld in de varianten, veranderen ook de mogelijkheden voor toepassing van innovatieve dijkconcepten. Dat wil zeggen: de potentie van typen concepten met specifieke fysische randvoorwaarden zal per variant variëren. Tabel 8 geeft een globale inschatting weer van de potentiële mogelijkheden voor toepassing van innovatieve dijkconcepten in de varianten en in de verschillende bekkens. Zowel biobouwers als sedimentatiegebieden zijn voor toepassing afhankelijk van specifieke fysische (en ruimtelijke) randvoorwaarden en daarom nader besproken. De overige typen innovatieve dijkconcepten zijn in theorie in alle varianten en in alle bekkens toepasbaar omdat deze geen specifieke systeem omstandigheden vereisen. Uiteraard hangt de mogelijkheid voor toepassing van deze concepten wel samen met lokale omstandigheden zoals toestand van de huidige waterkering, binnendijks landgebruik, aanwezigheid van slaperdijken (dubbele dijk) etc.

Potentie voor gebruik van zoutwater biobouwers (schorren, schelpdierriffen) ontstaat vooral daar waar herintroductie van getij en zoutwaterinvloed plaatsvindt zoals in het Grevelingenmeer, Volkerak-Zoommeer en Veerse Meer. Echter moeten omgevingsomstandigheden wel geschikt zijn. Schorren zijn bijvoorbeeld afhankelijk van voldoende aanvoer van sediment om te kunnen ontwikkelen en vereisen ook specifieke geo-morfologische en hydrologische omstandigheden. Voor ontwikkeling van schelpdierriffen zijn factoren als voedselaanbod, (variatie in) zoutgehalte en droogvalduur van belang. Riet is een type biobouwer die zowel in zoet als in brakwater kan ontwikkelen en heeft daardoor voornamelijk potentie in Haringvliet/Hollandsch Diep, Volkerak-Zoommeer en brakke delen van de Westerschelde. Voor aanplant van wilgen op de vooroever van dijken is een volledig zoetwatermilieu vereist. De potentie hiervoor

beperkt zich dan ook tot Haringvliet/Hollandsch Diep (variant I, II en III) en Volkerak-Zoommeer (variant I en II). Zowel toepassing van riet als wilgen als biobouwers zijn in het bijzonder interessant in variant IV "Zoete lagune".

Het concept sedimentatiegebieden staat nog in de kinderschoenen, waardoor het lastig is om de specifieke toepassing van dit concept in de varianten te voorspellen. Omdat sedimentatiegebieden erop gericht zijn om langs een strook kust de juiste omstandigheden te creëren om schorren te laten ontwikkelen en het gebied te laten ophogen zijn de randvoorwaarden hiervoor gelijk als voor het gebruik van schor als biobouwer op voorland voor de dijken. Een studie van De Mesel et al. (2013) naar het gebruik van "wisselpolders" in de Westerschelde geeft aan dat sedimentlading van het water en de juiste getijslag/hoogteligging belangrijke factoren zijn voor het ontstaan van schorvorming waardoor het gebied kan opslibben. Van de Westerschelde is bekend dat de sedimentlading voldoende hoog is om schorren te laten ontwikkelen in sedimentatiegebieden en het gebied te laten opslibben. Bij een sedimentlading van 1-10 mg/l kan een schor overleven (afhankelijk van de zeespiegelstijging) en bij 10-100mg/l treedt groei op (Temmerman, Govers et al. 2004; Li and Yang 2009; Borsje, Van Wesenbeeck et al. 2011). Het is onbekend of sedimentatiegebieden toepasbaar zijn in de Oosterschelde omdat hier mogelijk te weinig sediment aanwezig is en tevens de erosie als gevolg van het fenomeen zandhonger speelt. Met name variant VII "Zoute Delta" is interessant voor toepassing van sedimentatie gebieden omdat de verbinding met de rivieren en de zee volledig wordt hersteld. Dit betekent ook dat de sedimenttoevoer niet meer wordt belemmerd door dammen en de bekkens opnieuw onder invloed staan van het getij.

Tabel 8: Globale inschatting van de potentiële mogelijkheden van toepassing innovatieve dijkconcepten in de bekkens van de Zuidwestelijke Delta per variant.

	Haringvliet/ Hollandsch Diep							Volkerak- Zoommeer							Grevelingen							Oosterschelde							Veerse Meer							Westerschelde													
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7							
Biobouwers	[Greyed out]																																																
Schorren	[Green/Blue/White cells]																																																
Oesterriffen	[Green/Blue/White cells]																																																
Riet	[Green/White cells with '1']																																																
Wilgen of grienden	[Green/White cells with '2']																																																
Zandige oplossingen	[Green cells]																																																
Robuuste dijken	[Greyed out]																																																
Klimaatdijk/Deltadijk	[Green cells]																																																
Hybride keringen	[Green cells]																																																
Dubbel/tripple dijken	[Green cells]																																																
Sedimentatiegebieden	[Green/Blue/White cells]																																																

- = *potentie voor toepassing innovatief dijkconcept op basis van fysische systeemeigenschappen in het bekken.*
- = *nader onderzoek noodzakelijk om de potentie van het concept aan te tonen.*
- = *geen potentie*

¹ Geen riet ontwikkeling mogelijk in de zoute delen, enkel in de zoet tot brakke delen.

² Geen ontwikkeling van wilgen/grienden mogelijk in de zoute en brakke delen, bij uitzondering op de oever gevoed door zoet grondwater.

5. Conclusies

In het kader van de studie naar "Samenhang in de delta, ontwikkelingsvarianten voor de Zuidwestelijke Delta", die door het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) wordt uitgevoerd, heeft IMARES een ecologische analyse gemaakt van zes ontwikkelingsvarianten. Hierbij zijn modelberekeningen (uitgevoerd door Deltares) doorvertaald naar de gevolgen van de voorgestelde ingrepen in de verschillende varianten voor het voorkomen van ecosysteemtipes en habitattypes (Ysebaert et al. 2013). De arealen van de verschillende systeemtipes en habitattypes in deze studie zijn berekend op basis van de saliniteit- en waterstandskarakteristieken zoals berekend door het 1D SOBEM-waterkwaliteitsmodel van Deltares (Nolte et al. 2013). De resultaten dienen als een eerste indicatieve stap naar de habitat potenties in de verschillende bekkens in de Zuidwestelijke Delta onder verschillende ontwikkelvarianten.

Door de aanleg van de Deltawerken is het areaal getijdennatuur drastisch afgenomen in de Zuidwestelijke Delta en zijn de oorspronkelijke zoet-zout overgangen grotendeels verdwenen, en alleen nog in de Westerschelde volledig aanwezig. In plaats daarvan zijn grotendeels van elkaar gescheiden bekkens zonder of met een beperkte getijdynamiek ontstaan. De ontwikkelingsvarianten II t/m V zijn met oplopend niveau van ingrijpen gericht op het verbinden van de bekkens in de richting van een meer aaneengesloten estuarien systeem. Door de verbindingen ontstaat een betere menging van zout en zoet en bijhorende stofstromen. De harde scheidingen van zoet en zout, getij en stagnant die in de huidige situatie (variant I) aanwezig zijn worden in variant II t/m V in toenemende mate meer gradueel, tot het ontstaan van een semi-natuurlijk estuarien systeem in variant V (variant met stormvloedkeringen, niet in detail beschouwd in deze studie). De varianten II t/m IV leiden tot een toename van de brakwaterzone en meer getijdennatuur. In Variant IV staan alle bekkens onder invloed van (gedempt) getij. Dit uit zich in een toename van de horizontale waterbeweging, maar slechts in beperkte mate in een toename van het verticale getij. M.a.w., de potentie voor droogvallende intergetijdenhabitats (slikken en zandplaten, schorren) is in de varianten II t/m IV beperkt. Deze habitats worden net vanuit het beleid als waardevol gezien. Enkel in het Grevelingenmeer is een sterke toename van het oppervlakte slikken en zandplaten in varianten III en IV te zien. Hetzelfde geldt voor het Volkerak-Zoommeer in Variant IV. Ten opzichte van het areaal intergetijdengebied in de Oosterschelde en Westerschelde is het ontstane areaal echter relatief klein. De twee extreme varianten, Variant VI (Zoete Lagune) en Variant VII (Zoute Delta), laten een grote verandering zien ten opzichte van de huidige situatie. In variant VI wordt alles zoet, op de Westerschelde na. Tevens bevat deze variant het kleinste aantal verschillende habitattypes. In variant VII worden alle gebieden binnen het modelgebied getijdenwateren, met een variatie aan zoute, brakke en zoete getijdenhabitats. Deze variant kent ook de grootste toename in het areaal intergetijdengebied.

De hoofdoorzaak van de achteruitgang in de ecologische kwaliteit in de verschillende bekkens van de Zuidwestelijke Delta wordt toegeschreven aan het verdwijnen van de estuariene dynamiek. Het ecologisch functioneren en daarmee ook de ecologische kwaliteit wordt nauw verbonden met estuariene dynamiek, en de verwachting is dat herstel van estuariene dynamiek leidt tot een grotere ecologische veerkracht in de Zuidwestelijke Delta (zie ook Tangelder et al. 2012 en Baptist et al., 2007). Ook de in deze studie behandelde varianten beschrijven met oplopend niveau van ingrijpen het steeds meer verbinden van de bekkens in de richting van een estuarien systeem, met in variant VII een Zuidwestelijke delta waarin alle mondingen in open verbinding staan met de zee. Enkel variant VI wijkt hier sterk van af, omdat hier juist gekozen wordt voor het volledig afdammen van de mondingen (behalve Westerschelde) en het zoet maken van de overige bekkens. De maatregelen in de varianten II t/m V hebben tot gevolg dat de estuariene dynamiek toeneemt, en daarmee ten goede komt aan estuariene natuurwaarden en estuariene biodiversiteit. Hier moeten wel een aantal kanttekeningen geplaatst worden. Estuariene dynamiek is een ruim begrip waaronder verschillende aspecten van het estuariene functioneren samengevoegd zijn: getijdynamiek, rivierdynamiek, morfodynamiek, zout-zoet gradiënten, aanvoer organisch materiaal en nutriënten. Al deze aspecten zijn belangrijk voor (de ontwikkeling van) de habitats en daarbij horende biodiversiteit in de verschillende bekkens en habitats (Ysebaert et al. 2013). Omdat deze aspecten maar deels hersteld worden in de varianten II t/m V, zal ook de (estuariene) biodiversiteit zich niet volledig herstellen en is van een volledig natuurlijk

functionerend estuarien ecosysteem geen sprake. Samenvattend kan men stellen dat in de varianten II t/m IV wel steeds meer horizontale doorstroming van de bekkens gerealiseerd wordt, wat ten goede komt aan oplossingen voor de huidige ecologische problemen met stratificatie, maar dat het verticale getij maar in beperkte mate hersteld wordt, waardoor intergetijdengebied (slikken, platen en schorren en daarbij horende soorten, zie Ysebaert et al. 2013) slechts in beperkte mate voorkomt. Vanuit het beleid wordt juist intergetijdengebied en bijhorende soorten als zeer waardevol gezien. Zout-zoet gradiënten worden in toenemende mate gerealiseerd, alsmede ook verbindingen tussen de verschillende bekkens, wat vismigratie ten goede komt en waar in de brakke overgangszones zeldzame brakwaterfauna en – flora tot ontwikkeling kan komen (Ysebaert et al. 2013). In variant V zijn alle buitenste keringen vervangen door stormvloedkeringen, en hiermee worden de verschillende aspecten van estuariene dynamiek in grote mate hersteld. In deze variant wordt een behoorlijke getijslag gerealiseerd in de verschillende bekkens, wat intergetijdennatuur met bijhorende kenmerkende soorten ten goede komt. In hoeverre een duurzame situatie gecreëerd wordt is nog maar de vraag, omdat in de bekkens een gelijkaardige situatie gecreëerd wordt als in de Oosterschelde, en 'zandhonger' mogelijk kan leiden tot geleidelijke erosie van het intergetijdengebied. In variant VII wordt estuariene dynamiek op de meest duurzame manier in al zijn aspecten hersteld, en biedt daarmee de grootste kans voor het herstel van duurzame estuariene natuur en biodiversiteit. Een terugkeer naar de situatie van voor de Deltawerken is echter uitgesloten, aangezien nog een heleboel andere ingrepen zijn gebeurd in de Zuidwestelijke Delta. Een dynamische Zuidwestelijke Delta betekent ook dat we moeten aanvaarden dat de natuur (voortdurend) verandert, en dat voldoende ruimte nodig is om alle dynamische processen te laten plaatsvinden.

In alle varianten wordt bestaande natuur vervangen door andere natuur, de omvang hiervan hangt af van de voorgestelde ingrepen. De grootste veranderingen doen zich uiteraard voor in de twee extreme varianten (VI Zoete Lagune en VII Zoute Delta). De waardering van de ene soort natuur t.o.v. de andere is niet eenduidig te maken, en is deels gestuurd vanuit het gevoerde beleid (nationaal, internationaal). Belangrijke handvatten vormen bijv. Natura2000 en de Kaderrichtlijn Water. Estuariene natuur wordt om verschillende redenen als zeer waardevolle natuur beschouwd, deels omwille van zijn relatief unieke en zeldzame karakter en internationaal belang, deels doordat estuaria zeer productieve systemen zijn, belangrijk voor hogere trofische niveaus zoals vissen, vogels en zeezoogdieren. Wanneer het terugbrengen van estuariene natuur het doel is, is herstel van de estuariene dynamiek in al zijn aspecten de enige duurzame oplossingsrichting. Dit kan waarschijnlijk alleen via drastische ingrepen zoals voorgesteld in variant VII. Dit zal niet alleen een positief effect hebben op de (estuariene) biodiversiteit, maar ook op de veerkracht van het ecologische systeem, de zelfreinigende werking van het estuarium en waarschijnlijk ook op de regionale economie. Een benadering vanuit het concept van ecosystemendiensten kan bijdragen aan het vergelijken en evalueren van de verschillende varianten. Daarnaast betekent het 'toelaten van dynamiek' dat ook beleidsdoelen meer 'dynamisch' moeten worden geformuleerd.

Hoe de ecologische kwaliteit en de biodiversiteit van de verschillende ecosysteemtipes en habitattypes zich zal ontwikkelen in de verschillende varianten is moeilijk voorspelbaar. De gevolgen voor de morfologische ontwikkeling, de sedimentsamenstelling, de zuurstofconcentratie als gevolg van stratificatie kunnen op basis van het 1D Sobek model niet berekend worden en zijn dus ingeschat. De verbindingen tussen de bekkens en toename van dynamiek zal effect hebben op de waterkwaliteit, maar het risico op stratificatie en zuurstofloosheid bij de bodem blijft in een aantal varianten aanwezig en behoeft nader onderzoek. De toekomstige eutrofiëringsgraad in de verschillende bekkens hangt in sterke mate af van wat er door de rivieren wordt aangevoerd. Benadrukt moet worden dat de varianten een statische toestand weergeven, waarbij is uitgegaan van de huidige morfologie van de Zuidwestelijke Delta. Morfologische ontwikkelingen als gevolg van de ingrepen in de varianten is niet uitgewerkt. In het 1D model is de morfologie (ligging en dimensies van geulen, ondiep water en intergetijdengebieden) ook statisch en verandert niet als gevolg van de veranderde waterbeweging (Nolte et al. 2013). In werkelijkheid zal de morfologie zich aanpassen in een complexe interactie tussen waterbeweging en geomorfologische processen. Dit is moeilijk te voorspellen. Daarnaast is de relatieve stijging van de zeespiegel - dat wil zeggen het gecombineerde effect van de stijging van de waterspiegel (de absolute

zeespiegelstijging) en van bodemdaling – op lange termijn sterk bepalend voor de ontwikkeling van onze kust en getijdebekkens.

De ontwikkelingsvarianten zullen ook gevolgen hebben voor andere gebruiksfuncties en bieden kansen voor innovatieve oplossingen voor een meer integraal kustbeheer. Zo biedt het vergroten van de getijdedynamiek in de bekkens, en een voldoende zout milieu, mogelijkheden voor de kweek van schelpdieren. De verschillende varianten bieden tevens kansen voor het toepassen van innovatieve dijkconcepten.

Deze studie, tezamen met de studie van Nolte et al. (2013), is de eerste studie die op het niveau van de volledige Zuidwestelijke Delta, kwantitatieve uitspraken doet over het effect van verschillende ingrepen op het areaal en de kwaliteit van verschillende habitats. Tegelijkertijd moet benadrukt worden dat de modeloefening, en het verder doorrekenen naar arealen habitattypes, een eerste indicatieve stap zijn en de resultaten dienen met voorzichtigheid geïnterpreteerd te worden. In het model is het beheer van kunstwerken aangepast, doorlaatmiddelen aangelegd en dammen verwijderd (Nolte et al. 2013). Er heeft geen optimalisatie van het waterbeheer plaatsgevonden. Een dergelijke optimalisatie biedt – gezien het grote aantal kunstwerken dat de waterstromen kan reguleren – veel mogelijkheden om eventueel ongewenste (ecologische) effecten te voorkomen of te minimaliseren. Hiervoor is nader onderzoek nodig.

6. Dankwoord

Wij danken Arno Nolte en Ies de Vries (Deltares) voor de modelberekeningen en interpretaties t.b.v. de habitatanalyses uitgevoerd in deze studie. De inhoud van dit rapport is mede tot stand gekomen in nauw overleg en in samenwerking met Dirk-Jan van der Hoek, Rick Wortelboeren Marijke Vonk van het PBL (Planbureau voor de Leefomgeving).

7. Kwaliteitsborging

IMARES beschikt over een ISO 9001:2008 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem (certificaatnummer: 124296-2012-AQ-NLD-RvA). Dit certificaat is geldig tot 15 december 2015. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV Certification B.V. Daarnaast beschikt het chemisch laboratorium van de afdeling Vis over een NEN-EN-ISO/IEC 17025:2005 accreditatie voor testlaboratoria met nummer L097. Deze accreditatie is geldig tot 1 april 2017 en is voor het eerst verleend op 27 maart 1997; deze accreditatie is verleend door de Raad voor Accreditatie.

Referenties

- Anon. (2010). Behoud van morfologie en dynamiek. Indicatoren voor het Schelde-estuarium. Opgemaakt in opdracht van Afdeling Maritieme Toegang, projectgroep EcoWaMorSe, Vlaams Nederlandse Scheldec commissie. *VLIZ Information Sheets*, 207. Vlaams Instituut voor de Zee (VLIZ): Oostende. 17 pp. Online beschikbaar op <http://www.scheldemonitor.org/indicatoren.php>
- Attrill M.J. 2002. A Testable Linear Model for Diversity Trends in Estuaries. *Journal of Animal Ecology* 71: 262-269.
- Baptist, H.J.M., F. Colijn, E.C.L. Martejijn, P.L. Meininger, P.M. Meire & F. Twisk (1988). Gevleugeld onderzoek; watervogels in veranderende watersystemen. Middelburg, Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren: 23 p.
- Baptist, M.J., Mesel, I.G. de, Stuyt, L.C.P.M., Henkes, R., Molenaar, H. de, Wijsman, J.W.M., Dankers, N.M.J.A., Kimmel, V. (2007). Herstel van estuariene dynamiek in de zuidwestelijke Delta. Texel: IMARES, (Rapport / Imares C119/07) - p. 172.
- Boesch, D. F. (1977). A new look at the benthos along the estuarine gradient. *Ecology of Marine Benthos*. B. C. Coul. South Carolina, University of South Carolina Press, Columbia: 245-266.
- Borsje, B. W., B. K. Van Wesenbeeck, et al. (2011). "How ecological engineering can serve in coastal protection." *Ecological Engineering* **37**: 122.
- Day, J. W., N. P. Psuty, et al. (2000). The role of pulsing events in the functioning of coastal barriers and wetlands: implications for human impact, management and the response to sea level rise. In: Wienstein, M.P., Dreger, D., Concepts and Controversies in Salt Marsh Ecology. Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers.
- De Leeuw, C. C. and J. J. G. M. Backx (2001). Naar een herstel van estuariene gradiënten in Nederland. Een literatuurstudie naar de algemene ecologische principes van estuarine gradiënten, ten behoeve van herstelmaatregelen voor de Nederlandse kust, RIKZ en RIZA: 169.
- Deltaprogramma Zuidwestelijke Delta (2010) Uitvoeringsprogramma Zuidwestelijke Delta 2010-2015+.
- De Mesel, I., T. Ysebaert, et al. (2013). Klimaatbestendige dijken, het concept wisselpolders IMARES.
- Fiselier, J., N. Jaarsma, et al. (2011). Perspectief Natuurlijke keringen: Een eerste verkenning ten behoeve van het Deltaprogramma: 60.
- Geurts van Kessel, A.J.M. (2004) Verlopend tij: Oosterschelde, een veranderend natuurmonument. Rijksinstituut voor Kust en Zee, RIKZ/2004.028.
- Geurts van Kessel, A. J. M., B. J. Kater, et al. (2003). Veranderende draagkracht van de Oosterschelde voor kokkels. Middelburg, RIKZ: 128.
- Jones, C. G., J. H. Lawton, et al. (1994). "Organisms as Ecosystem Engineers." *Oikos* **69**(3): 373-386.
- Jones, C. G., J. H. Lawton, et al. (1997). "Positive and negative effects of organisms as physical ecosystem engineers." *Ecology* **78**(7): 1946-1957.
- Kamermans, P., M. A. Hemminga, et al. (1999). "Significance of salinity and silicon levels for growth of a formerly estuarine eelgrass (*Zostera marina*) population (Lake Grevelingen, The Netherlands)." *Marine Biology* **133**(3): 527-539.
- Lengkeek, W., S. Bouma, et al. (2007). Het effect van zuurstofdeficiëntie op het bodemleven in het Grevelingenmeer. Een blik onder water. Culemborg, Bureau Waardenburg.

- Li, H. and S. L. Yang (2009). "Trapping Effect of Tidal marsh Vegetation on Suspended Sediment, Yangtze Delta." Journal of Coastal Research **25**(4): 915-924.
- Nolte, A. (2002). Onderzoek naar de toekomstige waterkwaliteit en ecologie van het Veerse Meer: Toekomstige ontwikkeling en mogelijkheden. Delft, WL Delft Hydraulics: 40.
- Nolte, A., C. J. Sprengers, J.A.G. van Gils. (2013). Samenhang in de Zuidwestelijke Delta: Integrale beschouwing en kwantificering van estuariene dynamiek en waterkwaliteit. Deltares (Deltares rapport 1208082-000), Delft. P-61.
- Provincie Zeeland (2003). Delta in Zicht. Een integrale visie op de Deltawateren: 44.
- Remane, A. (1934). "Die Brackwasserfauna." Verhandlungen der Deutschen Zoologischen Gesellschaft **36**: 34-74.
- Schellekens, T. and A. C. Smaal (2012). BO Zuidwestelijke Delta: Nutrientendynamiek en verandering van draagkracht. Yerseke, Wageningen IMARES.
- Smaal, A.C. , Schellekens, T. , Stralen, M.R. van , Kromkamp, J. (2013). Decrease of the carrying capacity of the Oosterschelde estuary (SW Delta, NL) for bivalve filter feeders due to overgrazing? Aquaculture 404-405: 28 - 34.
- Tangelder, M., A. Groot, et al. (2013). Innovatieve dijkconcepten in de Zuidwestelijke Delta. Kansen voor toepassing en meerwaarde ten opzichte van traditionele dijken in het kader van Beleidsondersteuning voor het Deltaprogramma Zuidwestelijke Delta. Yerseke, IMARES.
- Tangelder, M., K. Troost, et al. (2012). Ecologische begrippen: Veerkracht en verwante begrippen in het kader van Beleid Ondersteuning Programmabureau Zuidwestelijke Delta, IMARES Wageningen UR: 33.
- 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.
- Temmerman, S., G. Govers, et al. (2004). "Modelling estuarine variations in tidal marsh sedimentation: response to changing sea level and suspended sediment concentrations." Marine Geology **212**: 1-19.
- Van Broekhoven, B. J. L. (2010). Alternatieve gronden. Verkenning naar potentiële vrije locaties voor de bodemkweek van mosselen in de Oosterschelde. Middelburg, RWS Directie Zeeland: 35.
- Van Loon-Steensma, J., H. Schelfhout, et al. (2012). Verkenning innovatieve dijken in het Waddengebied: een verkenning naar mogelijkheden voor innovatieve dijken in het Waddengebied. Wageningen, Alterra.
- Van Zanten, E. and L. Adriaanse (2008). "Verminderd getij. Verkenning naar mogelijke maatregelen om het verlies van platen, slikken en schorren in de Oosterschelde te beperken." Hoofdrapport Rijkswaterstaat.
- Verspagen, J. M. H., J. Passarge, et al. (2006). "Watermanagement strategies against toxic Microcystis blooms in the Dutch delta." Ecological Applications **16**: 313-327.
- Whitfield, A. K., M. Elliott, et al. (2011). "Paradigms in estuarine ecology - A review of the Remane diagram with a suggested revised model for estuaries." Estuarine Coastal and Shelf Science **97**: 78-90.
- Wijnhoven, S., V. Escaravage, et al. (2010). "The decline and restoration of a coastal lagoon (Lake Veere) in de Dutch Delta." Estuaries and Coasts **33**: 1261-1278.
- Wijsman, J., M. Poelman, et al. (2013). Verkenning van de effecten van toelaten nutriënten en verwijderen van wilde oesters op de productie van kweekoesters in de Kom van de Oosterschelde. Yerseke, IMARES Wageningen UR: 68
- Wijsman, J. W. M. (2002). Stratificatie en zuurstofdeficiëntie in het Grevelingenmeer, RIKZ Middelburg: 64.

Wijsman, J. W. M. and P. Kamermans (2012). Effecten uitbreiding 3 MZI locaties in Oosterschelde en Waddenzee op draagkracht. Yerseke, IMARES: 20.

Wijsman, J. W. M. and F. M. Kleissen (2012). Potenties van een zout Volkerak-Zoommeer voor mossel- en oestercultuur. Yerseke, IMARES: 43.

Wijsman, J.W.M.; Poelman, M.; Blanco, A.; Troost, T.; Schellekens, T.; Strietman, W.J.; Hamon, K. (2013) Verkenning van de effecten van toelaten nutriënten en verwijderen van wilde oesters op de productie van kweekoesters in de Kom van de Oosterschelde. *Yerseke : IMARES, (Rapport / IMARES C010/13) - p. 68.*

Ysebaert T, PMJ Herman, P Meire, J Craeymeersch, H Verbeek, CHR Heip. 2003. Large-scale spatial patterns in estuaries: estuarine macrobenthic communities in the Schelde estuary, NW-Europe. *Estuarine and Coastal Shelf Science* 57: 335-355.

Ysebaert, T.J.W.; Tangelder, M.; Wijsman, J.W.M.; Troost, K. (2013). Samenhang in de Delta, ontwikkelingsvarianten voor de Zuidwestelijke Delta: Ecologische onderbouwing (deel 1) *Yerseke : IMARES, (Rapport / IMARES C073/13) - p. 46.*

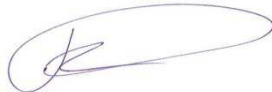
Verantwoording

Rapportnummer: C159/13
Projectnummer: 4301105301.

Dit rapport is met grote zorgvuldigheid tot stand gekomen. De wetenschappelijke kwaliteit is intern getoetst door een collega-onderzoeker en het betreffende afdelingshoofd van IMARES.

Akkoord: Drs. F.C. Groenendijk
Hoofd afdeling Maritiem

Handtekening:



Datum: 25 oktober 2013

Akkoord: Dr. B.D. Dauwe
Hoofd afdeling Delta

Handtekening:



Datum: 25 oktober 2013

Bijlagen

BIJLAGE A

Oppervlaktes (in ha) van de verschillende systeemtypes (zout-brak-zoet) en habitats , gedefinieerd op basis van waterstandskarakteristieken , in de verschillende ontwikkelingsvarianten.

Tabel systeemtypen.

ZOUT	Variant 1 Huidig	Variant 2	Variant 3	Variant 4	Variant 7 Zoute Delta	Variant 6 Zoete Lagune
Biesbosch	0	0	0	0	0	0
Grevelingenmeer	13446	13446	13446	13446	0	4050
Haringvliet	0	0	0	0	0	0
Hollands diep	0	0	0	0	0	0
Noordelijke rivieren	0	0	0	0	0	0
Oosterschelde	34856	34856	34856	34856	0	31592
Veerse Meer	2437	2437	2437	2437	0	2437
Volkerak						
Zoommeer	0	0	0	4256	0	432
Westerschelde	21528	21528	21528	21528	16335	22823

BRAK	Variant 1 - Huidige situatie	Variant 2	Variant 3	Variant 4	Variant 7 - Zoute Delta	Variant 6 - Zoete Lagune
Biesbosch	0	0	0	0	0	0
Grevelingenmeer	0	0	0	0	9396	0
Haringvliet	0	8018	10382	10382	2929	0
Hollandsch diep	0	0	1550	2879	0	0
Noordelijke rivieren	0	855	855	855	466	0
Oosterschelde	0	0	0	0	3264	0
Veerse Meer	0	0	0	0	0	0
Volkerak						
Zoommeer	7734	4256	7734	3479	7303	0
Westerschelde	9616	9616	9616	9616	8321	14809

ZOET	Variant 1 - Huidige situatie	Variant 2	Variant 3	Variant 4	Variant 7 - Zoute Delta	Variant 6 - Zoete Lagune
Biesbosch	8278	8278	8278	8278	8278	8278
Grevelingenmeer	0	0	0	0	13446	0
Haringvliet	10382	2364	0	0	10382	7454
Hollands diep	4656	4656	3106	1777	4656	4656
Noordelijke rivieren	7158	6304	6304	6304	7158	6692
Oosterschelde	0	0	0	0	34856	0
Veerse Meer	0	0	0	0	2437	0
Volkerak						
Zoommeer	0	3479	0	0	7734	0
Westerschelde	0	0	0	0	0	0

Tabel 9 Oppervlakte van de verschillende habitats (in ha) in Variant 2 per bekken.

Oppervlakte (ha)	diep water	ondiep water	slikken en zandplaten	oeverzone	schorren	terrestrisch	Totaal
Biesbosch	1056	2712	1054	0	409	3046	8278
Grevelingenmeer	5092	4849	0	89	0	3416	13446
Haringvliet	4540	2868	842	0	200	1933	10382
Hollands diep	2493	1199	156	0	84	724	4656
Noordelijke rivieren	2152	1540	677	0	456	2333	7158
Oosterschelde	14253	9462	10684	0	127	329	34856
Veerse Meer	869	1117	9	0	1	442	2437
Volkerak Zoommeer	3271	1903	0	372	0	2188	7734
Westerschelde	15564	4778	8319	0	436	2048	31144
Totaal	49290	30428	21740	461	1712	16460	120093

Tabel 10 Oppervlakte van de verschillende habitats (in ha) in Variant 3 per bekken.

Oppervlakte (ha)	diep water	ondiep water	slikken en zandplaten	oeverzone	schorren	terrestrisch	Totaal
Biesbosch	1059	2708	1126	0	517	2867	8278
Grevelingenmeer	3886	6105	1587	0	281	1587	13446
Haringvliet	4544	2867	870	0	228	1873	10382
Hollands diep	2494	1198	172	0	94	699	4656
Noordelijke rivieren	2157	1536	686	0	463	2315	7158
Oosterschelde	14259	9494	10643	0	124	336	34856
Veerse Meer	845	1132	130	0	62	267	2437
Volkerak Zoommeer	3272	1906	0	372	0	2185	7734
Westerschelde	15563	4778	8319	0	434	2049	31144
Totaal	48080	31723	23535	372	2203	14179	120093

Tabel 11 Oppervlakte van de verschillende habitats (in ha) in Variant 4 per bekken.

Oppervlakte (ha)	diep water	ondiep water	slikken en zandplaten	oeverzone	schorren	terrestrisch	Totaal
Biesbosch	1059	2721	1218	0	642	2637	8278
Grevelingenmeer	3906	6101	1565	0	253	1622	13446
Haringvliet	4550	2886	856	0	217	1873	10382
Hollands diep	2495	1198	185	0	96	683	4656
Noordelijke rivieren	2158	1536	704	0	465	2295	7158
Oosterschelde	14264	9533	10589	0	115	355	34856
Veerse Meer	844	1133	125	0	64	272	2437
Volkerak Zoommeer	2559	2881	608	0	208	1478	7734
Westerschelde	15564	4778	8317	0	438	2047	31144
Totaal	47400	32767	24166	0	2497	13262	120093

Tabel 12 Oppervlakte van de verschillende habitats (in ha) in het Variant 7: Zoute delta per bekken.

Oppervlakte (ha)	diep water	ondiep water	slikken en zandplaten	Oeverzone	schorren	terrestrisch	Totaal
Biesbosch	497	2507	3875	0	727	672	8278
Grevelingenmeer	3539	5080	4243	0	311	274	13446
Haringvliet	4054	2858	1860	0	678	932	10382
Hollands diep	2284	1233	581	0	145	414	4656
Noordelijke rivieren	2009	1527	1000	0	542	2081	7158
Oosterschelde	14262	9484	10630	0	112	367	34856
Veerse Meer	696	910	823	0	4	4	2437
Volkerak Zoommeer	2316	2239	2457	0	258	465	7734
Westerschelde	15544	4761	8357	0	448	2033	31144
Totaal	45201	30600	33826	0	3224	7242	120093

Tabel 13 Oppervlakte van de verschillende habitats (in ha) in het Variant 6: Zoete lagune per bekken.

Oppervlakte (ha)	diep water	ondiep water	slikken en zandplaten	oeverzone	schorren	terrestrisch	Totaal
Biesbosch	1841	1521	0	309	0	4606	8278
Grevelingenmeer	5125	4827	0	95	0	3399	13446
Haringvliet	5263	1818	0	221	0	3080	10382
Hollands diep	2878	761	0	42	0	975	4656
Noordelijke rivieren	2788	850	0	188	0	3333	7158
Oosterschelde	18377	10877	0	1507	0	4095	34856
Veerse Meer	1162	815	0	12	0	449	2437
Volkerak Zoommeer	3291	1947	0	361	0	2136	7734
Westerschelde	15600	4814	8288	0	435	2006	31144
Totaal	56326	28230	8288	2735	435	24078	120093