

Sedimentstrategie voor de ZW Delta: een verkenning van kansen

Jan Mulder (Deltares)
Marcel Taal (Deltares)

Marijn Tangelder (IMARES)
Henrice Jansen (IMARES)

René Henkes (Alterra)
Saskia Werners (Alterra)

1206856-000
C115/12

Titel

Sedimentstrategie voor de ZW Delta: een verkenning van kansen

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Rijkswaterstaat Dienst Zeeland	1206856-000	1206856-000-VEB-0001	81

Samenvatting

Sediment speelt een dragende rol voor de veiligheid en andere functies in de ZW Delta. Desondanks is in bestaande veiligheidstrategieën een water-perspectief dominant; d.w.z. primair gericht op het beheersen van waterproblemen. De bijbehorende beheermaatregelen “temmen” het water (middels dammen, dijken, sluisen etc.). De maatregelen hebben echter ook effecten op de sedimenthuishouding. Omdat deze morfologische effecten zich veelal pas na langere tijd (op een grotere schaal) manifesteren, worden ze bij het ontwerp van maatregelen, nogal eens genegeerd of slechts beschouwd als nevenverschijnsel.

Deze studie verkent de kansen van een omkering van het perspectief. De ontwikkelingen in de sedimenthuishouding worden als uitgangspunt beschouwd voor duurzame inrichting van de ZW Delta. Centraal staan de kansen van een sedimentstrategie: het gericht beïnvloeden van de sedimenthuishouding, met het oog op het bereiken van een of meer (beleids)doelen.

Kijkend naar de ontwikkelingen in de sedimenthuishouding – als gevolg van de huidige klimaat- en zeespiegelcondities en de huidige strategie, maar ook van de voorgestelde optimalisatie door DP | ZW delta (2012) –, is de grootste gemene deler dat er sprake is van een groeiende sedimentvraag. Het is gebleken dat de sedimentbehoefte per deelgebied varieert tussen de 0.2 en 2.6 Mm³ per jaar om enkel te kunnen meegroeien met de huidige zeespiegelstijging van 2 mm/jaar. De groeiende onbalans met het sedimentaanbod, leidt tot interne herverdeling van het aanwezige sediment. Deze herverdeling (lokale erosie en sedimentatie) leidt tot veranderingen in functiewaarden (sterkte van waterkeringen, habitatkarakteristieken, geschiktheid voor aquacultuur en visserij, vaargeuldieptes en aantrekkelijkheid voor recreatie) en tot de noodzaak van beheermaatregelen.

Een sedimentstrategie biedt kansen wanneer deze zich richt op het herstellen van de balans tussen vraag en aanbod van sediment (beheer van de voorraad; de kwantiteit) en op de verdeling (de kwaliteit van het sediment).

Beleidsmatig worden de kansen bepaald door de keuzes voor de na te streven doelen. Een beleidsmatige keuze voor het behoud van de sedimentvoorraad in een deelsysteem (inclusief de definitie van het bijbehorende streefbeeld) is bepalend voor het sedimentvolume dat beschikbaar is voor het herstel van de balans tussen vraag en aanbod. Keuzes voor de prioriteit van te handhaven of te versterken functies, bepalen vervolgens de verdeling van het sediment en daarmee de kansen voor verschillende functies.

Technisch gezien worden mogelijkheden van een sedimentstrategie gevormd door (een combinatie van) het winnen en storten (suppleren) van sediment, en het toepassen van erosieremmende en/of sedimentatie bevorderende middelen. Door daarbij gebruik te maken van natuurlijke opbouwkrachten (hydrodynamische transportcapaciteit en biobouwers) – door te bouwen met de natuur –, kan een optimaal ecologisch resultaat worden bereikt. Een verdere optimalisatie van de effectiviteit (in functioneel-, ecologisch- en kostentechnische zin) is mogelijk door een juiste afstemming en combinatie van zandwinning en suppleties (locaties, timing en uitvoeringswijze) en de inzet van biobouwers. Wat de optimale combinatie is wordt sterk bepaald door lokale omstandigheden en vergt nader onderzoek. Bijzonder aandachtspunt daarbij vormt de afweging tussen de lange- en korte termijn effecten. Bijvoorbeeld, plaatsuppleties kunnen ecologisch positief zijn vanwege habitatbehoud op lange termijn, maar op korte termijn negatief

Titel

Sedimentstrategie voor de ZW Delta: een verkenning van kansen

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Rijkswaterstaat Dienst Zeeland	1206856-000	1206856-000-VEB-0001	81

vanwege sterfte van bodemleven, vertroebeling en gevolgen voor de primaire productie en aquacultuur.

Vanuit ecologisch oogpunt zijn binnen een sedimentstrategie met name de kansen interessant die worden geboden door de inzet van "biobouwers". Deze kunnen bijdragen aan het beperken van erosie en/of bevorderen van sedimentatie en stabiliseren van de bodem. Voorbeelden hiervan zijn schorontwikkeling, aanplant van specifieke soorten zoals Engels slijkgras, gebruik van kunstmatige oesterriffen als plaatrand bescherming en het combineren van aquacultuurtoepassingen en kustverdediging. Voor wat betreft toepassing, (kosten)efficiëntie en betekenis van deze concepten voor kustverdediging is beperkte kennis en ervaring opgedaan. Het is dan ook van belang om meer ervaring op te doen met deze concepten om hun volle potentie voor toepassing op de lange termijn te kunnen verkennen.

Geredeneerd vanuit de functies recreatie en scheepvaart tenslotte, levert een sedimentstrategie de volgende kansen en aandachtspunten.

Een sedimentstrategie waarbij wordt ingezet op de natuurlijke dynamiek van het systeem, gebruikmakend van biobouwers en al dan niet in combinatie met gebiedseigen sediment, zou een meer dynamisch systeem kunnen opleveren met een toegenomen belevingswaarde. Innovatieve dijkconcepten met begroeide voorlanden kunnen een gewaardeerde grotere variatie opleveren in oeverbegroeiingen. Tegelijkertijd bieden dergelijke brede dijkontwerpen ruimte voor aanleg van fiets- en wandelpaden buitendijs. Wanneer als onderdeel van de sedimentstrategie extra eilanden zouden ontstaan, kunnen deze een positief effect hebben voor recreanten.

Voor scheepvaart is vooral interessant dat in een sedimentstrategie bij de zoektocht naar de locatie van sedimentbronnen voor suppletie, de vraag aan de orde komt waar door zandwinning kansen kunnen ontstaan voor bepaalde functies (zoals scheepvaart). De kansen van koppeling van doelen (vaargeul- en havenonderhoud met verschillende suppletiedoelen), verdienen nader aandacht. In combinatie met herstel van estuariene dynamiek, kan verbetering van het fijnmazige vaarnetwerk, soms kansen opleveren.

De belangrijkste aandachtspunten voor de scheepvaart waar verandering op kan treden ten gevolge van sedimentstrategieën zijn: veranderingen in baggerbezwaar van havens en vaarwegen, wachttijden, doorvaarhoogte, herstellen verbindingen tussen watersystemen, en het scheiden van beroeps- en recreatievaart.

Aanbevelingen

Sediment speelt een dragende rol voor de veiligheid en andere functies in de ZW Delta.

Het verdient aanbeveling om dit uitgangspunt voor de gehele de ZW Delta, in het beleid te verankeren – vergelijkbaar met de wijze waarop dat voor het kustfundament is gebeurd door de beleidsdoelstelling om de zandvoorraad te handhaven –.

Het behoud van de sedimentvoorraad, het handhaven van de balans tussen vraag en aanbod van sediment, bepaalt de basis voor de sedimentstrategie.

De sedimentstrategie biedt vele kansen om functies duurzaam veilig te stellen. Door de sedimentvoorraad op peil te houden worden de (morfologische) randvoorwaarden voor een duurzame ontwikkeling gehandhaafd. Bovendien biedt de inzet van sediment de mogelijkheid om flexibel te blijven inspelen op veranderende omstandigheden.

Titel

Sedimentstrategie voor de ZW Delta: een verkenning van kansen

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Rijkswaterstaat Dienst Zeeland	1206856-000	1206856-000-VEB-0001	81





Wat de meest kansrijke opties zijn, is niet op voorhand geheel duidelijk. Daarvoor zijn op dit moment de onzekerheden nog te groot. We hebben echter de tijd om die onzekerheden te verkleinen. Binnen de huidige klimaatscenario's worden in de eerstkomende decennia nog geen knikpunten voor het beheer verwacht. We kunnen ervaring opdoen door het uitvoeren van een reeks pilots op verschillende schalen. Voor elk van de te kiezen pilots dienen vooraf, duidelijke onderzoeksvragen en een monitoringsprogramma te worden gedefinieerd.

Feitelijk zijn we daar al mee begonnen. Langs de Hollandse kust loopt de pilot Zandmotor, in het Waddengebied kennen we verschillende experimenten met geulwandsuppleties, doorstuiving, alternatieve dijkconcepten met zand en kwelders, en ook in verschillende deelgebieden van de ZW Delta is al ervaring opgedaan, of lopen proefnemingen met opties van de sedimentstrategie:

Geografisch betreft het vooral ervaringen aan de kust (Voordelta) en in Ooster- en Westerschelde. Ervaringen met kustsuppleties en met een bagger- en stortstrategie in de Westerschelde, bestaan al heel lang. Van recentere datum zijn proeven in de Oosterschelde met een plaatsuppletie en met oesterriffen, en plannen voor schorherstel (Rammegors), dijkversterking met een duin (Sophiastrand) en voor versterking van de Oesterdam met een soort zandmotor. Ervaringen in de bekkens Haringvliet – Hollandsch Diep, Grevelingenmeer en Volkerak - Zoommeer ontbreken daarentegen grotendeels.

Inhoudelijk gezien is nog relatief weinig aandacht besteed aan het verkennen van kansen om het geulgedrag te beïnvloeden en van mogelijkheden van gebruik en winning van verschillende typen sediment (verkenning van verschillende bronnen en winningsmethoden). Daarnaast zijn de recente projecten voornamelijk gericht op lokale effecten die zich manifesteren op de relatief korte termijn. Over de effecten op dynamische processen op systeem niveau is echter veel minder bekend (ecosysteembenadering).

Het verdient dan ook aanbeveling om – naast het voortzetten van de evaluatie van reeds lopende proefnemingen – te komen tot één of meer pilotprojecten, waarbij de aandacht wordt gericht op een of meer van de genoemde geografische en inhoudelijke lacunes.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	okt. 2012	J.P.M. Mulder		dr. A.P. Oost		ir. T. Schilperoort	
		M.D. Taal		dr. J. Wijsman			
		M. Tangelder					
		H. Jansen					
		R. Henkes					
		S. Wemers					

Status

definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Achtergrond	1
1.2 Vraagstelling en opdracht	1
1.3 Afbakening	2
1.4 Rapport opzet	2
2 Sedimentstrategie	3
2.1 Waarom de sedimentstrategie en wat is het?	3
2.2 Uitbreiding adaptatieopties	4
2.3 Ontwikkelingen in sedimenthuishouding als uitgangspunt	4
2.4 Relatie sedimenthuishouding en ecologie en gebruik	5
3 Invloeden huidige veiligheidstrategie	7
3.1 Huidige strategie noordoostelijk deel	7
3.1.1 Invloeden huidige veiligheidstrategie Haringvliet en Hollandsch Diep	7
3.1.2 Invloeden huidige veiligheidstrategie Grevelingen- en Volkerak-Zoommeer	10
3.2 Invloeden huidige strategie zuidelijk deel	15
3.2.1 Invloeden huidige veiligheidstrategie Oosterschelde	15
3.2.2 Invloeden huidige strategie Westerschelde	20
3.2.3 Invloeden huidige strategie Voordelta	25
4 Voorstellen voor mogelijke strategieën volgens DP (2012)	29
4.1 DP voorstellen noordoostelijk deel	29
4.2 DP voorstellen zuidoostelijk deel	36
5 Toepassingen van de sedimentstrategie	41
5.1 Argumentatie achter sedimentstrategie	41
5.1.1 Sedimentbalans randvoorwaarde voor ontwikkeling	41
5.1.2 Verschillende doelen, verschillende invulling van de strategie	41
5.1.3 Grote en kleine schaal verbinden	42
5.2 Sedimentstrategie op systeem schaal	43
5.3 Sedimentstrategie op lokale schaal	44
5.3.1 Inleiding	44
5.3.2 Suppleren	45
5.3.3 Zandwinnen	50
5.3.4 Sedimentatie en erosie beïnvloeden (biobouwers)	52
5.4 Ecologische optimalisatie bagger- en stortstrategieën	58
6 Conclusies: van mogelijke naar kansrijke opties	67
6.1 Sedimentstrategie: kansen, keuzes, kosten en baten	67
7.1 Effecten en kansen van sedimentstrategie voor ecologie en gebruik	68
7.2 Grote onzekerheden, werkend leren	71
8 Referenties	73

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Het Deltaprogramma|Zuidwestelijke Delta werkt aan een klimaatbestendig veilige, ecologisch veerkrachtige en economisch vitale delta. Dit volgt uit de opdracht van het deelprogramma: “Het op een zodanige wijze borgen van de lange termijn waterveiligheid/klimaatbestendigheid en het scheppen van de randvoorwaarden voor duurzame watervoorziening in Zuidwest Nederland, dat dit op een integrale wijze bijdraagt aan een economische en ecologische versterking van dit gebied”. Hiervoor voert het programma een lange termijnverkenning uit. Afgelopen jaar is in het kader van deze verkenning onderzocht welke mogelijke strategieën er zijn om de gevolgen van de verwachte en mogelijke klimaatverandering op waterveiligheid en zoetwater op te vangen (zie: Deltaprogramma|Zuidwestelijke Delta 2013; Mogelijke strategieën, juni 2012).

Op dit moment is er nog geen strategie verkend binnen het Deltaprogramma om distributieprocessen van sediment binnen de verschillende deelgebieden van de ZW Delta, en tussen de deelgebieden onderling, op doordachte wijze te beïnvloeden. Gezien de toekomst met doorgaande zeespiegelstijging is een verstandige sedimentstrategie van belang voor het duurzaam meegroeien van ons land met de zeespiegelstijging. Een sedimentstrategie kan een alternatieve of aanvullende strategie zijn, naast de optimalisatie van de huidige strategie die voornamelijk gebaseerd is op het sturen van waterstromen en waar nodig ons beschermen tegen hoogwater. Dit alternatief, met de werktitel ‘De Sedimentstrategie’, wordt op hoofdlijnen verkend binnen deze studie.

Veranderingen in de sedimenthuishouding beïnvloeden de abiotische randvoorwaarden (zoals (bodem)morfologie, doorzicht, productie etc.). Dit heeft weer gevolgen voor de planten en dieren die er leven en de natuurlijke productie. Daarom worden in deze studie ook ecologische effecten en gevolgen voor gebruiksfuncties (bv. schelpdierkweek en visserij) beschouwd.

1.2 Vraagstelling en opdracht

1. *Is het mogelijk om met sediment een strategie te formuleren voor de opgaven rond veiligheid in de ZW Delta (als alternatief en aanvulling op de huidige strategie)?*
2. *Wat zijn effecten en kansen van de huidige en mogelijke veiligheids- en sedimentstrategieën voor de ecologie en gebruiksfuncties in de passieve bekkens (noordelijke bekkens en Oosterschelde)?*

Deze vraagstellingen vormen de kern van een opdracht van het Ministerie van Economie, Landbouw en Innovatie, in het kader van de uitwerking Cluster 4 – BO offerte ZWD, aan het consortium bestaande uit Deltares, IMARES en Alterra.

Deltares is daarbij verantwoordelijk voor de beantwoording van vraag 1, IMARES en Alterra voor vraag 2.

1.3 Afbakening

Inhoudelijk beperkt de verkenning zich tot een bureaustudie gebaseerd op bestaande kennis. Haalbaarheid van een of meer theoretische mogelijkheden zal nader onderzoek vergen.

Geografisch concentreert de verkenning zich op die watersystemen van de ZW Delta welke, in tegenstelling tot de Westerschelde en Voordelta, geen actieve sedimentuitwisseling meer kennen tussen het bekken en de kust. Kunnen we de Westerschelde en Voordelta typeren als de “actieve delta”, dan richten wij ons primair op de “passieve delta”. Daarbij beschouwen wij de bekkens Haringvliet - Hollands Diep, Grevelingenmeer, Volkerak - Zoommeer en Oosterschelde ¹.

We volgen daarbij de tweedeling welke ook binnen het Deltaprogramma Zuidwestelijke Delta wordt gehanteerd; het noordoostelijke deel met Haringvliet - Hollands Diep, Grevelingenmeer, Volkerak – Zoommeer, en het zuidelijke deel met Oosterschelde, Westerschelde en Voordelta. Voor de Westerschelde is afgesproken dat een lange termijn strategie voor dit bekken altijd in samenspraak met Vlaanderen zal moeten worden geformuleerd. Dit is een apart traject en vormt geen onderdeel van de gepresenteerde verkenning. Wel wordt er kort melding gemaakt van de sedimentstrategie (bagger- en stortstrategie) welke voor de Westerschelde is ontwikkeld in het kader van de LTV studies.

Hoewel de sedimentstrategie ook zou kunnen worden toegepast op het binnendijks gebied van de eilanden, is dit in deze verkenning vooralsnog buiten beschouwing gelaten en wordt hier alleen kort op ingegaan bij de mogelijkheden voor biobouwers.

1.4 Rapport opzet

Zowel de morfologische aspecten van een sediment strategie, als de effecten daarvan op ecologie en gebruiksfuncties worden in het rapport integraal behandeld. Deltares neemt daarbij verantwoordelijkheid voor het eerste aspect, IMARES en Alterra voor het tweede.

De indeling van het rapport is als volgt:

H.2 Toelichting op kenmerken van een sedimentstrategie; motivatie en theoretische mogelijkheden

H.3 Invloeden van de bestaande veiligheidstrategie op de sedimenthuishouding, ecologische situatie en gebruiksfuncties

H.4 Mogelijke strategieën zoals voorgesteld in Deltaprogramma | Zuidwestelijke Delta 2013; Mogelijke strategieën (juni 2012) op de sedimenthuishouding, ecologische situatie en gebruiksfuncties.

H.5 Toepassingen van een sedimentstrategie

H.6 Conclusies

¹ Het Veerse Meer komt daarbij niet expliciet aan de orde. De ontwikkelingen en kansen voor de sedimentstrategie welke gelden voor Grevelingenmeer en Volkerak-Zoommeer, zijn vergelijkbaar van toepassing op het Veerse Meer.

2 Sedimentstrategie

2.1 Waarom de sedimentstrategie en wat is het?

ZW Delta: sedimentaire kust

De eigenschappen van een sedimentaire kust (en de waarden welke die kust kan vertegenwoordigen) worden in de eerste plaats bepaald door de aard en de hoeveelheid van het aanwezige sediment, en door de wijze waarop het is verdeeld in de ruimte en in de tijd.

De sedimenteigenschappen vormen een belangrijk kenmerk van de 'basislaag', welke de (lange termijn) randvoorwaarden bepaalt, niet alleen voor ecologische ontwikkelingen, maar ook voor ontwikkelingen in de 'netwerklaag' en de 'occupatielaag' en daarmee voor alle gebruiksfuncties.

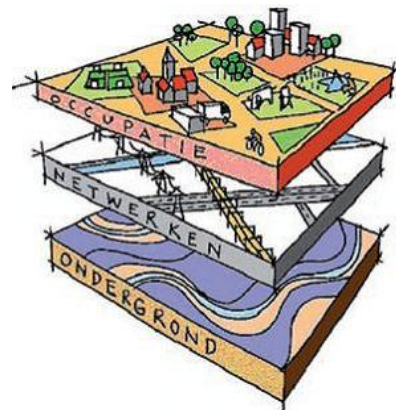


Fig. 2.1 Lagenbenadering (Nota Ruimte, 2006)

De sedimenteigenschappen staan voortdurend bloot aan verandering onder invloed van externe krachten (gravitatie, bodemdaling, zeespiegelstijging, getij, golven, rivierstromingen, wind, etc.) en door interne terugkoppelingen. Dynamiek is een tweede hoofdkenmerk van sedimentaire kusten.

Door deze dynamiek wijzigen ook de waarden welke de kust voor de mens vertegenwoordigt. Soms in gunstige zin, soms in ongunstige zin. Maar steeds hangt deze waardeverandering samen met een wijziging in de aard of de hoeveelheid van het sediment dat zich op een bepaald moment op een bepaalde plek bevindt.

Sedimentbeheer

Sedimentbeheer heeft als doel om gewenst behoud of verandering van waarden te stimuleren, dan wel ongewenste waardenverandering tegen te gaan, door optimaal in te spelen op / gebruik te maken van de sedimentdynamiek; bijvoorbeeld door gerichte baggeren en suppletiewerkzaamheden en door het stimuleren van aanslibben van voorland / intergetijdengebied.

Sedimentbeheer richt zich op het beheersen van de voorraad (*de kwantiteit*) en op de verdeling in tijd en ruimte van het sediment (*de kwaliteit*, bepalend voor de waarde van het sediment voor verschillende functies)).

Sedimentstrategie

Wij willen verkennen welke doelen (effecten) zijn te bereiken, door te gaan redeneren vanuit de sedimenthuishouding (sedimentperspectief). Onder de sedimentstrategie verstaan wij dan:

gericht beïnvloeden van de sedimenthuishouding, met het oog op het bereiken van een of meer (beleids)doelen.

Het stimuleren van sedimentverplaatsingen (door actief in te grijpen in het hydrodynamische systeem), dan wel zelf actief sediment verplaatsen (door m.n. zandwinning en suppletie en soms ook kleiwinning en suppletie), vormen de belangrijkste beheermaatregelen. Belangrijk zijn de keuzes voor de lokaties waar sediment wordt gewonnen en neergelegd, voor het tijdstip en de frequentie waarmee dat gebeurt en voor de hoeveelheden en de samenstelling (klei, zand, grind) van het materiaal.

Een sedimentstrategie richt zich op het herstellen en/of handhaven van de balans tussen vraag en aanbod van sediment. Deze balans is immers de basis voor de lange termijn ontwikkeling van de kustzone. Omdat deze balans voortdurend aan verstoring onderhevig is (denk aan de voortdurende, en veranderende stijging van de zeespiegel), vraagt het handhaven van deze balans een blijvende, steeds terugkerende actie.

2.2 Uitbreiding adaptatieopties

Door de problematiek te benaderen vanuit het sediment-perspectief en door het verkennen van de sediment-strategie, kan het aantal opties voor adaptatie aan klimaatveranderingen en andere (maatschappelijke) ontwikkelingen, worden uitgebreid.

Zoals aangegeven in Mulder et al. (2010), is in de huidige strategie het water-perspectief dominant; d.w.z. primair gericht op het beheersen van waterproblemen. De bijbehorende beheermaatregelen “temmen” het water (middels dammen, dijken, sluzen etc.). De maatregelen hebben echter ook effecten op de sedimenthuishouding. Omdat deze morfologische effecten zich veelal pas na langere tijd (op een grotere schaal) manifesteren, worden ze bij het ontwerp van maatregelen, nogal eens genegeerd of slechts beschouwd als nevenverschijnsel.

De sediment-strategie draait de zaak om:

de sediment-strategie neemt ontwikkelingen in de sedimenthuishouding als uitgangspunt voor duurzame inrichting.

Daarmee voegt het iets toe aan de mogelijke opties vanuit het water-perspectief.

2.3 Ontwikkelingen in sedimenthuishouding als uitgangspunt

Ontwikkelingen in de sedimenthuishouding worden gestuurd door veranderingen in vraag en aanbod van sediment. Deze worden bepaald door externe factoren zoals klimaatverandering en zeespiegelstijging, en door de gekozen beheersstrategie.

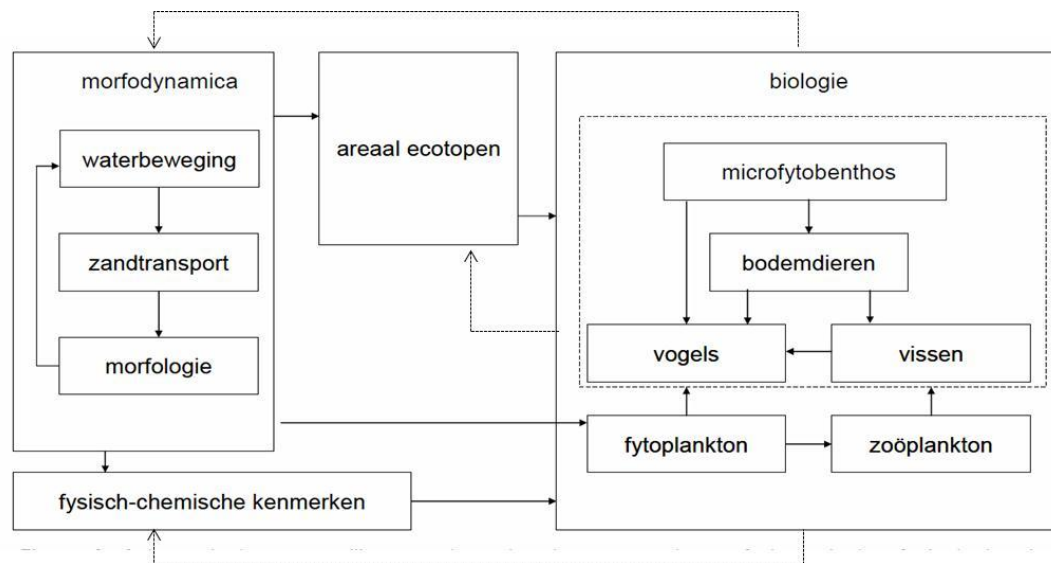
Alvorens de sedimentstrategie voor de ZW Delta te kunnen ontwikkelen (H.5), brengen we allereerst in beeld welke ontwikkelingen het gevolg zijn van de huidige strategie voor veiligheid, zoetwatervoorziening en ecologie (H. 3), en welke van de mogelijke voorgesteld door het DP in (Deltaprogramma Zuidwestelijkde Delta, 2013) (H.4).

Naast op morfologische ontwikkelingen, richten wij ons daarbij ook op ecologische ontwikkelingen. Gezamenlijk moeten deze de argumenten leveren voor een optimale sedimentstrategie, in aanvulling op huidige beheersstrategieën (H.5).

2.4 Relatie sedimenthuishouding en ecologie en gebruik

Ecologie

Sedimenthuishouding in de ZW Delta heeft een nauwe relatie met de ecologie van de watersystemen, omdat deze belangrijke abiotische en fysieke randvoorwaarden bepaalt. Anderzijds beïnvloeden ecologische processen ook weer de morfologie, bijvoorbeeld door schor vegetatie die sediment invangt en de bodem stabiliseert. Figuur 2.2 geeft op hoofdlijnen de relatie weer tussen sedimentdynamiek en flora en fauna en de relatie met ecotopen.



Figuur 2.2 Schematische voorstelling van de verbanden tussen morfodynamische, fysisch-chemische en biologische kenmerken gebaseerd op Wetsteyn et al. (2007) en Craeymeersch (2008).

Ecotopen zijn ruimtelijk te begrenzen ecologische eenheden (bijvoorbeeld zandplaat, schor etc.), waarvan de samenstelling en ontwikkeling worden bepaald door abiotische en biotische condities ter plaatse. Ecotopen vormen als het ware de schakel tussen fysieke en biologische processen, omdat deze immers de leefgebieden vormen van levensgemeenschappen met organismen met min of meer dezelfde habitateisen (Craeymeersch, De Mesel et al. 2008). Zo is de sedimenthuishouding van invloed op de erosie- en sedimentatiepatronen die de vorming van slikken/platen en schorren bepalen en de vorming van ecotopen kan beïnvloeden. Sedimentstrategieën, zoals bijvoorbeeld suppleren gericht op het tegengaan van de daling van platen in de Oosterschelde, kan enerzijds een negatief effect hebben op de korte termijn op het bodemleven doordat deze met een laag sediment bedolven wordt, maar kan anderzijds door plaatbehoud op de langere termijn, positieve effecten hebben op het beschikbare foerageer- en rusthabitat voor vogels en zeezoogdieren. Daarnaast kan een verandering in sedimenthuishouding ook invloed hebben op conditionerende factoren zoals bijvoorbeeld de troebelheid van het water wat bepalend is voor de primaire productie, en de daaraan gerelateerde hogere trofische niveaus in de voedselketen. Hierbij is het van belang te realiseren dat (in)directe ecologische effecten gerelateerd aan de sedimenthuishouding divers van aard zijn en plaats kunnen vinden op verschillende schaal niveaus; van directe waarneembare gevolgen op lokale schaal tot verschuivingen in complexe dynamische processen op ecosysteemsysteem niveau. Doordat

veranderingen in sedimenthuishouding invloed kan hebben op de flora en fauna in de bekkens kan dit ook gevolgen hebben voor commerciële schelpdierkweek en visserij.

Zoals eerder gezegd ligt de focus in deze studie op het beschouwen van de ontwikkeling van de ZW Delta vanuit een sedimentperspectief en niet vanuit het traditionele waterperspectief met aanleg van dammen en dijken. Daarom wordt in deze studie steeds de vraag gesteld:

Wat verandert er in de sedimenthuishouding en wat betekent dit voor de ecologie en de gebruiksfuncties van schelpdierkweek, commerciële visserij, recreatie en scheepvaart?

Hierbij wordt dus niet uitgebreid ingegaan op andere effecten van de waterbeheersing zoals de effecten van waterberging of gedempt getij, maar worden deze slechts op hoofdlijnen benoemd. Naast het beschrijven van de veranderingen wordt ook ingegaan op optimalisatie van sedimentbeheer vanuit het perspectief van ecologie en gebruik (zie Hoofdstuk 5), waarbij onder andere ingegaan wordt op de kansen van biobouwers in de koppeling tussen natuur, aquacultuur, kustverdediging en sedimentbeheer.

Recreatie en toerisme

Belangrijke aspecten die spelen rond recreatie en toerisme zijn:

- Belevingswaarde: deze is over het algemeen gesproken hoger voor zoet-zout overgangen dan voor zoet gedomineerde wateren.
- Waterkwaliteit: getijdenherstel kan een positief effect hebben op de problematiek rond zuurstofloosheid in stagnante wateren of algenbloei in vermeste wateren
- Recreatieve infrastructuur: daarbij kan men denken aan jachthavens welke niet zijn ingesteld op een fluctuerend waterpeil, maar ook aan fiets- en wandelroutes die kunnen worden aangelegd bij aanpak van de dijken. Direct contact met water wordt over het algemeen hoog gewaardeerd.

Daarnaast is van belang onderscheid te maken naar dagrecreatie (bijv. wandelen, fietsen), watersport (bijv. zeilen, duiken) en verblijfsrecreatie (bijv. campings en bungalow parken). De gebruiks- en belevingswaarden zijn verschillend voor deze vormen van recreatie. Het voorkomen van deze recreatie-groepen verschilt ook per waterbekken in de Delta. Daarmee hangt erg van de locatie af wat de effecten van ingrepen zijn voor recreatie. Zo kan het vernatten van oevers / peilverandering op de ene plek geen problemen opleveren, terwijl elders recreatie terreinen drassig worden.

Tenslotte is er toenemend interesse voor het vermarkten van / adverteren met lokale producten. Maatregelen die bijdragen aan bijv. oesterriffen zijn wat dat betreft erg interessant. Ook nieuwe experimenten als een duurzame jachthaven krijgen veel aandacht en zouden binnen strategie kunnen passen.

3 Invloeden huidige veiligheidstrategie

3.1 Huidige strategie noordoostelijk deel

Deltaprogramma | Zuidwestelijke Delta 2013; Mogelijke strategieën (2012) stelt over de huidige strategie voor het noordoostelijke deel (Haringvliet- Hollandsch Diep, Volkerak-Zoommeer en Grevelingenmeer):

“De huidige strategie voor het noordelijk deel van de Zuidwestelijke Delta bestaat uit een combinatie van het op orde houden van dijken, handhaven van kustlijnverkorting (Haringvliet, Brouwersdam), compartimenteringsdammen (Grevelingendam, Philipsdam en Volkerakdam) en waterberging op het Volkerak-Zoommeer.”

Op grote schaal gezien, heeft de huidige veiligheidstrategie ingrijpende gevolgen voor de sedimenthuishouding van het gebied. Het stelsel van dammen en dijken heeft de uitwisseling van water tussen de verschillende deelgebieden onmogelijk gemaakt (bekkens – eilanden), of zeer sterk beperkt (bekkens onderling, en bekkens – Voordelta). Daarmee is echter ook de uitwisseling van sediment onmogelijk geworden; het spel van vraag en aanbod van sediment is verstoord. Omdat vraag en aanbod van sediment bepalend zijn voor de morfologische ontwikkeling op langere termijn, heeft dit gevolgen.

Hoe die gevolgen uitwerken is per deelgebied verschillend. Om daar iets meer over te kunnen zeggen, onderscheiden we drie factoren:

1. de waterdiepte of het watervolume, bepalend voor de (initiële) bergingsruimte voor sediment ofwel de sedimentvraag;
2. de beschikbaarheid van sedimentbronnen (intern en extern), bepalend voor het (initiële) sedimentaanbod;
3. de transportcapaciteit ofwel de aanwezige hydrodynamische energie, bepalend voor het transport van sediment.

Fysisch gezien hebben deze gebieden een systeemverandering ondergaan door het wegvallen van het estuariene karakter. Dit ging gepaard met het grotendeels stilvallen van de natuurlijke opbouw van voorlanden en platen door sedimentatie en schorontwikkeling. Als gevolg hiervan is het ecologisch systeem geheel omgeslagen. Door het wegvallen van het getij hebben de voormalige platen zich ontwikkeld tot permanent droogliggende eilanden. Het water is min of meer stagnant geworden en vaak van zout/brak naar zoet gegaan. De bekkens zijn nog steeds niet uitontwikkeld na de ingreep van de Deltawerken.

3.1.1 Invloeden huidige veiligheidstrategie Haringvliet en Hollandsch Diep

Ontwikkelingen in sedimenthuishouding

Door aanleg van de Haringvlietdam is voor de bekkens van Haringvliet – Hollandsch Diep, het sedimentaanbod vanuit zee afgesneden. Het totale sedimentaanbod is afgenomen en beperkt zich tot hetgeen door de rivieren wordt aangevoerd. Ook de hydrodynamische energie in het systeem is afgenomen. Het getijverschil bedraagt nog slechts 20 cm, en is te danken aan de open verbinding met de Nieuwe Waterweg via het Spui en Dordtse Kil. De teruggang in hydrodynamische energie blijkt verder uit de afname van het getijvolume door de mond van het Haringvliet. Het gemiddelde spuidebiet bedraagt nog slechts 3%, extreme spuidebieten slechts zo'n 30%, van het getijvolume van voorheen (MER, 1998). De geulen vervoeren dus in de extreme situatie, 70% minder water dan voor afsluiting; ze zitten te ruim

in hun jasje. Gekwantificeerd komt dat neer op een sedimenthonger in beide bekkens van zo'n 750 miljoen m³.

Tegenover deze grote interne sedimentvraag staat slechts een gering extern sedimentaanbod. Ten Brinke (2004) schat de import vanuit de rivieren op gemiddeld zo'n 1 miljoen m³ slib en 0,3 miljoen m³ zand. Door de afsluiting is een groot verschil ontstaan tussen vraag en aanbod van sediment. Bij gebrek aan een extern aanbod, worden interne bronnen belangrijk. Dat verklaart de erosie van de aanwezige slikken en ondiepe vooroevers, welke inmiddels wordt tegengegaan door oeververdediging op de ondiepe vooroevers. Dat speelt vooral in het Haringvliet omdat daar het externe sedimentaanbod vrijwel nul is. Het door de rivier aangevoerde sediment wordt vooral afgezet in het Hollandsch Diep (Ten Brinke, 2004); door het wegvallen van de getijdynamiek is de verspreiding van het riviersediment ruimtelijk beperkt.

De Haringvlietsluizen spuien rivierwater bij eb, onder vrij verval. Om dat te kunnen blijven doen bij een verdere zeespiegelstijging, zal op een bepaald moment het waterpeil op Haringvliet – Hollandsch Diep, moeten meestijgen. Op dat moment zal, schoksgewijs, de bergingsruimte voor sediment (de sedimentvraag) in de bekkens toenemen met het gestegen waterpeil. Hoe groot die toename is, zal afhangen van het tijdstip en van de periode die is verstreken sinds de vaststelling van het huidige waterpeil. Uitgaande van een zeespiegelstijging van 2 mm/jaar, bedraagt de passieve toename van de sedimentvraag in Haringvliet – Hollandsch Diep 440.000 m³ /jaar. Sinds 1970 is dan al een passieve sedimentvraag opgebouwd van 18 Mm³ (tabel 3.2).

Huidige ecologische situaties en effecten

Het Haringvliet en Hollandsch Diep zijn na afsluiting door de Haringvlietdam snel verzoet en de platen en oevers zijn grotendeels drooggevallen door reductie van het getij. Vanuit veranderingen in sedimenthuishouding zijn met name de oeverzones en eilanden van belang. De kenmerkende vegetatie van wilgenvloedbossen, brakke riet en biezenkorzen en slikken van voor de aanleg van de Haringvlietdam heeft plaatsgemaakt voor graslanden, grasgorzen, rietruigten en wilgenstruwelen (Rijkswaterstaat 2011) en door het beetje aanwezige getij zijn er nog slechts beperkte slikkige delen langs de oevers. De grasgorzen zijn met name van belang voor ganzen zoals Kolgans, Grauwegans en Brandgans als foerageer en rustplaats en daarnaast komen er ook veel eendensoorten voor in het gebied (Rijkswaterstaat 2011). Om het afkalven van de oevers van de buitendijkse gebieden te voorkomen is een groot deel van de oeverzone versterkt met stort- en zetsteen en zijn op meerdere plaatsen vooroeververdedigingen van stortsteen aangebracht (Rijkswaterstaat 2011). In juni 2011 heeft het kabinet besloten tot het op een kier zetten van de Haringvlietsluizen omdat het bekken een belangrijke migratieroute is voor trekvis (Hop en Vriese 2011). Hierdoor ontstaat er ook een geringe zoutinvloed bij de monding. Op de bodem van voornamelijk het Hollandsch Diep is een met zware metalen vervuilde sliblaag aanwezig die een erfenis is van de vervuiling van de rivieren in de jaren '70. Deze sliblaag is wel afgedekt door een schonere sliblaag uit de latere jaren.

Ecologisch perspectief in relatie tot sediment bij het voortzetten van de huidige veiligheidsstrategie:

- De oeververdedigingen beperken erosie van oevers in beide bekkens.
- Rivierwater wordt onder vrij verval via de Haringvlietsluizen op de Noordzee gespuid waardoor het waterpeil zal moeten meestijgen met de zeespiegelstijging. De aanvoer van riviersediment is niet zodanig dat de oevers en eilanden kunnen meestijgen met de zeespiegelstijging. De verwachting is dat sommige vegetatietypen kunnen "meestijgen" met het waterpeil en andere verloren gaan zoals ook voor het Grevelingenmeer is voorspeld (Van den Haterd, Lengkeek et al.) Doordat de

oeververdedigingen niet meer op de juiste plaats liggen zal dit echter ook leiden tot oevererosie en verlies van oeverhabitat. Tenzij de verdedigingen “meegroeien” met de peilstijging.

- Bij handhaven dammen en waterpeilen weinig verandering in ecologische situatie. Het inwerking stellen van het Kierbesluit (dit is een watermaatregel) zal echter zorgen voor meer dynamiek en zoutinvloed die tot Middelharnis kan reiken (Van der Hoog 2007) maar weinig effect hebben op sediment(transport). Door het brak worden van het westelijke deel van het Haringvliet zal de zoetwater flora en fauna plaats zal maken voor meer estuariene soorten zowel in het water als in de oeverzone.

Huidig gebruik en effecten

Aquacultuur en visserij

In de zoete wateren van het Haringvliet en Hollandsch-Diep wordt slechts kleinschalige visserij bedreven met fuiken die grotendeels benut worden voor wolhandkrabvisserij, welke voornamelijk geëxporteerd worden. In het verleden was dit gebied belangrijk voor de Palingvisserij, maar door verontreiniging (van der Lee et al. 2009) is de visserij in deze wateren tegenwoordig verboden. Tabel 3.1 geeft een overzicht van de verschillende gebruiksvormen voor aquacultuur en visserij in de Noordelijke bekkens. Het voortzetten van de huidige strategie zal weinig effect hebben op de visserij. Uitvoering van het Kierbesluit kan mogelijk effecten hebben op de visserij in het westelijk deel door toenemende zoutwaterinvloed.

Tabel 3.1

Overzicht van de gebruiksfuncties aquacultuur en visserij in onderscheiden bekkens

Gebied	Specifieke gebruiksfunctie
<i>Noordelijk deel</i>	
Haringvliet- Hollandsch Diep	Wolhandkrab visserij
Volkerak-Zoommeer	Fuikervisserij
Grevelingenmeer	Bodemcultuur platte oesters Bodemcultuur Japanse oesters Visserij Japanse oesters Visserij Kreeften Visserij Paling
<i>Zuidelijke deel</i>	
Oosterschelde	Bodemcultuur mosselen Hangcultuur mosselen MZI mosselen Bodemcultuur Japanse oesters Visserij Japanse oesters Mechanische kokkelvisserij Handmatige kokkelvisserij Mechanische Pierenvisserij Handmatige pierenvisserij Kreeftenvisserij Krabbervisserij Weervisserij Ansjovis Staand want visserij Zegervisserij (harder/zeebaars) Boomkorvisserij (tong/garnalen) Kweek zeewier (experimenteel) Kweek zilte groenten Kweek tapijtschelpen (binnendijs) maar mogelijk ook buitendijs (Handmatig rapen van schelpdieren)

Recreatie

Het Haringvliet is een omvangrijk recreatiegebied van ca. 7300 ha, waarvan ca. 6000 ha bevaarbaar is (> 1m diep). De watersport wordt gedomineerd door zeiljachten. Kleine watersport komt minder voor op het Haringvliet, met uitzondering van het open water voor de kust van Hellevoetsluis. Dit is meteen ook de belangrijkste (historische) bestemming in het Haringvliet. Andere jachthavens zijn Stellendam, Middelharnis, Stad aan het Haringvliet, Den Bommel, De Put en Hiterse Kade.

De oevers zijn minder goed toegankelijk voor watersporters. Er wordt veel gebruik gemaakt van ankerboeien (Waterrecreatieadvies, 2004). Voor oeverrecreatie zijn er hier en daar zwemstrandjes en natuur wandelroutes zoals op de slikken en gorzen. Noemenswaard is ook de natuurgerichte recreatie zoals die momenteel door Natuurmonumenten wordt ontwikkeld op het eiland Tiengemeten.

Het Hollands Diep is een breed vaarwater tussen de Dordtse Kil / Amer en de Volkeraksluizen / Haringvlietbrug. Van het totaaloppervlak van ca. 4000 ha is ca. 2500 ha bevaarbaar (> 1 m diep). Het Hollands Diep is onderdeel van de Schelde-Rijn verbinding en heeft een belangrijke doorvaartfunctie voor de beroepsvaart (Waterrecreatieadvies, 2004). Die functie is er ook voor de recreatievaart, want het gebied is onderdeel van de Staande Mastroute van Noord-Nederland naar de Deltawateren of het Groene Hart (Stichting Recreatietoervaart Nederland, 2012).

De drukke beroepsvaart beperkt de waterrecreatiemogelijkheden op het Hollands Diep en er is een vaarverbod ten zuiden van het eiland Sassenplaat. Desalniettemin zijn er belangrijke bestemmingen zoals het historische Willemstad, maar ook de jachthavens van Numansdorp, Strijensas, Klundert en Noordschans (Waterrecreatieadvies, 2004).

Scheepvaart

Het Haringvliet is van beperkte betekenis voor de beroepsscheepvaart. In het kader van de Deltawerken is het Haringvliet door de Haringvlietdam van zee afgesloten. Voor de scheepvaart is bij de dam de Goereese sluis aangelegd. Het beheer van de Haringvlietssluis heeft invloed op de waterbeweging en de zoetwaterhuishouding in het gehele benedenrivierengebied en is daarmee van direct belang voor de scheepvaart. Het Hollandsch Diep is een belangrijke scheepvaartverbinding, onderdeel van de Schelde-Rijn verbinding (zie ook 3.1.2).

3.1.2 Invloeden huidige veiligheidstrategie Grevelingen- en Volkerak-Zoommeer

Ontwikkelingen in sedimenthuishouding

Voor het Grevelingenmeer en het Volkerak-Zoommeer geldt dat de dammen en dijken de sedimentuitwisseling met Voordelta en andere bekkens onmogelijk hebben gemaakt. Het sedimentaanbod is beperkt tot de interne bronnen (aanwezige platen en oevers). Daar staat tegenover dat door het wegvallen van het getij de bestaande geulen geen functie meer hebben. Je zou kunnen zeggen dat door de 100% reductie in het getijvolume, de geulen 100% te ruim zijn. Het geulvolume bepaalt feitelijk de interne bergingsruimte voor sediment. De omvang van die bergingsruimte (de interne zandhonger, ontstaan door de afsluiting) kan voor het Grevelingenmeer worden becijferd op 600 Mm³, en voor het Volkerak- Zoommeer op 300 Mm³.

De veranderde verhoudingen leiden tot erosie van platen en oevers. Om deze tegen te gaan zijn op een groot aantal plaatsen de platen en oevers beschermd met directe en indirecte oeverbeschermingen.

De harde afscheiding van Grevelingenmeer en Volkerak-Zoommeer van de zee, vrijwaart het gebied van een stijgend waterniveau als gevolg van een stijgende zeespiegel. Echter, het ontbreken van elke sedimentaanvoer naar deze bekkens van buitenaf, heeft ook als gevolg dat meegroeien van de bodem met een stijgende zeespiegel, onmogelijk is. Daardoor ontstaat binnen de bekkens een passieve extra bergingsruimte voor sediment (passieve extra sedimentvraag), die evenredig is aan de optredende zeespiegelstijging vermenigvuldigd met de oppervlakte (Tabel 3.2). Deze passieve sedimentvraag groeit voortdurend en wordt omgezet in een reële, actieve sedimentvraag, op het moment dat besloten zou worden de peilen van Grevelingenmeer en Volkerak- Zoommeer te laten meegroeien met de zeespiegel (zie ook 4.1).

Bij een eventueel besluit over een aangepast waterpeil spelen vele afwegingen een rol; uit een oogpunt van duurzaamheid echter, verdienen daarbij de effecten van een abrupte toename van de actieve sedimentvraag binnen het bekken, bijzondere aandacht.

Tabel 3.2 *Passieve sedimentvraag in het Noordoostelijke deel van de Zw Delta*

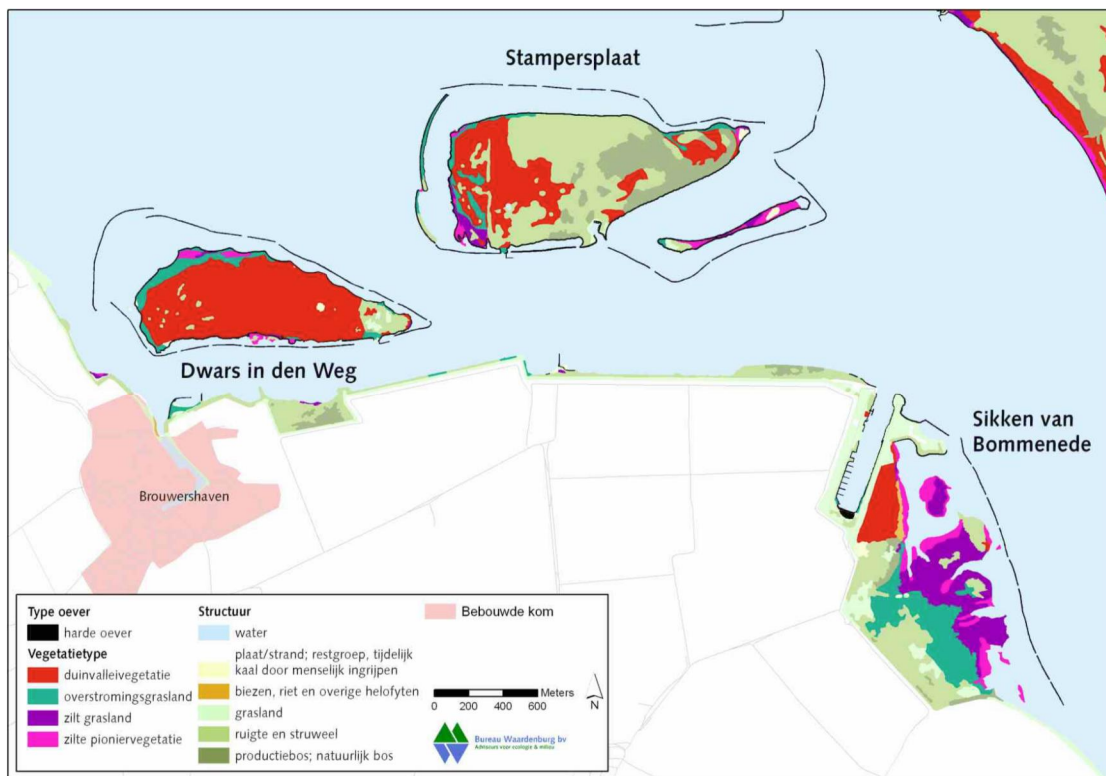
Passieve sedimentvraag	Toename bij huidige zss (2 mm/jr)	Gesommeerd over 1970 - 2011
	Mm^3 /jaar	Mm^3
Grevelingenmeer	0,22	9
Volkerak – Zoommeer	0,17	7
Haringvliet – Hollandsch Diep	0,44	18

Huidige ecologische situatie en effecten

Grevelingenmeer

In het Grevelingenmeer zijn met name de oeverzones en eilanden van ecologisch belang en relevant in relatie tot veranderingen in sedimenthuishouding. De kale onbegroeide oeverzones zijn een belangrijk habitat voor kustbroedvogels voor soorten als Kluut, Strandplevier en Bontbekplevier. Grondbroeders vinden hier geschikte kale delen, waar deze in zoete wateren sneller overgroeid zouden raken door vegetatiesuccesie (Strucker, Hoekstein et al. 2005). De eilanden en oevers zijn begroeid met duindoornstruweel en wilgenbos en langs de oeverzones zijn plantensoorten van vochtige duinvalleien te vinden waaronder een aantal (zeldzame) orchideeën soorten. Door van de Haterd et al. (2010) wordt onderscheid gemaakt tussen zilte pioniers (zeer open vegetaties met zouttolerante planten zoals Zeekraal en Melkkruid), zilt grasland (min of meer gesloten graslanden met zouttolerante grassen zoals Kweldergras en Zilte rus), overstromingsgrasland (min of meer gesloten grasland met soorten van zoet of brak milieu zoals Fioringras, Zilte zegge en Aardbeiklaver) en duinvalleivegetaties (meestal vrij open en kruidenrijke vegetaties met soorten zoals Parnassia, Rietorchis, Vleeskleurige orchis, Dwergzegge en Moeraswespenorchis). Figuur 3.1 geeft een voorbeeld van de verdeling van deze vegetatietypen op de Stampersplaat, Dwars in den Weg en de Slikken van Bommenede.

Voor wat betreft bodemdieren komen er soorten van hard en zacht substraat voor in het Grevelingenmeer. In de periode 1990-2000 zijn er aanzienlijke verschuivingen opgetreden in dichtheden en biomassa van een groot aantal macrobenthos soorten, waarbij soorten van commercieel belang zoals de mossel, oester en kokkel lijken te verdwijnen en de dichtheid aan wormen gestaag is toegenomen (Schaub et al 2002).



Figuur 3.1 Verdeling van vegetatietypen in een deel van het Grevelingenmeer (Van den Haterd, Lengkeek et al. 2010)

Er zijn sinds 2001 geen uitgebreide opnames van bodemdieren meer geanalyseerd in het Grevelingenmeer waardoor het moeilijk is een gedetailleerd overzicht van de dominante soorten en trends te geven. De bedekking met Japanse oesters is toegenomen en ze hebben zich ook buiten de kweekpercelen, sterk uitgebreid met name op de dijkbegroeiingen en golfbrekers en stranden (Wijsman, Perdon et al. 2010). Zuurstofloosheid op de bodem als gevolg van stratificatie (Wijsman 2002)) zorgt ervoor dat in diepere delen het bodem leven afsterft, enkel grondels en strandkrabben (mobiele soorten) worden hier waargenomen (Lengkeek, Bouma et al. 2007). Dit probleem speelt met name in de zomer doordat de onderste koude waterlaag niet goed meer mengt en organisch materiaal wat hier neerdaalt gaat rotten en zorgt voor zuurstofdeficiëntie.

Volkerak-Zoommeer

Het Volkerak-Zoommeer is na de aanleg van de Deltawerken door aanvoer van zoetwater vanuit Brabantse rivieren, afwatering vanuit Flakkee en inlaat van Hollands Diep water, relatief snel verzoet. Vanuit veranderingen in sedimenthuishouding zijn met name de eilanden en oeverzones van belang. Kale en schaars begroeide gronden zijn van belang als broedlocatie voor Kluut en Bontbekplevier en ook als foerageer en rustgebied (Projectbureau Waterberging Volkerak-Zoommeer 2010). Voorheen broedden veel grondbroeders op recent opgespoten eilandjes. Echter, inmiddels zijn deze vrijwel ongeschikt door voortschrijdende vegetatie-succesie (Projectbureau Waterberging Volkerak-Zoommeer 2010). De eilanden en oevers zijn begroeid met ruigten en riet en op sommige plaatsen zilte pionier begroeiingen zoals zeekraal door nalevering van zout vanuit de bodem.

Door de aanleg van de compartimenteringswerken zijn zowel het Grevelingenmeer als Volkerak-Zoommeer gevrijwaard van sedimentatie van vervuild slib vanuit de rivieren in de jaren '70.

Ecologisch perspectief in relatie tot sediment bij het voortzetten van de huidige veiligheidsstrategie:

- Bij handhaven dammen en waterpeilen is er weinig verandering in de sedimenthuishouding en de ecologische situatie.
- Waterberging op het Volkerak-Zoommeer is een watermaatregel die slechts geringe invloed heeft op de sedimenthuishouding. Deze maatregel zal, afhankelijk van de duur en frequentie, gevolgen hebben voor het systeem door een tijdelijke verhoging van het waterpeil. Gevolgen van zoetwaterberging in een zout systeem zijn groter dan in een zoet systeem waardoor dit een groter effect zal hebben in het Grevelingenmeer in vergelijking met het Volkerak-Zoommeer (Projectbureau Waterberging Volkerak-Zoommeer 2010). Omdat waterberging echter zéér incidenteel zal voorkomen (1/1400 jaar tot 2050 en 1/230 jaar in de opvolgende jaren; (Rijkswaterstaat 2009)) zullen de effecten niet structureel van aard zijn vanwege de ruime hersteltijd in het systeem.
- Handhaven van een vast waterpeil is ook een watermaatregel. Beperkte verversingsmogelijkheden (zonder pompcapaciteit te moeten inzetten) leidt mogelijk tot een verslechtering van de waterkwaliteit in het Grevelingenmeer en Volkerak-Zoommeer door stratificatie en lange verblijftijden van het water.

Huidig gebruik en effecten

Aquacultuur en visserij

Het Grevelingenmeer is momenteel primair een oesterkweekgebied, en daarnaast wordt er gevist op Kreeft en Paling (Tabel 3.1). Er worden niet alleen Japanse oesters (*Crassostrea gigas*) maar op beperkte schaal ook Platte oesters (*Ostrea edulis*) gekweekt. Deze laatste soort is sinds de jaren '60 door strenge winters, overbevissing en de ziekte *Bonamia* vrijwel verdwenen uit de Delta. De Platte oester wordt door consumenten veel hoger gewaardeerd dan de Japanse oester en brengt per kilo vele malen meer op. Omdat het Grevelingenmeer de enige locatie is waar de Platte oester succesvol gekweekt wordt, is dit binnenwater voor de Zeeuwse oestersector van groot belang. Door het mogelijke meestijgen van het waterpeil met de zeespiegelstijging kan in potentie het kweekareaal van de oesters vergroot worden omdat er een groter gebied onder de waterlijn komt te liggen. Het toegestane kweekareaal wordt gereguleerd door middel van vergunningen die gekoppeld zijn aan specifieke kweekpercelen. De kweek van oesters is echter niet alleen afhankelijk van het potentieel aan kweekareaal, maar ook van het voedselaanbod, draagkracht en waterkwaliteit. Als gevolg van zuurstofarme condities trad er de afgelopen jaren regelmatig sterfte op onder oesters op de commerciële oesterpercelen.

Voortzetting van de huidige strategie waarbij dammen en waterpeilen worden gehandhaafd, zal weinig verandering tot gevolg hebben voor schelpdierkweek en visvangst. Echter de beperkte verversingsmogelijkheden kunnen mogelijk leiden tot een verdere verslechtering van de waterkwaliteit. Dit zal een negatief effect hebben op de schelpdierkweek als gevolg van zuurstofloosheid op de bodem.

Momenteel is het (zoete) Volkerak-Zoommeer niet in gebruik door de schelpdierkweek en vindt er kleinschalige visserij met fuiken plaats. De visstand in het Volkerak Zoommeer is te typeren als brasem/snoekbaars gezien de vangsten van de vissers (Schneider et al., 2006). Daarnaast zijn er interessante vissoorten zonder directe economische maar wel met ecologische waarde, zoals de beschermde zeeprink, rivierprink en de rivierdonderpad (Rutjes et al., 2002). Het voortzetten van de huidige strategie zal naar verwachting weinig effect hebben op deze gebruiksfuncties.

Recreatie

Na aanleg van de Brouwersdam is de Grevelingen geworden tot het grootste en helderste zoutwatermeer van Europa. Van de ca. 11.000 ha is ca. 7000 bevaarbaar (betonning op 1.5 m dieptelijn). Recreatie is er vooral in het oosten en westen met jachthavens zoals Bruinisse, Herkingen, Battenoord, Port Zelande, Brouwershaven, Den Osse, Scharendijke en Ouddorp. Ook zijn er twee waterskibanen en een baan voor jetski's. De Grevelingen is voorts jaarrond van belang voor de duiksport. Zo is de Grevelingen een uitwijkmogelijkheid voor duikers die a.g.v. harde ZW-wind niet in de Oosterschelde terecht kunnen.

Het Volkerak-Zoommeer heeft een oppervlak van ca. 7500 ha. De recreatiebetonning is uitgelegd op de 1.5 m dieptelijn. Het Volkerak is onderdeel van de Staande Mast route die loopt van Noord-Nederland naar de Deltawateren en het Groene Hart (Stichting Recreatietoervaart Nederland, 2012). In het Volkerak zijn een tiental jachthavens waaronder Dintelsas, Ooltgensplaat en Oude Tonge. Als onderdeel van de Schelde-Rijnverbinding is vooral het Volkerak druk met beroepsvaart. Voor het Zoommeer geldt dit minder. Het Zoommeer is naast zeilen en motorboot varen ook geschikt voor surfen, kanoën en sportvissen. Op de slikken vindt natuurgerichte oeverrecreatie plaats. Voor zwemmen is het Volkerak minder geschikt, vanwege de blauwalg. Het meer vertoont 's zomers vaak het aanblik van een 'groene soep'. Dit gaat ten koste van de belevingswaarde van het gebied voor recreatie en toerisme.

Scheepvaart

Het Volkerak-Zoommeer is een belangrijke scheepvaartverbinding, onderdeel van de doorgaande getijvrije scheepvaartroute Schelde-Rijnverbinding (tussen de haven van Antwerpen en het Rijnmondgebied/Moerdijk). Deze snelle en veilige scheepvaartverbinding werd mogelijk met de aanleg van de Deltawerken. Voorheen liep de route voornamelijk door een getijdengebied van open water. Nu kunnen binnenvaartschepen via de Krammersluizen, de Volkeraksluizen en de Kreekraksluizen de deltaxwateren op. Bij de Krammersluizen in de Philipsdam wordt de recreatievaart gescheiden van de beroepsvaart door een speciale sluis. Het goederenvervoer over water heeft een duidelijke groei ambitie zowel in toegevoegde waarde als in volume. De toename in het vervoerd volume via de vaarwegen leidt enerzijds tot meer binnenvaartbewegingen (vooral in de containervaart) en wordt anderzijds deels opgevangen door de schaalvergroting in de binnenvaart. De druk op de capaciteit van de sluisen in Zeeland zal toenemen door het extra scheepsverkeer en de grotere (vooral bredere) schepen (bron: 'Netwerkanalyse voor binnenhavens en vaarwegen Zeeland', Provincie Zeeland, 2008). De Provincie Zeeland werkt aan een plan voor de verbetering van het fijnmazige netwerk van vaarwegen en binnenhavens waar ook Grevelingen en Volkerak-Zoommeer van uitmaakt. Naast een van de belangrijkste Europese vaarwegen tussen Rijn en Schelde is de verbetering van het netwerk erop gericht om de huidige binnenhavens bereikbaar te houden en wegen te ontlasten. Het huidige netwerk van binnenhavens en vaarwegen staat onder druk door de omvorming van laad-loskades en binnenhavens in de Zeeuwse kernen, naar een recreatie-/woonfunctie, gebrek aan ruimte voor watergebonden bedrijven, veroudering van haven- en kadefaciliteiten en de toenemende wachttijden voor schepen bij de sluisen in Zeeland (bron: Economische kansen in de Zuidwestelijke Delta, 2009, Programmabureau Zuidwestelijke Delta).

3.2 Invloeden huidige strategie zuidelijk deel

Deltaprogramma | Zuidwestelijke Delta 2013; Mogelijke strategieën (2012) stelt over de huidige strategie voor het zuidelijke deel (Oosterschelde, Westerschelde en Voordelta):

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

De huidige strategie voor de Westerschelde bestaat uit het ophogen en versterken van de dijken. Daarnaast wordt de vaarweg op diepte gehouden door te baggeren en dit zand te storten, dit levert een bijdrage aan de stabiliteit van de aanliggende dijken².

De kust wordt beschermd door duinen en dijken. Daarnaast wordt de basiskustlijn en het kustfundament in stand gehouden door strand-, vooroever- en geulwandsuppleties”.

Wat betreft de Westerschelde, of eigenlijk het gehele Schelde-estuarium, geldt dat gezamenlijk beleid en beheer wordt gevoerd met Vlaanderen, gericht op de drie hoofdfuncties van het estuarium (Veiligheid, Toegankelijkheid, Natuurlijkheid) en een zo duurzaam mogelijke morfologische ontwikkeling. Dit is vastgelegd in Scheldeverdragen (Anonymus, 2005). Deze verdragen hebben de Lange Termijn Visie voor het Schelde-estuarium (streefbeeld 2030, Technische Schelde Commissie, 2001) en de Ontwikkelingsschets 2010 (ProSes, 2005) als onderliggende documenten.

Centraal onderdeel van de Westerschelde aanpak vormt een gemeenschappelijk morfologisch beheer; de huidige strategie is voor een belangrijk deel al een sedimentstrategie. Feitelijk geldt dat ook voor de veiligheidsstrategie in de Voordeltakust welke in belangrijke mate steunt op zandsuppleties. Voor de Oosterschelde is dat minder het geval; de bepalende rol in de veiligheidsstrategie van het bekken wordt gevormd door de stormvloedkering. Aanleg van de kering heeft aanzienlijke gevolgen voor de sedimentuitwisseling. Een beschrijving van de omvang en effecten daarvan, vormt in onderstaande het belangrijkste aandachtspunt.

Voor Westerschelde en Voordelta beperkt de beschrijving zich tot een korte schets van het huidige morfologische beheer en de consequenties van een stijgende zeespiegel voor dat beheer.

3.2.1 Invloeden huidige veiligheidsstrategie Oosterschelde

Ontwikkelingen in sedimenthuishouding

Voor de Oosterschelde heeft de bouw van de stormvloedkering weliswaar de uitwisseling van water met de Noordzee in stand gehouden – zij het dat het totale getijvolume is gereduceerd met 30% –, maar is de uitwisseling van sediment vrijwel onmogelijk geworden. De oorzaak daarvan ligt in het ontstaan van ‘jet’ stromen door de kering en ontgrondingskuilen waardoor de uitwisseling van zand afgenomen is: alleen langs de flanken lijkt nog sedimenttransport door de kering mogelijk. De import van slib wordt geschat op maximaal 1 miljoen m³ per jaar (Louters et al., 1998). Er zijn ook metingen op de Oosterscheldekeringen die laten zien dat er sprake zou kunnen zijn van een lichte export van ca. 0.3 miljoen m³ per jaar (De Ronde, pers. com.). Uit de ontwikkelingen sinds 1530 en modellen (De Bruijn, 2012), en erosiemetingen blijkt dat de Oosterschelde voor de aanleg van de Oosterscheldekering sediment exporteerde, en nog steeds exporteren zou als de stormvloedkering zulks niet verhinderde.

² Om uitvoeringstechnische redenen vinden in de praktijk, oeverbestortingen door baggerschepen niet plaats.

Al met al zijn voor de Oosterschelde de beschikbare externe sedimentbronnen grotendeels afgesneden door de stormvloedkering; het sedimentaanbod beperkt zich vooral tot interne bronnen (de aanwezige platen, slikken en schorren). Tegelijkertijd heeft de kering geleid tot een reductie van de totale hydrodynamische energie binnen het bekken. De beperkte doorstroombopening laat 30% minder water door. Het totale watervolume dat per getij door de geulen stroomt, is dus veel kleiner geworden. Om zich aan te passen aan dit kleinere watervolume, hebben de geulen de neiging zich op te vullen. In de geulen is als gevolg van de aanleg van de deltawerken en van de kering, een interne zandvraag (zandhonger) ontstaan, welke wordt geschat op 400 – 600 miljoen m³. Deze interne zandvraag wordt groter evenredig met de zeespiegelstijging. Immers, de Oosterschelde staat in een open verbinding met de zee. Bij een zeespiegelstijging van 2 mm/jaar is dit een toename van 0,75 Mm³/jaar, wat betekent dat sinds 1986 de interne zandvraag nog met zo'n 19 Mm³ is toegenomen (Tabel 3.3.).

Tabel 3.3.

Interne zandvraag in de Oosterschelde als gevolg van aanleg van de Oosterschelde werken

Reële interne sedimentvraag	Als gevolg stormvloedkering	Toename bij huidige zss (2 mm/jr)	Gesommeerd over 1986 – 2011
	Mm ³	Mm ³ /jaar	Mm ³
Oosterschelde	400 - 600	0,75	420 – 620

Naast een reductie van de totale hydrodynamische energie binnen het bekken, heeft de Oosterscheldekering ook geleid tot een andere verhouding tussen getij- en golfenergie. De getijenergie is afgenomen, terwijl de golfenergie vrijwel gelijk is gebleven. De balans tussen de opbouwende werking van het getij en de afbrekende krachten van de golven, is doorgeslagen naar de laatste. Dit komt tot uiting in een overwegende erosie van de platen, slikken en schorren. Er treedt een interne herverdeling op van sedimenten. De platen, slikken en schorren leveren het sedimentaanbod voor de sedimentvraag van de geulen.

Effecten op veiligheid

De interne herverdeling van sediment heeft direct effect op de veiligheid. Door verlaging van dijkvoorlanden, slikken en platen neemt de golfbelasting op de waterkeringen toe. Dat heeft gevolgen voor het onderhoud van de dijken. Doorgaande erosie kan zelfs op langere termijn de stabiliteit van dijken bedreigen, bijvoorbeeld door het ontstaan van dijkvallen.

Huidige ecologische situaties en effecten

Na de Deltawerken heeft de Oosterschelde zich ontwikkeld als zoute getijde-baai met een beperkte zoetwaterinvloed van 25m³ s⁻¹ (Nienhuis and Smaal 1994). Een combinatie van minder sedimenttransport door gereduceerde stroomsnelheden, en van beperkte rivierinvloed zorgt ervoor dat het water relatief helder is ten opzichte van een natuurlijk estuarium. Ook is er naar verhouding veel ondiep water waardoor het water snel opwarmt.

Ecologisch gezien is de Oosterschelde met name van belang voor vogels en in het bijzonder steltlopers als de Scholekster, Bonte strandloper, Zilverplevier en Wulp die in grote getalen overwinteren en ook als foerageergebied voor trekvogels (Troost and Ysebaert 2011). De droogvallende platen en slikken dienen hierbij als belangrijke voedselbron.

De litorale en sublitorale bodemzone is rijk aan ongewerveld dierlijk leven. Vele soorten zijn kenmerkend voor de Oosterschelde. Het bodemleven bestaat hoofdzakelijk uit schelpdieren, wormen en kleine kreeftachtigen. De Japanse Oester die in 1964 geïntroduceerd werd in de

Oosterschelde heeft zich in de laatste 30 jaar snel uitgebreid (Troost, Gelderman et al. 2009) en bedekte ongeveer 9% van het intergetijdengebied in 2011, dit betreft 1020 ha inclusief de percelen (Brummelhuis, Troost et al. 2011).

Op de dijken langs de Oosterschelde worden soorten van hardsubstraten aangetroffen die ook in Bretagne en Zuid-Engeland voorkomen (De Kluijver and Dubbeldam 2003). Het aantal vissoorten varieert over de jaren tussen de 25 en 30 soorten (Troost, Tangelder et al. 2012) waarvan de meest algemene soorten Grondel, Schol, Schar, Tong en Steenbolk.

De Gewone Zeehond is fors toegenomen in het afgelopen decennium, het aantal Grijs zeehonden is ook gestegen maar komt voor in veel lagere aantallen (Troost, Tangelder et al. 2012). Ook komen er steeds meer bruinvissen voor in de Oosterschelde die zich sinds kort ook voort lijken te planten in het bekken (www.stichtingrugvin.nl).

Bij het voortzetten van de huidige veiligheidsstrategie zijn vanuit een ecologisch perspectief met name de gevolgen van zandhonger voor voedselbeschikbaarheid van vogels van belang. Elk jaar verdwijnt er naar schatting 1 miljoen m³ zand in de geulen. De verwachting is dat meer dan 50% van het intergetijdengebied verdwenen is in 2045 (Van Zanten en Adriaanse 2008). Op dit moment worden deze verhoudingen nader bekeken in de Planmer Zandhonger Oosterschelde.

Effecten op ecologie vanuit het sedimentperspectief:

- De zandhonger zorgt ervoor dat het intergetijdengebied erodeert. Dit heeft verschillende gevolgen. Op het moment dat de platen droogvallen dient het bodemleven als voornaamste voedselbron voor de steltlopers. Door afvlakking van het intergetijdengebied neemt de droogvalduur (de tijd dat de slikken en platen tijdens laagwater droogvallen) af. De tijd dat de vogels kunnen foerageren neemt dus ook af. Een onderzoek in 2011 (Troost & Ysebaert) concludeerde dat het aantal steltlopers (nog) geen effecten ondervindt van de afname in plaatareaal, droogvalduur en daarmee voedselbeschikbaarheid omdat er vermoedelijk nog genoeg voedsel is. Daarnaast is ook de foerageertijd nog niet sterk afgenomen in de meeste gebieden. Het vermoeden is dat dit bij verdere erosie van het intergetijdengebied effecten kan hebben; waarschijnlijk primair door verkorting van de foerageertijd en daarnaast door afname van het foerageerreaal. Naast effecten op vogels heeft het ook gevolgen voor de rusttijd voor zeehonden tijdens laagwater en de zoogtijd van pups. Mogelijke effecten door de afvlakking van platen en slikken op de bodemdiersoorten lijkt gering aangezien de meeste soorten die algemeen in de bodem voorkomen geen duidelijke differentiatie naar hoogte in het intergetijdengebied vertonen. Uitzonderingen hierop zijn het wadslakje (*Hydrobia ulvae*) en het slijkgarnaaltje (*Coro-phium arenarium*) die beiden duidelijk een 'voorkeur' hebben voor de hogere delen (Geurts van Kessel 2004) en dus met een afname van preferentehabitat te maken zullen krijgen. Daarnaast is er een vraagteken over de gevolgen van het verdwijnen van het "broedwad" voor wadpieren voor de wadpierpopulatie.
- Zeespiegelsstijging versterkt de effecten van zandhonger (zie hierboven).

Huidig gebruik en effecten

Aquacultuur en visserij

Van alle bekkens in de ZW Delta wordt de Oosterschelde intensief gebruikt door verschillende typen schelpdierkweek en visserij-activiteiten (Tabel 3.1). De Oosterschelde, is samen met de Waddenzee, het belangrijkste gebied voor mosselkweek in Nederland. Bodemcultuur is hierbij de voornaamste kweekmethode (circa 20 km²), welke grotendeels plaatsvindt in het sublitoraal. De percelen liggen op de randen van platen en slikken, in het ondiepe water vanaf een diepte van zes meter beneden NAP tot aan de laagwaterlijn (Zanten en Adriaanse, 2008). Daarnaast zijn er enkele locaties (<10) in de Oosterschelde waar hangcultuur mosselen gekweekt worden, welke voor ongeveer 1% bijdragen aan de totale oogst (Smaal & Lucas 2000). In de Oosterschelde vindt geen natuurlijke zaadval meer plaats. Daarom wordt er mosselzaad uit de Waddenzee uitgezaaid op de bodempercelen. Om de druk op het natuurlijke systeem in de Waddenzee te verminderen is de mosselsector een transitietraject ingegaan waarbij een geleidelijke overgang van mosselzaadvisserij naar het invangen van zaad met mosselzaadvanginstallaties (MZI's) wordt gerealiseerd. Deze MZI's worden ook in de Oosterschelde ingezet.

Wat betreft oesterkweek in de Oosterschelde wordt op dit moment uitsluitend Japanse oesters gekweekt op de percelen in de kom. Het totale areaal aan oesterpercelen in de Oosterschelde is ongeveer 1500 ha (bron: Productschap Vis). De oesterpercelen liggen tegen de laagwaterlijn en vallen doorgaans niet droog (Wijsman 2007). Tevens vind er in sommige jaren mechanische visserij op kokkels plaats. Deze visserij mag alleen plaats vinden in de jaren dat er voldaan is aan de voedselreservingseis voor (LNV 2004). Droogvallende platen is het belangrijkste habitat van de kokkels en kokkelvisserij vindt dan ook alleen daar (buiten de gesloten gebieden)(DeMesel et al. 2009).

Naast de schelpdierkweek en visserij worden er ook verscheidene andere vormen van visserij beoefend in de Oosterschelde.

Met sleepnetten wordt vooral gevist op de platvissen Tong en Schol. Deze soorten zitten vooral in de zomermaanden in de Oosterschelde. In sommige jaren komen garnalen massaal voor in de Oosterschelde. In dat geval wordt ook veel op garnalen gevist, ook door degenen die veelal op de Noordzee vissen. Voor alle gesleepte visserijen zijn er belangrijke bijvangsten van Zeebaars en Harders, waar een enkele keer doelbewust op wordt gevist (Goudswaard 2007). De visserij met gesleepte vistuigen (boomkor, zegen) in de Oosterschelde is een klein onderdeel van de totale Nederlandse kustvisserij en is daarmee in economisch perspectief van beperkte betekenis (Goudswaard, 2007, Van Oostenbrugge et al., 2009). De gesleepte visserij op de Oosterschelde speelt zich voornamelijk af in de diepere delen en in de vaargeulen. Eén vergunninghouder vist in de Oosterschelde op Sprot en Ansjovis, afhankelijk van de aanwezigheid daarvan. De periode dat op Sprot gevist kan worden varieert sterk en kan elke maand van het jaar zijn (Goudswaard, 2007). De zegenvisserij in de Deltawateren richt zich op de vangst van Harder en Zeebaars. Gevist wordt doorgaans in de periode van eind april tot eind oktober op en rond droogvallende platen (Lubbe et al. 2011). Kreeften visserij maakt vooral gebruik van fuiken en kubben, sporadisch van staand want en Kreeften worden ook gevangen met gesleepte vistuigen (oa boomkor). Er wordt vooral in de diepe wateren op kreeft gevist (Lubbe et al. 2011). Daarnaast worden fuiken (en kubben) ingezet voor de Palingvisserij.

De teelt van zeewier bevindt zich in Nederland nog in een ontwikkelingsfase en er is in 2011 een pilot opgestart in de Schelphoek. Het doel is het ontwikkelen en testen van een kleinschalig systeem voor de teelt van zeewier dat zelfstandig kan worden toegepast als eerste stap in de ontwikkeling van een "zeeboerderij" voor zeewierteelt in open zee, nearshore en/of offshore.

Effecten op aquacultuur en visserij vanuit het sedimentperspectief

Als gevolg van de zandhonger wordt in de toekomst bij de huidige beheersstrategie een verlaging van de slikken en platen verwacht waardoor een deel van het intergetijdengebied zal verdwijnen en andere delen minder lang droog komen te liggen. Wijsman (2007) heeft bekeken wat het effect van de plaatverlaging is op de schelpdierfuncties in de Oosterschelde. Er worden echter geen directe effecten verwacht van plaatverlaging op de productie van de commerciële mossel- en oesterpercelen. Op basis van de voorspelde afname in droogvalduur wordt echter wel verwacht dat het areaal geschikt habitat voor kokkels zal afnemen, wat dan ook direct effect zal hebben op de kokkelvisserij. Bovendien mag kokkelvisserij alleen plaatsvinden in jaren dat er meer kokkels zijn dan de steltlopers nodig hebben als voedsel. Door de zandhonger neemt het leefgebied voor kokkels af en naar verwachting is het kokkelbestand in 2045 nog maar de helft van nu. Het zal daardoor op steeds minder vaak voorkomen dat er kokkelvisserij kan plaatsvinden omdat er onvoldoende kokkels beschikbaar zijn voor de steltlopers (Zanten en Adriaanse, 2008).

Sinds de aanleg van de Deltawerken is de primaire productie in de Oosterschelde sterk gedaald, mogelijk als gevolg van een veranderde abiotiek (nutriënten toevoer, stroomsnelheden) maar waarschijnlijk ook / vooral door toegenomen filtratiedruk door toename van het schelpdierbestand (o.a. opkomst Japanse Oester; Geurts & VanKessel, 2004, Smaal et al in prep) Momenteel zijn er indicaties dat de draagkracht voor schelpdierbestanden bereikt is (Schellekens and Smaal 2012), waardoor een verdergaande daling van primaire productie effecten zal hebben op productie van schelpdieren en dus de kweekrendementen. Directe effecten van veranderingen in primaire productie op visbestanden zijn moeilijker te leggen omdat hierbij meerdere trofische niveaus betrokken zijn en er vaak gelijktijdig andere factoren in het ecosysteem veranderen waardoor direct causale verbanden moeilijk te leggen zijn. Philippart et al (2007) lieten bijvoorbeeld zien dat nutriënten reducties in de Waddenzee hebben geleid tot een reductie in primaire productie wat zich vervolgens heeft doorvertaald naar veranderingen in bestanden van hogere trofische niveaus (macrozoobenthos, vogels). Bij deze studie werd wel aangemerkt dat er naast de veranderingen in nutriënten concentraties mogelijk gelijktijdig veranderingen in visserij, sediment import/export naar de Noordzee en klimaatsveranderingen plaats gevonden hebben waardoor de resultaten met enige voorzichtigheid bekeken moeten worden. In het voorbeeldproject Green Deal zal bekeken worden of door middel van inlaat van zoet, voedselrijk water in de Kom van de Oosterschelde de primaire productie en biodiversiteit gestimuleerd kan worden.

Recreatie

De Oosterschelde is een getijdegebied van ca. 35.000 ha met voor de recreatievaart een verbinding met de Noordzee (via de Roompotsluis), de Westerschelde (via kanaal Wemeldinge), het Veerse Meer, de Grevelingen, het Volkerak (sluizen Philipsdam) en het Zoommeer (sluizen Oesterdam). De Oosterschelde is onderdeel van de Staande Mast Route (Stichting Recreatietoervaart Nederland, 2012) en is een belangrijk recreatiegebied met historische stadjes zoals Zierikzee, Yerseke, Bruinisse en Stavenisse en verblijfsrecreatieve terreinen. Er komen veel recreatievormen voor zoals zeilen, motorboot varen, surfen, duiken en zwemmen. Op de slikken worden pieren gestoken voor het sportvissen wat zowel vanaf de dijken als vanaf boten plaatsvindt. Op de dijken wordt ook gewandeld en gefietst. Vanwege het behoud van de bijzondere natuurwaarden is snelle watersport niet toegestaan en zijn bepaalde gebiedsdelen niet voor recreatie opengesteld zoals de Vondelingenplaat, Roggenplaat, de Oliegeul en de plaat Neeltje Jans (Waterrecreatieadvies 2004, Henkens et al. 2011).

Scheepvaart

Met uitzondering van het meest oostelijke deel (onderdeel van Schelde-Rijn verbinding), heeft de Oosterschelde geen grote betekenis voor de beroepsscheepvaart.

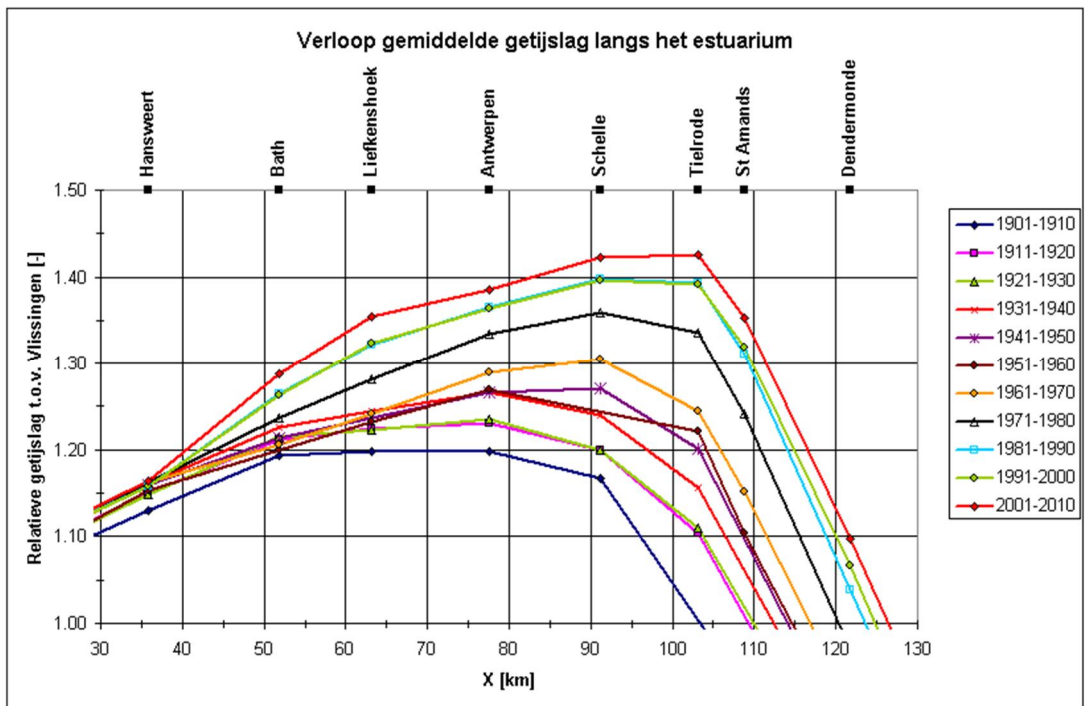
3.2.2 Invloeden huidige strategie Westerschelde

In de Scheldeverdragen is afgesproken dat een lange termijn strategie voor de Westerschelde altijd in samenspraak met Vlaanderen zal moeten worden geformuleerd. Dit is een apart traject en vormt geen onderdeel van de gepresenteerde verkenning. Er wordt in deze paragraaf dan ook alleen kort melding gemaakt van de sedimentstrategie (bagger- en stortstrategie) welke voor de Westerschelde is ontwikkeld in het kader van de LTV studies, effecten op ecologie en gebruiksfuncties zijn echter niet verder uitgewerkt.

Morfologisch beheer met aandacht voor getij invloeden

De ontwikkeling van de Westerschelde wordt overheerst door het effect van de interne herverdeling van sediment als gevolg van het bagger- en stortbeleid. Dit morfologische beheer is gekoppeld aan het vaargeulonderhoud en gericht op de drie hoofddoelstelling van het beleid voor dit estuarium: Veiligheid, Toegankelijkheid en Natuurlijkheid.

Bij het morfologisch beheer van het estuarium speelt de interactie met het getij een belangrijke rol. Het getij in het Schelde-estuarium vertoont al decennialang een sterke verandering. De maximale getijslag (het verschil tussen laag- en hoogwater) is de afgelopen eeuw toegenomen en heeft zich stroomopwaarts verplaatst (Fig. 3.2).

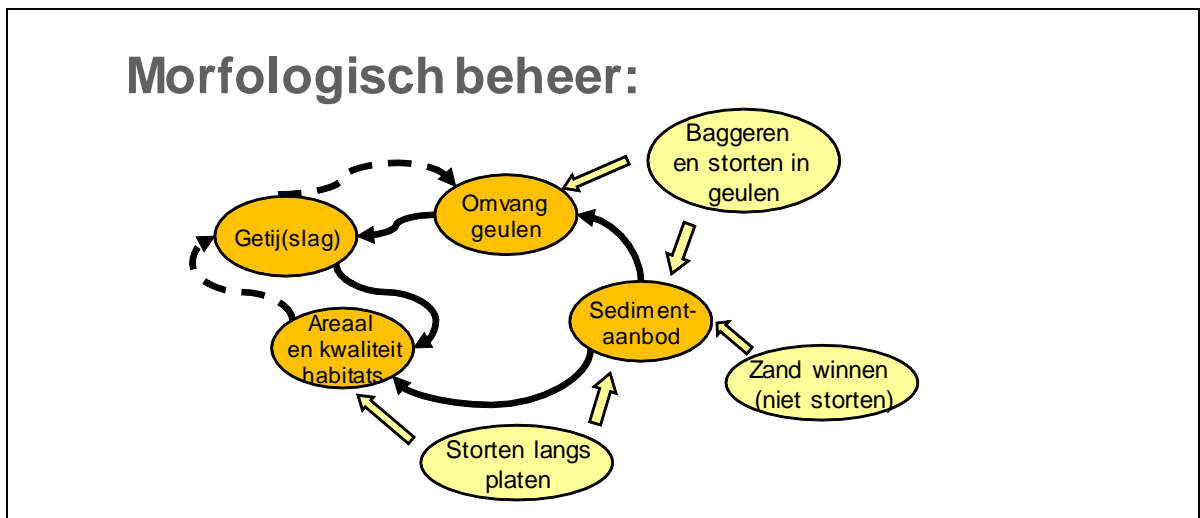


Figuur 3.2 Verandering in getijslag langs de Westerschelde gedurende de laatste eeuw, vergeleken met Vliissingen (uit LTV V&T, 2012 b)

De relatie tussen zandvoorraden en getij in het Schelde-estuarium is complex. De verdeling van het zand over het profiel is belangrijk. Het gaat onder meer om de doorstroomoppervlakte voor de getijgolf en het relatieve aandeel van intergetijdegebieden. De verschillen tussen de stroming tijdens eb en vloed bepalen de netto transporten van sediment en dus de

bodemontwikkeling. Tegelijkertijd met de veranderingen in de getijslag zijn ook de stromingen door de geulen en over de intergetijdengebieden sterker geworden. Ook andere kenmerken van het estuarium zijn al decennia aan het veranderen. Er is bijvoorbeeld steeds minder verschil tussen de waterstanden en stromingen in de hoofd- en de nevengeul.

Hoe het morfologisch beheer ingrijpt op de zandvoorraden en het getij is te zien in figuur 3.3. De belangrijkste natuurlijke aspecten waar het morfologisch beheer zich op richt zijn de samenhangende ontwikkeling van de geulen en de intergetijdengebieden (platen, slikken, schorren). De functie 'toegankelijkheid' is terug te vinden in het beheer van de geulen. Veiligheid is momenteel vooral randvoorwaarde.

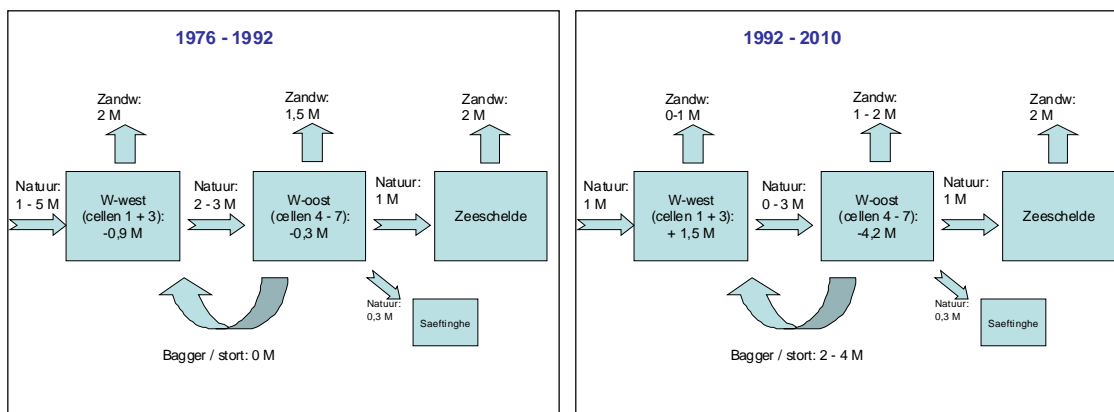


Figuur 3.3 Wijze waarop morfologisch beheer ingrijpt op Westerschelde systeem (uit LTV V&T, 2012a)

De genoemde natuurlijke aspecten zijn in het gemeenschappelijk kader voor evaluatie en monitoring (evaluatiemethodiek, Holzauer, 2011) terug te vinden als morfologische dynamiek (plaat-geulstelsel) en leefomgeving (areaal en kwaliteit van habitats).

Historische ontwikkeling van zandvoorraden en morfologie

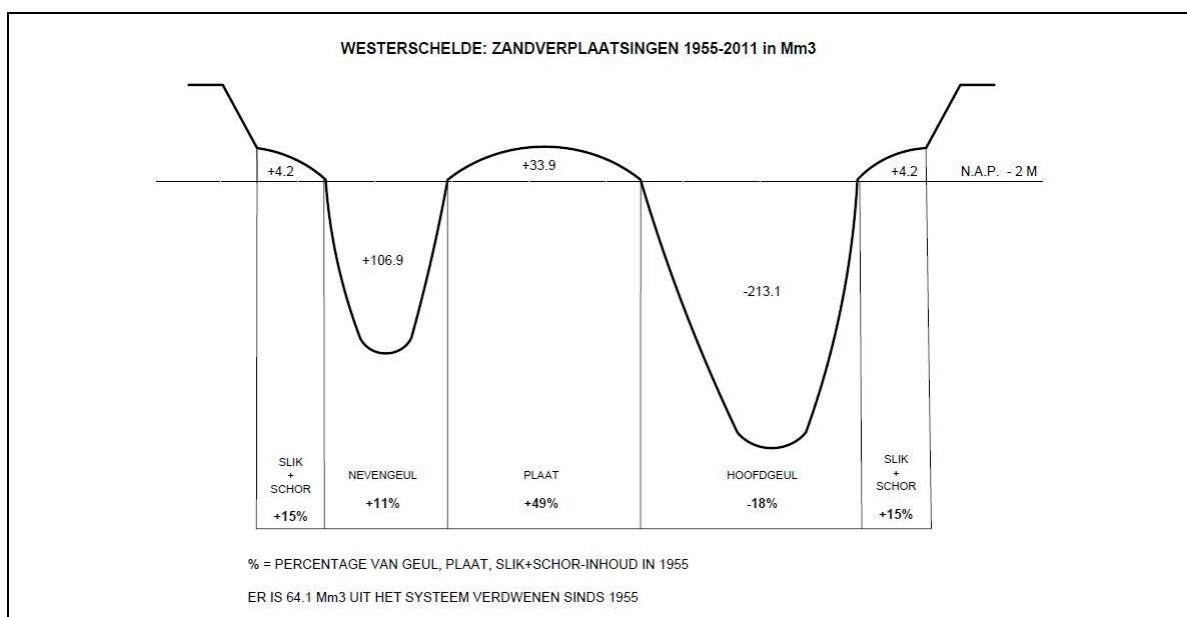
De laatste decennia speelden vanuit vaargeulonderhoud, vraagstukken rond morfologische dynamiek vooral in het oostelijk deel van de Westerschelde. Door te groot sedimentaanbod dreigden nevengeulen te ondiep te worden en liepen stortplaatsen vol. Dit leidde in jaren '90 tot beheer dat gericht was op het onttrekken van sediment uit het oostelijk deel (zandwinning en oost-west-stortstrategie). Dat is terug te zien in Figuur 3.4 die de ontwikkeling in de sedimentbalans toont over de periodes tussen 1976 en 1992 en tussen 1992 en 2010.



Figuur 3.4 Ontwikkeling sedimentvoorraden Westerschelde 1976 -2010, uitgedrukt in miljoenen m³ per jaar (M) (uit LTV V&T, 2012a,2012 c)

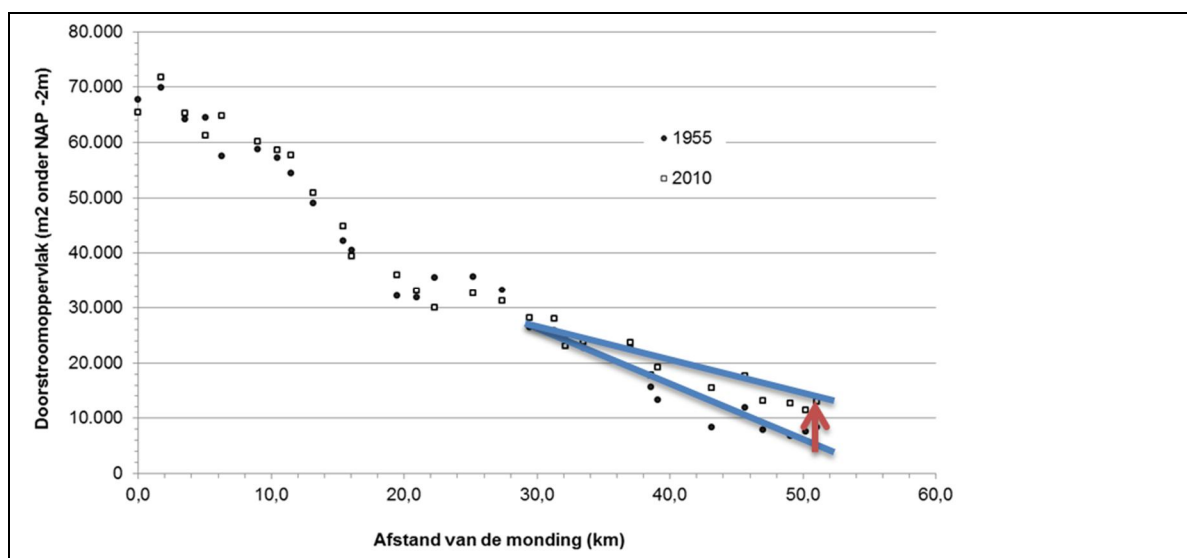
De historische sedimentbalansen (Figuur 3.4) tonen ook dat er doorgaand natuurlijk zandtransport is van West naar Oost. De gemiddelde omvang daarvan is tussen 1 en 2 miljoen m³ per jaar. Het bekken als geheel importeert sediment uit het mondingsgebied. De stortstrategie verplaatst netto veel meer zand dan de natuur, jaarlijks 6 tot 12 miljoen m³. Dit domineert, samen met zandwinning, de ontwikkeling van zandvoorraden in deelgebieden. Het blijkt echter beperkte invloed te hebben op het grootschalige natuurlijke transport (relatief constant gebleven qua ordegrrootte en richting).

Behalve veranderingen in de zandvoorraden in de verschillende delen van de Westerschelde, is de afgelopen decennia ook een 'vormverandering' opgetreden (Fig. 3.5). Uit de zandbalansen blijkt dat er structureel zand vanuit de hoofdgeul naar andere morfologische elementen is gegaan. Deze vormverandering houdt een vergroting in van de doorstroomoppervlakte voor de getijgolf, wat in de meeste gevallen bijdraagt aan versterking van de getijslag.



Figuur 3.5 Ontwikkeling sedimentverdeling in schematisch dwarsprofiel van de Westerschelde gedurende laatste decennia (pers. med.' RWS-Zeeland, Leen Dekker)

Het verschil tussen het oostelijke en westelijke deel van de Westerschelde, in doorstroomoppervlakte en de ontwikkeling daarvan is samengebracht in figuur 3.6. Belangrijkste conclusie: (-) de doorstroomoppervlakte in het oosten is de afgelopen 50 jaar, relatief gezien, ingrijpend toegenomen



Figuur 3.6 Toename doorstroomoppervlakte, 1995 - 2010, Westerschelde (uit LTV V&T, 2012 c)

Systeemkenmerken per deelgebied van het estuarium

Voor een periode tot zeker 100 jaar kan er met het oog op de zandvoorraden een onderscheid gemaakt worden in een oostelijk en westelijk deel van de Westerschelde en de Zeeschelde. De belangrijkste kenmerken van deze deelgebieden en doelstellingen wat betreft zandvoorraden en getijkarakteristieken zijn samengevat in Tabel 3.4.

Tabel 3.4: Belangrijkste kenmerken en doelstellingen per deelgebied van de Westerschelde, ten aanzien van zandvoorraden en getij

Westerschelde-west	Westerschelde-oost	Zeeschelde
<ul style="list-style-type: none"> - moet in belangrijke mate meegroeien met zeespiegel - nog weinig tot geen impact geulverruiming op getij en morfologische ontwikkeling 	<ul style="list-style-type: none"> - importeert sediment - vaargeul steeds dominant in profiel - aandacht ontwikkeling getij - zorgen over stortruimte, meergeulenstelsel, habitats 	<ul style="list-style-type: none"> - importeert sediment - vaargeul zeer dominant in profiel - probleem stortruimte - aandacht slibhuishouding en ontwikkeling getij
Betekenis voor doelstellingen morfologisch beheer		
<ul style="list-style-type: none"> - behoud zandvoorraden (er is zandbehoefte op lange termijn) - wel trachten getij beperken 	<ul style="list-style-type: none"> - trachten getij beperken - intergetijdengebied en nevengeulen evenwichtig ontwikkelen 	<ul style="list-style-type: none"> - trachten getij beperken - importerend sediment kwijtraken

Gevolgen van zeespiegelstijging

Een afname van de zandvoorraden in het estuarium manifesteert zich vooral via verdere invloed van het getij. Dit is een belangrijke reden om het principe 'behoud van zandvoorraden', om veerkrachtig mee te groeien met de zeespiegel, ook voor het Schelde-estuarium te laten gelden. In het licht van de nu al aanwezige zeespiegelstijging betekent dit (ook) een netto 'zandbehoefte'.

De invloed van (mogelijk versnelde) zeespiegelstijging is vergelijkbaar met een verruiming. Een grotere diepte leidt namelijk tot nog meer getijslag, wat geulen weer ruimer maakt. Door die ruimere geulen is er in theorie minder zand nodig voor aanpassing aan de zeespiegelstijging dan de berekening 'oppervlakte maal zeespiegelstijging'. Met die formule berekent het kustbeleid de benodigde hoeveelheid zand.

Het is dus nog niet goed aan te geven wat de gemiddelde jaarlijkse zandbehoefte van de Westerschelde is per mm zeespiegelstijging. Voor de laatste decennia geldt dat een afname van de zandvoorraden in het estuarium in zekere mate 'weggestreept' konden worden tegen de extra waterinhoud die nodig was in de vaargeulen. Voor de toekomstige situatie gaan we niet uit van verder verruimde geulen (er ligt geen vraag hiervoor vanuit toegankelijkheid en voor natuurlijkheid en veiligheid zijn eerder minder ruime geulen gewenst). Als uitgangspunt hanteren we daarom dat er in ieder geval geen verdere toename van de waterinhoud gewenst is. Een benaderingswijze conform het kustfundament lijkt daarmee acceptabel. Dit betekent een theoretische toename van de bergingsruimte in het estuarium van 0,5 miljoen M3 per jaar bij de huidige zeespiegelstijging.

Uit de historische zandbalansen (figuur 3.4) blijkt dat bij het gevoerde beheer, de import van sediment naar de Westerschelde zo'n 1 miljoen m³ op jaarbasis betreft. De totale zandvraag van de Westerschelde aan het kustfundament van de monding, kan daarmee worden geschat op 0,5 – 1 miljoen m³ per jaar .

Meer lokaal zullen er in het estuarium wel 'zandoverschotten' zijn. De belangrijkste daarvan is de situatie in de Beneden-Zeeschelde. Door het stroomopwaartse gerichte natuurlijke sedimenttransport moet daar gebaggerd worden (zie ook tabel 3.4). Er zijn financiële en milieuredenen om dit materiaal niet over grote afstanden te vervoeren alvorens te storten. Hierom wordt zandwinning uitgevoerd in de belangrijkste stortlocatie voor zandige specie (de Schaar van Ouden Doel), zodat deze stortlocatie op diepte blijft.

Organisatie beleid en beheer en consequenties voor de sedimentstrategie

Voor het gemeenschappelijk beleid en beheer is de Vlaams Nederlandse Schelde Commissie (VNSC) ingericht. De Vlaams-Nederlandse samenwerking leidt ertoe dat voor dit bekken, in deze verkenning, geen sedimentstrategie wordt uitgewerkt.

De gezamenlijke beheerders bekijken nu de rol van de zandwinning in het estuarium opnieuw. Uitgangspunt hierbij lijkt te zijn dat onttrekkingen uit het gehele estuarium alleen mogelijk zijn in combinatie met mitigerende maatregelen gericht op de getijslag, waarbij vooral gedacht wordt aan sedimentaanvoer in geest van het beleid tot behoud van het kustfundament. Ook in dat licht is het belangrijk dat de gezamenlijke integrale aanpak en aansturing verder evolueert. Dit betreft de beide zijden van de grens, zowel zandwinning als vaargeul- en havenonderhoud en, conform de afspraken in het verdrag, tegelijkertijd te werken aan alle LTV-functies. Dit speelt nu het sterkst voor het oostelijk deel van de Westerschelde en de Zeeschelde.

Momenteel (herfst 2012) wordt bekeken of de VNSC ook een rol kan vervullen voor gemeenschappelijk beleid en beheer ten aanzien van de monding en de Vlaams-Nederlandse kustzone, evenals voor het waterkwantiteitsbeheer (zoetwatervoorziening). Deze bestuurlijke ontwikkeling zal uiteraard consequenties hebben voor de mogelijkheden van een sedimentstrategie voor de Westerschelde in samenhang met monding en kustzone.

3.2.3 Invloeden huidige strategie Voordelta

De Voordelta kan gekarakteriseerd worden als een gebied met “actieve sediment uitwisseling”. In de afbakening (paragraaf 1.3) is aangegeven dat dit rapport zich specifiek richt op de “passieve delta”. Onderstaand is daarom summier de sediment vraag voor de voordelta uiteengezet, maar effecten op ecologie en gebruiksfuncties zijn buiten beschouwing gelaten.

Voordelta van Westerschelde

De monding van de Westerschelde kan worden opgevat als de buitendelta van het estuarium (zie bv. Peters, 2006). De globale buitengrens is de lijn Cadzand – Westkapelle en dus inclusief Vlakte van de Raan. Qua geomorfologische en hydrodynamische eigenschappen is het gebied goed vergelijkbaar met de rest van de Voordelta (die bestaat uit de monding van de Oosterschelde en de voormalige mondingen van de Grevelingen en het Haringvliet). Samen vormen ze aaneengesloten geheel.

De dimensies (areaal en sedimentvolume), de vorm (verdeling van geulen, ondieptes en platen) en de dynamiek van buitendelta's zijn gekoppeld aan die van het estuarium of getijdebekken waarmee het is verbonden.

In tegenstelling tot andere bekkens heeft de Westerschelde wel vrije uitwisseling van sediment met de Noordzee. Historische zandbalansen van het Westerscheldebekken (Fig. 3.4) wijzen op een langjarig gemiddelde sedimentimport van rond 1 Mm³ per jaar. Dat is in lijn met geobserveerde veranderingen in het sedimentvolume van de monding van de Westerschelde. Uit de studie van Cleveringa (2008) volgt dat de monding in de afgelopen decennia is geërodeerd. De inhoudsveranderingen van het mondingsgebied blijken - rekening houdend met de mogelijke problemen in de gegevens - klein in verhouding tot de grote oppervlakte van de monding.

De Vlakte van de Raan fungeert als sedimentbuffer en vertoont vrijwel geen voorkeursrichting in stroming en transport. Het beeld bestaat dat aanpassingen in dit gebied kunnen gedaan worden zonder (significant) effect te hebben op het estuarium. Hetzelfde geldt ook voor de kuststrook die zich uitstrekt van de monding richting Zeebrugge. Invloeden van hier uitgevoerde of geplande (Vlaamse Baaien) ingrepen zullen naar verwachting weinig invloed hebben op ontwikkelingen in het estuarium. De diepe vaargeul Wielingen aan de zuidrand van de monding, vormt scherpe een barrière voor sedimenttransport. Deze is door opeenvolgende verruimingen en onderhoudsbaggerwerk gevormd tot een grote rechte geul vanuit zee naar de Westerschelde.

Voordelta van Haringvliet, Grevelingen en Oosterschelde

Voor de Voordelta, de daar aanwezige (voormalige) buitendelta's van de zeegaten en de aanliggende kust van de (voormalige) eilanden, hebben de afsluitdammen gezorgd voor een trendbreuk in de sedimenthuishouding. Gezien op de schaal van de hele Voordelta, hebben de dammen het externe sedimentaanbod sterk ingeperkt. Sedimentuitwisseling met Haringvliet, Grevelingenmeer is volledig, en met Oosterschelde grotendeels onmogelijk geworden. Door het wegvallen van de sterke getijstromen bij het vullen en ledigen van de bekkens, is de totale getijenergie in het gebied afgenomen. Tegelijkertijd is met een stijgende zeespiegel, de sedimentvraag gestaag toegenomen (3-4 Mm³/jaar; zie tabel 3.5). Een stijgende sedimentvraag, een afnemend extern aanbod en gereduceerde getij-energie leidt

tot een interne herverdeling van sediment. Lokaal treedt erosie op – met name waar de golfenergie relatief dominant is geworden –, en elders sedimentatie.

In de Voordelta komt dat tot uiting in een erosie van de vooroevers en sedimentatie in de vorm van intergetijdenplaten op de buitenrand van de voormalige buitendelta's en in de voormalige getijdengeulen. De veranderde getijdenstroming leidt bovendien tot geulverleggingen deels langs de koppen van de eilanden, die lokaal het sedimentatie-erosie patroon van de kustlijn beïnvloeden. Vanaf 1990 wordt de teruggang van de kustlijn door suppleties gecompenseerd. Om tevens de zandvoorraad van het kustfundament op peil te houden is daartoe vanaf 1990, gemiddeld 2,5 Mm³ zand per jaar op de Voordelta gesuppleerd. Vergelijking met de totale jaarlijkse toename van de zandvraag van naar schatting 4 Mm³, leert dat hiermee de totale zandvraag van de Voordelta nog steeds groeit met 1,5 Mm³ per jaar.

Tabel 3.5 Actieve sedimentvraag in de Voordelta als gevolg van zeespiegelstijging

Reële sedimentvraag	Meegroeien met huidige zss (2 mm/jr)	Voeding Westerschelde	Totaal
	<i>Mm³/jaar</i>	<i>Mm³/jaar</i>	<i>Mm³/jaar</i>
Voordelta	2,5	0,5 - 1	3 – 3,5

4 Voorstellen voor mogelijke strategieën volgens DP (2012)

Alvorens op een meer systematische wijze in te gaan op de kansen voor toepassing van de sedimentstrategie (zie H. 5), wordt in dit hoofdstuk eerst kritisch gekeken naar de inhoud, mogelijke uitvoering, kansen en effecten van mogelijke nieuwe strategieën zoals voorgesteld in het rapport "Deltaprogramma 2013; Mogelijke strategieën" van Deltaprogramma | Zuidwestelijke Delta (2012).

4.1 DP voorstellen noordoostelijk deel

Voor het noordoostelijke deel van de ZW Delta (Haringvliet- Hollandsch Diep, Volkerak-Zoommeer en Grevelingenmeer) stelt Deltaprogramma | Zuidwestelijke Delta (2012) :

Uitgaande van de huidige stormopzetduur van 29 uur zal de huidige strategie, zonder nieuwe maatregelen, niet meer voldoen tussen 2030 en 2050, afhankelijk van het klimaatscenario. Rekening houdend met langere stormopzetduur van 35 uur voldoet de huidige strategie alleen al niet meer vanaf ongeveer 2020. Daarom worden de volgende maatregelen onderzocht om tot kansrijke strategieën te komen:

- *Het vergroten van de bergingscapaciteit door het inzetten van het Grevelingenmeer en Oosterschelde als bergingbekkens. Daarnaast kan de bergingscapaciteit op het Hollandsch Diep, Haringvliet en Volkerak-Zoommeer mogelijk worden geoptimaliseerd, bijvoorbeeld door voorspuien en peilbeheer. Ook zal worden onderzocht of de peilen op de Grevelingenmeer en het Volkerak-Zoommeer wel of niet mee dienen te stijgen met de zeespiegelstijging.*
- *Pompen van water naar zee. Dit zou mogelijk zijn via de Brouwersdam (mogelijk in combinatie met een getijdencentrale) en wellicht de Haringvlietkering.*
- *Het (innovatief) versterken van dijken.*
- *Het verbeteren van de sedimenthuishouding rondom het Haringvliet/Hollandsch Diep.*

Tevens zijn andere strategieën beschouwd waarvan is gebleken dat deze niet zinvol zijn om in de volgende fase verder uit te werken:

- *Een open Grevelingenmeer:*
- *Het doorsteken van Goeree-Overflakkee en daarmee verlegging van de riviermond naar het Grevelingenmeer en Oosterschelde .*
- *Hoewel een andere beheersstrategie wordt onderzocht voor Haringvliet/Hollandsch Diep worden strategieën met een volledig open Haringvliet door het verwijderen van de Haringvlietkering in de volgende fase niet nader onderzocht.*

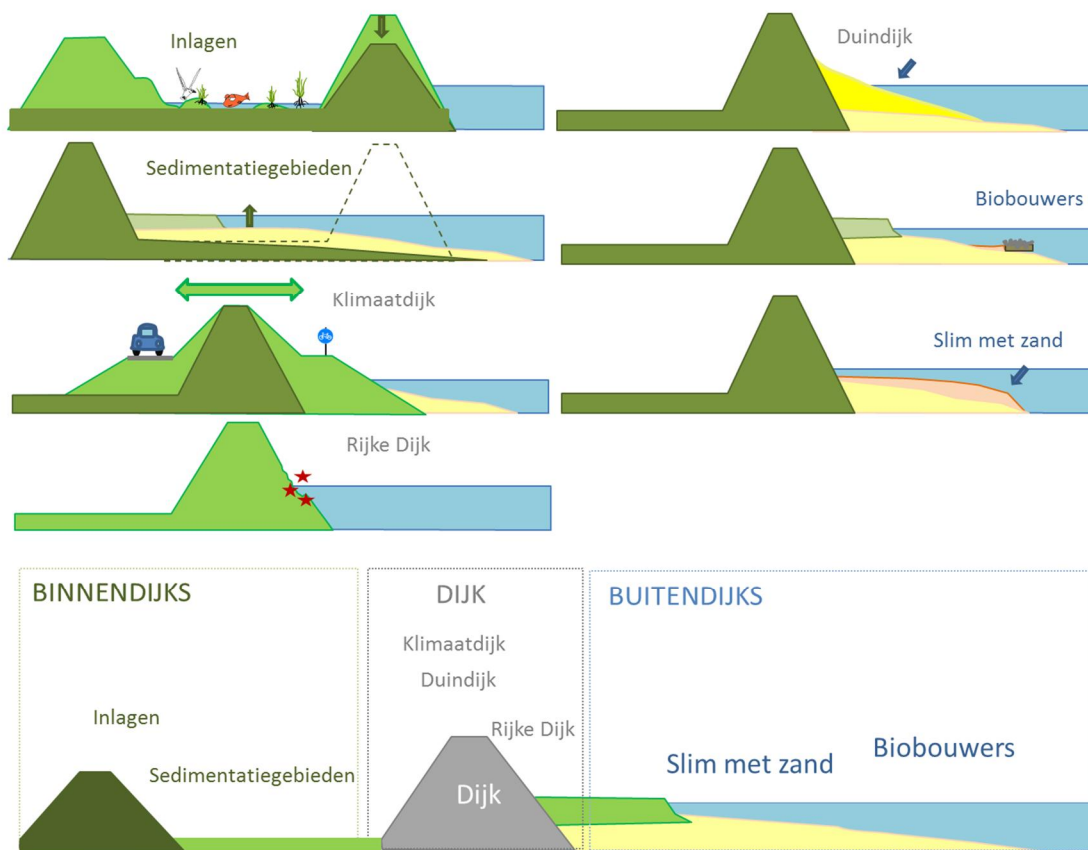
Sedimenthuishouding, kansen en effecten

Binnen de te onderzoeken kansrijke strategieën als genoemd door Deltaprogramma | Zuidwestelijke Delta (2012), wordt op twee punten verwezen naar een combinatie met een sedimentstrategie:

- *Het (innovatief) versterken van dijken.*
- *Het verbeteren van de sedimenthuishouding rondom het Haringvliet/Hollandsch Diep.*

(Innovatief) versterken van dijken

Innovatieve dijken zijn nieuwe typen (of aanpassingen aan) waterkeringen die veiligheid bieden tegen overstromingen maar ook gericht zijn op meer ruimte voor natuur en multifunctioneel gebruik. Andere benamingen als “alternatieve waterkeringen” (Tangelder and Ysebaert 2012) en “natuurlijke keringen” (Fiselier, Jaarsma et al. 2011) en “innovatieve dijken” (Van Loon-Steensma, Schelfhout et al. 2012) betekenen in essentie hetzelfde. De beschreven innovatieve dijkconcepten uit deze studies variëren van ideeën tot gerealiseerde concepten. Figuur 4.1 laat een aantal voorbeelden van innovatieve dijkconcepten zien. Niet alle concepten zijn interessant vanuit een sedimentperspectief, zo zal een “Dubbele dijk/Inlaag” of “Overslagbestendige dijk” geen of zeer geringe invloed hebben op de sedimenthuishouding, daarom wordt hier alleen ingegaan op enkele concepten die interessant zijn vanuit een sedimentperspectief. Dit zijn toepassingen waarbij er voor of tegen de dijk gesuppleerd wordt (zie ook par. 5.3.2); of waarbij maatregelen worden getroffen om erosie af te remmen of sedimentatie te bevorderen door gebruik van biobouwers (zie ook par. 5.3.4), bijvoorbeeld door gebruik van oesterriffen of het creëren van de juiste omstandigheden voor schorontwikkeling.



Figuur 4.1 Voorbeelden van innovatieve dijkconcepten (Tangelder & Ysebaert, 2012). Vanuit een sedimentperspectief zijn Duindijk, Biobouwers, strategische suppleties (slim met zand) en Sedimentatiegebieden interessant.

Verbeteren van de sedimenthuishouding

Het verbeteren van de sedimenthuishouding in Haringvliet / Hollandsch Diep (en in de overige bekken) kan niet worden los gezien van de overig genoemde mogelijke, watergerelateerde opties (vergroten berging, verandering waterpeilen, pompen). Zonder dat deze zijn benoemd, hebben deze maatregelen in meer of mindere mate een effect op de sedimenthuishouding. Met name geldt dit voor het geval wordt besloten om de waterpeilen

van het Grevelingenmeer en het Volkerak-Zoommeer, maar ook van Haringvliet-Hollandsch Diep, te laten meegroeien met de zeespiegel. Iets wat overigens ook optreedt wanneer in de Brouwersdam mogelijk een getijdecentrale zou worden aangelegd, of wanneer de Haringvlietdam als stormvloedkering zou worden gebruikt. Deze openingen in de dammen leiden automatisch tot het meegroeien van het waterpeil met de zeespiegel (en dus van de sedimentvraag). Omdat het externe sedimentaanbod niet groeit, is het gevolg van de toegenomen sedimentvraag een toename van de erosie van de interne sedimentbronnen (platen, slikken, dijkvoorlanden); erosie welke extra beschermingsmaatregelen zal vergen op plekken, waar erosie ongewenst is.

In par. 3.1.2, Tabel 3.2 is beschreven wat de gevolgen zijn van het meestijgen van de waterspiegel, voor de toename van de sedimentvraag in de bekkens. In de sedimentstrategie is de omvang van de sedimentvraag te gebruiken als maat voor een vereiste sedimentimport ten dienste van het bestrijden van de negatieve gevolgen (toename erosie; verlies functies; verdrinking). *Verbeteren van de sedimenthuishouding* zou dan invulling kunnen krijgen door het uitwerken van een strategie waarbij – in aansluiting op bovengenoemde opties voor (innovatieve) dijken –, met het geïmporteerde sediment, de buitendijkse gebieden van Haringvliet-Hollandsch Diep, Grevelingenmeer, Volkerak-Zoommeer worden versterkt en beschermd tegen verdrinking.

Ecologie: effecten en kansen

Effecten en kansen op ecologie vanuit het sedimentperspectief bij de voorstellen voor mogelijke strategieën Haringvliet, Hollandsch Diep, Grevelingenmeer, Volkerak-Zoommeer:

Effecten

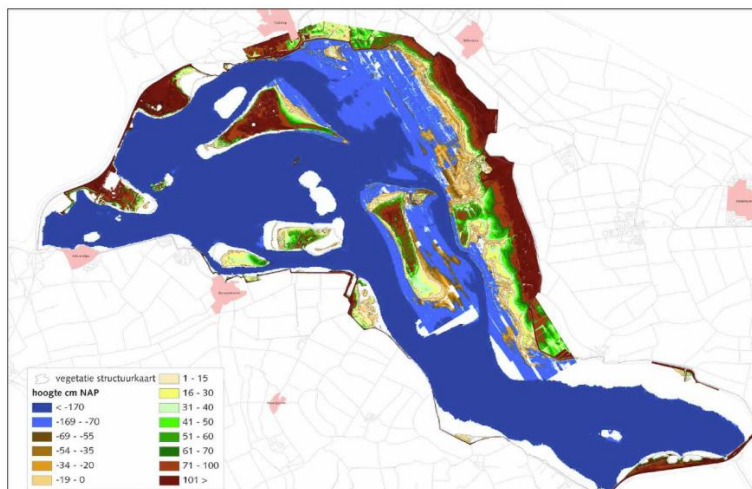
- Als het op termijn noodzakelijk blijkt dat het waterpeil van Grevelingenmeer en Volkerak-Zoommeer ook moet meestijgen met de zeespiegelstijging dan leidt dit tot een bepaalde mate van inundatie van de eilanden en buitendijkse gebieden. De verwachting is dat sommige vegetatietypen kunnen “meestijgen” met het waterpeil en andere verloren gaan (Van den Haterd, Lengkeek et al.). Doordat de oeververdedigingen niet meer op de juiste plaats liggen zal dit echter ook leiden tot erosie van deze onbeschermden delen (Witteveen + Bos 2011) en verlies van oeverhabitat, tenzij de verdedigingen “meegroeien in de hoogte”. In het Grevelingenmeer heeft dit verlies onder andere waardevolle duinvallei-vegetatie en broedgebied voor vogels tot gevolg. Het merendeel van het eilandoppervlak in het Grevelingenmeer ligt tussen de -0,2m (huidige peil) en 1,00m NAP (Figuur 4.2). Uitgaande van een maximale zeespiegelstijging van 85cm in 2100 zal dus het merendeel van het eilandoppervlak ondergelopen zijn zie ook Van Sluis & Kamermans (2012).
- Een getijdecentrale in de Brouwersdam die mogelijk benut wordt als gemaal staat ook benoemd als een mogelijke strategie. Dit betekent een gedempt getij op het Grevelingenmeer. De sedimentdynamiek en transport zal ook bij een gedempt getij nog steeds beperkt zijn. Bij een getijslag van 50cm, 70cm en 100cm zal een oppervlak intergetijdengebied ontstaan van respectievelijk 740 ha, 880 ha en 1140 ha (Van Maldegem and De Jong 2010) en een zekere mate van oeverinnundatie (Figuur 4.2). Er ontstaat kaal slik en zilte pionier vegetaties. Het doorzicht in het Grevelingenmeer zal niet of weinig veranderen door herintroductie van getij (Nolte, Troost et al. 2008) echter zal de primaire productie wel stijgen door de toevoer van meer nutriënten vanuit de Noordzee (Deltares 2011). Een mogelijke koppeling met het Volkerak-Zoommeer en dus meer toevoer van nutriëntenrijk water zou dit kunnen versterken.
- Het gebruik van de Haringvlietsluizen als stormvloedkering staat ook benoemd als mogelijke strategie. Hoewel er een redelijke getijslag mogelijk is, zal vergelijkbaar met de

stormvloedkering in de Oosterschelde, door het ontstaan van ontgrondingskuilen rond de kering, de sedimentuitwisseling met zee onvoldoende zijn om eilanden en oevers te laten meestijgen met de zeespiegelstijging. De zouttong zal verder oprukken en het Haringvliet krijgt een meer estuarien karakter. De vervuilde sliblaag op de bodem van het Hollandsch Diep is inmiddels afgedekt door sedimentatie van schoner slib uit de latere jaren. Bij herintroductie van getij, zou deze afdeklaag in beweging kunnen komen, waardoor de giftige laag weer vrijkomt in het milieu. Dit vraagt, daarom extra aandacht.

- Bij een mogelijk, zout Volkerak-Zoommeer met gedempt getij zal een nieuw zout dynamisch systeemtype met zoetwaterinvloed ontwikkelen. Dit is geen onderdeel van de veiligheidsstrategie, maar is wel een mitigatiemaatregel voor de waterkwaliteit. Het sedimentaanbod en de transportcapaciteit van sediment bij gedempt getij zal niet voldoende zijn om oevers op te laten slibben en mogelijk zelfs leiden tot oevererosie. Effecten op het doorzicht zullen positief zijn, ten eerste omdat zout water van nature helderder is en ten tweede omdat er bij gedempt getij maar beperkt sediment transport en vertroebeling van de waterkolom zal plaatsvinden. Bij een volwaardige getijslag zoals bijvoorbeeld in de Westerschelde is het sediment transport veel groter en het doorzicht veel beperkter. Een toename in doorzicht in het Volkerak-Zoommeer is gunstig voor primaire productie. Primaire productie is de basis laag van het voedsel web en een hogere productie zal daarom ook doorwerken in het voedselweb bijvoorbeeld door ontwikkeling van meer grazers zoals schelpdieren.
- Waterberging op het Grevelingenmeer via de Grevelingendam is met name een watermaatregel met geringe invloed op de sedimenthuishouding. Afhankelijk van de duur en frequentie gevolgen hebben voor het systeem door een tijdelijke verhoging van het waterpeil en zoetwaterinvloed. Waterberging zal echter zéér incidenteel voorkomen waardoor vanwege de ruime hersteltijd effecten niet structureel zullen zijn.

Kansen

- Kansen vanuit ecologie zijn het slim gebruik van ecologische processen en strategische inzet van bepaalde soorten (biobouwers) die de sedimenthuishouding kunnen beïnvloeden om bij te dragen aan bepaalde doelen zoals veiligheid. Hoofdstuk 5 bespreekt verschillende vormen van biobouwers en innovatieve dijkconcepten en gaat hier dieper op in.



Figuur 4.2 Gecombineerde diepte en hoogtekaart uit Van den Haterd et al. (2010). Deze kaart geeft een beeld van de mate van oeverinundatie bij een gedempt getij of het meestijgen van het waterpeil met de zeespiegelstijging.

Gebruik: effecten en kansen

Aquacultuur en visserij

Aansluitend op de ecologische effecten wordt hieronder een overzicht gegeven van de mogelijke effecten van de voorgestelde, mogelijke strategieën op de gebruiksfuncties aquacultuur en visserij in de Noordelijke bekkens Haringvliet, Hollandsch Diep, Grevelingenmeer, Volkerak-Zoommeer:

- Het op termijn meestijgen van het waterpeil met de zeespiegelstijging in het Grevelingenmeer zal leiden tot reductie van het merendeel van het eilandoppervlak. In potentie komt er daarmee meer areaal beschikbaar voor schelpdierkweek. Omdat de kweek van oesters niet alleen afhankelijk is van kweekareaal, maar ook van het voedselaanbod, draagkracht en waterkwaliteit is de verwachting dat enkel het meestijgen van het waterpeil met de zeespiegelstijging niet direct een groot effect zal hebben op de oesterkweek in het Grevelingenmeer.
- De primaire productie in het Grevelingenmeer kan in de toekomst mogelijk veranderen wanneer er meer uitwisseling met de Noordzee komt als gevolg van de aanleg van een getijdecentrale in de Brouwersdam. Nolte et al. (2008) schatten een wezenlijk hogere primaire productie (ca. 60%) in het scenario *Gedempt getij* ten opzichte van het scenario *Huidig* als gevolg van de aanvoer van nutriënten-rijk water uit de Noordzee. Dit zal leiden tot betere omstandigheden voor schelpdierkweek in het Grevelingenmeer. Ook zullen naar verwachting de zuurstofproblemen in het Grevelingenmeer afnemen als er meer uitwisseling met de Noordzee komt. Afhankelijk de toegenomen draagkracht van het systeem zijn er in het Grevelingenmeer bij een veranderde situatie tevens mogelijkheden voor mosselkweek in z.g.n. hangcultures. Deze techniek kan het bruikbare areaal aan kweekperceel aanmerkelijk vergroten omdat deze ook boven de diepe putten kunnen worden geplaatst. Deze diepe putten zijn vanwege de diepte onpraktisch, en vanwege de regelmatig optredende zuurstofloosheid aan de bodem ongeschikt voor bodemcultuur. Indien overwogen wordt dergelijke technieken toe te gaan passen is het sterk aan te bevelen eerst een grondige draagkracht studie uit te voeren m.b.v. modellen zoals nu door Deltares en IMARES wordt gedaan voor de Oosterschelde in het kader van de draagkrachteffecten van mosselzaad invangsystemen. Overexploitatie kan zeer negatieve gevolgen hebben voor zowel de bestaande oesterkweek, als voor het ecosysteem als geheel.
- Er zijn geen aanwijzingen dat de draagkracht van het Grevelingenmeer substantieel positief of negatief wordt beïnvloed als er een verbinding met het Volkerak-Zoommeer wordt gemaakt (VanGils 2008). Deze maatregel zal naar verwachting dan ook geen invloed hebben op de schelpdierkweek.
- Het gebruik van de Haringvlietssluisen als stormvloedkering zal weinig effect hebben op de aquacultuur en visserij gebruiksfuncties omdat er momenteel weinig activiteit plaats vindt in dit bekken. De Haringvlietssluisen hebben wel een belangrijke rol voor de fuikenvisserij aan de buitenzijde. Vissen die door de sluisen naar buiten komen zijn door de abrupte verandering in saliniteit makkelijker te vangen, daarnaast komen mariene vissen, vanwege het vele voedsel, af op de sluisen.
- In een zoute situatie kan het Volkerak-Zoommeer (opnieuw) een interessant gebied worden voor de schelpdierkweek. In de studie door Wijsman & Kleissen (2011) is op basis van verwachte omgevingscondities een kansenkaart gemaakt voor bodempercelen (mosselen en oesters) en MZI's. Een zout Volkerak-Zoommeer zal ook een geschikt habitat vormen voor exoten als de Japanse oester (*Crassostrea gigas*), Amerikaanse zwaardschede (*Ensis directus*) en Filippijnse tapijtschelp (*Tapes philippinarum*). Daarnaast kunnen de lage stroomsnelheden en lage zomer zuurstofconcentraties in een zout Volkerak-Zoommeer mogelijk wel beperkend worden voor schelpdierteelt. Productie van (pseudo)feces kan daarbij ook effect hebben op bodem zuurstofconcentraties omdat

deze waarschijnlijk niet gemakkelijk wegspoelen door de geringe stroomsnelheid. Een robuust zout Volkerak-Zoommeer, met een grote biomassa aan grazers kan bovendien meer nutriënten verwerken dan een eutrofiëringsgevoelig zoet meer, waardoor bovenstrooms minder vergaande emissiereducties nodig zijn. Echter, in een zout Volkerak-Zoommeer zal de visserij in de huidige vorm niet kunnen blijven bestaan (Schneider et al., 2006). De visserij op brasem, snoekbaars zal verdwijnen en ook de visserij op paling zal verminderen en mogelijk zelfs commercieel niet meer rendabel zijn. Andere soorten, voornamelijk soorten vanuit de Oosterschelde, zullen hun plaats innemen (mosselen, tong, schol, bot etc.). Of deze soortenverschuiving voldoende is, om de visserij rendabel te houden is nooit kwantitatief beoordeeld maar lijkt onwaarschijnlijk.

Recreatie

Het Haringvliet, Hollands Diep, Volkerak-Zoommeer en de Grevelingen liggen vlakbij grote steden zoals Vlaardingen, Rotterdam, Dordrecht, Roosendaal en Breda met een enorm potentieel aan bezoekers. Als de waterkwaliteit verbetert, de belevingswaarde toeneemt, de gebieden beter worden ontsloten en de natuur beter bereikbaar of zichtbaar wordt, dan kunnen ze uitgroeien tot trekpleisters voor dagtochten (o.a. van Kreveld & van Winden, 2007). Met de huidige trend naar meer regionale voedselproducten (Slow Food) biedt dit ook meer kansen voor het vermarkten van deze producten. Maatregelen die bijdragen aan bijvoorbeeld oesterriffen (bio-bouwers) kunnen wat dat betreft interessant zijn.

De betreffende gebieden zijn momenteel min of meer stagnante wateren of hebben slechts een beperkt getijdenverschil. Herstel van de natuurlijke dynamiek geeft een impuls aan de verbetering van de waterkwaliteit. Dit is momenteel vooral een probleem in het min of meer stagnante Grevelingenmeer, waar in de diepere delen zuurstofloze omstandigheden voorkomen, en het vermeste Volkerak-Zoommeer, alwaar blauwalgenbloei geregeld een groot probleem vormt.

Herstel van de natuurlijke dynamiek komt de waterkwaliteit ten goede en het vergroot doorgaans ook de belevingswaarde. Dit biedt kansen aan de bestaande vormen van recreatie en toerisme maar biedt ook nieuwe kansen aan bijvoorbeeld de duiksport, sportvisserij of zwemmen.

Aanpak van dijken biedt kansen om route-gebonden landrecreatie te verbeteren, zoals de aanleg van fiets- en wandelpaden buitendijks en biedt ook kansen om de natuur beter zichtbaar te maken (mits dit niet ten koste gaat van natuurwaarden). Als bij sediment strategie extra eilanden ontstaan kan dit een positieve invloed hebben voor de beleving- en wellicht de gebruikswaarde van de gebieden.

Knelpunten zijn er vooral in het aanpassen van de recreatieve infrastructuur, zoals jachthavens, die (veelal) niet op de dynamiek van de getijden zijn ingesteld. Wel biedt dit wellicht de mogelijkheid om bestaande jachthavens (nog) duurzamer in te richten.

Herstel van de getijdendynamiek betekent ook dat de wateren minder geschikt worden voor relatief onervaren watersporters.

Het vergroten van de bergingsfunctie van Delta-wateren is voorts vooral gericht op het relatief natte winterseizoen. Omdat dit voor recreatie het laagseizoen betreft, zijn de effecten op recreatie in die periode relatief gering. Daarbij kan men denken aan een beperking van de mogelijkheden voor natuurgerichte oeverrecreatie, omdat wandelpaden drassig zijn of onder water komen te staan. Mogelijk zijn er ook fysieke aanpassingen van de dijken nodig, zoals een keuze voor dijkverzwaring/verhoging of overslagbestendige dijken. De wijze van inrichten kan effect hebben op de belevingswaarde en gebruikswaarde van het gebied.

Scheepvaart

Eerdere studies geven aan dat de binnenvaart neutraal staat bij plannen voor verzilting (Bron: 'Waterberging in het Volkerak-Zoommeer', 2009). Hierbij wordt aangemerkt dat voorwaarden

voor de scheepvaart, zoals vaardiepte, veelal wettelijk zijn vastgelegd. Verwacht mag worden dat bij implementatie van mogelijke strategieën conflict met bestaande wettelijke verplichtingen wordt vermeden. De invloed van mogelijke strategieën op de scheepvaart zal naar verwachting pas substantieel worden als aan wettelijke garanties wordt getornd. Overigens zijn volgens het Tractaat met Vlaanderen nog wel ruime peilschommelingen mogelijk tussen NAP -100 cm en NAP +50 cm. Ingrepen in de sediment huishouding zouden eerder in conflict kunnen komen met de groeiambitie van de scheepvaart sector. Ook multifunctioneel gebruik van kades en innovatieve dijkvormen zou het huidige netwerk van binnenhavens en vaarwegen onder druk kunnen zetten.

Tegelijkertijd kan verbetering van het fijnmazige vaarnetwerk, soms in combinatie met herstel van estuariene dynamiek, kansen opleveren. De belangrijkste punten voor de scheepvaart waar veranderingen op kunnen treden zijn: wachttijden, doorvaarhoogte, herstellen verbindingen tussen watersystemen, en scheiden beroeps- en recreatievaart scheepvaart (bron: Holzhauser, H., Haas, H.A., Tosserams, M., 2006. Kansen in de Delta. Globale indicatie van kansen voor gebruikers van de Delta bij het herstel van estuariene dynamiek. Rijkswaterstaat-RIKZ, Middelburg. Werkdocument RIKZ/ZDA/2006.806.w). Het bestaande vaarnetwerk kan op nautisch en havengebied verbeterd worden, waarvan de binnenvaart, de recreatievaart, de chartervaart en de cruisevaart kunnen profiteren. Als integraal gekeken wordt naar combinaties die voor beroepsvaart (met name chartervaart en cruiseschepen) en toerisme/recreatievaart of wonen aantrekkelijk zijn kan het voor gemeenten aantrekkelijk zijn de nodige investeringen te plegen in de vele dorps en stadshavens. Voor de binnenvaart lijkt het kansrijker om een aantal (nieuwe) los- en laadkades te ontwikkelen in de regio, bij goede uitvalswegen en niet nabij woonkernen i.v.m. geluid- en milieuhinder (bron: Economische kansen in de Zuidwestelijke Delta, 2009, Programmabureau Zuidwestelijke Delta). Ook wanneer beroeps- en recreatievaart gescheiden kunnen worden en de wachttijden verkort, door bijvoorbeeld het verwijderen van het zoet-zout scheidingsstelsel bij de Krammersluizen, betekent dit een baat voor de scheepvaart (bron: Louisse, J., 2005. Indicatie baten Delta in Zicht. Een verkenning van de economische baten van natuurlijker Deltawateren. In opdracht Deltaraad / Provincie Zeeland). Grootschalig ingrijpen in de morfologie kan gevolgen hebben voor de hoeveelheid sediment die in de havens terecht komt. Omgekeerd is gesuggereerd dat materiaal uit onderhoudswerk in de havens, ingezet zou kunnen worden voor plaat herstel en behoud.

Als gevolg van maatregelen voor het herstel van de estuariene dynamiek zouden de waterstanden in het Krammer-Volkerak en Zoommeer zeer waarschijnlijk niet sterk veranderen. Wel kan verandering in de waterstand van het Hollandsch Diep als ongunstig voor de scheepvaart worden gezien omdat de beroepsvaart op dit moment voordeel heeft van een iets verhoogde waterstand in het Hollandsch Diep. De introductie van gedempt getij zou meer fluctuaties in de waterstand veroorzaken wat nadelig kan zijn voor de scheepvaart, in verband met vaardiepte en doorvaarhoogte. Denk aan langere perioden met een lagere waterstand of steigers en andere oevervoorzieningen die aangepast moeten worden. Dit zal in mindere mate gelden voor het Zoommeer (bron: Holzhauser, H., Haas, H.A., Tosserams, M., 2006. Kansen in de Delta. Globale indicatie van kansen voor gebruikers van de Delta bij het herstel van estuariene dynamiek. Rijkswaterstaat-RIKZ, Middelburg. Werkdocument RIKZ/ZDA/2006.806.w).

4.2 DP voorstellen zuidoostelijk deel

Het rapport “Deltaprogramma 2013; Mogelijke strategieën” van Deltaprogramma | Zuidwestelijke Delta (2012) stelt over het optimaliseren van de huidige strategie voor het zuidoostelijk deel (Oosterschelde, Westerschelde en Voordelta):

Oosterschelde:

- *Ontwikkelen innovatieve dijkconcepten langs de Oosterschelde in relatie tot ruimtelijke opgaven*
- *Optimaliseren van het beheerregime van de Oosterscheldekering voor veiligheid, vertragen van de erosie van de intergetijdengebieden (zandhonger) en het (economisch) gebruik*
- *Inzetten van de Oosterschelde voor waterberging, in relatie tot waterberging op het Grevelingenmeer en het Volkerak-Zoommeer (zie noordoostelijk deel)*
- *Vertragen van het proces van de erosie van intergetijdengebieden (zandhonger) in de Oosterschelde door gerichte suppleties en het optimaliseren van de sedimenthuishouding, mogelijk door het slim inzetten van de Oosterscheldekering*

Westerschelde:

- *Ontwikkelen innovatieve dijkconcepten langs de Westerschelde in relatie tot ruimtelijke opgaven*
- *Inzetten van de huidige bagger- en stortstrategie in de Westerschelde voor veiligheid*

Kust:

- *Optimaliseren van de zandsuppleties langs de kust, in relatie tot veiligheid, ecologie, economie en ruimtelijke ordening, en in relatie met de aansluitende wateren*



Fig. 4.3 Mogelijke strategieën veiligheid zuidelijke deel (Deltaprogramma | Zuidwestelijke Delta, 2012)

Niet zinvolle strategieën volgens Deltaprogramma | Zuidwestelijke Delta (2012) zijn:

Een volledig open of gesloten Oosterschelde. Wel zijn er nog onzekerheden over de zandhuishouding in de Oosterschelde en de kosten van het voortzetten van de huidige strategie.

Meer kennis hierover zou kunnen leiden tot het alsnog onderzoeken van het gedeeltelijk openen van de Oosterschelde.

Een afsluitbaar open of gesloten Westerschelde.

Sedimenthuishouding, kansen en effecten

Bij de mogelijkheden voor het optimaliseren van de huidige strategie wordt impliciet (*ontwikkelen innovatieve dijkconcepten*), en expliciet (*vertragen erosie; optimaliseren sedimenthuishouding; inzetten bagger- en stortstrategie; optimaliseren van zandsuppleties*) verwezen naar onderdelen van een sedimentstrategie (zie ook Fig. 4.3).

Voor de Wester- en Oosterschelde worden mogelijkheden genoemd voor interne herverdeling van sediment (combineren van bagger- en stortlocaties in de Westerschelde, en de combinatie van zandwinning in de geulen en suppleties op platen in de Oosterschelde). Door deze interne herverdeling slim in te richten (bijvoorbeeld door winning te combineren met het storten/suppleren op dijkvoorlanden en/of platen) kunnen meerdere doelen tegelijkertijd worden gediend. Echter, alleen interne herverdeling van sediment levert geen bijdrage aan het tegengaan van een groeiende sedimentvraag als gevolg van een stijgende zeespiegel. Om dat te bereiken is een toename nodig van het externe sedimentaanbod. Wanneer dat externe sedimentaanbod afwezig is (zoals in de Oosterschelde), of te klein in verhouding tot de stijgende zeespiegel (zoals op langere termijn is te verwachten voor de Westerschelde), kan het aanbod kunstmatig worden verhoogd door sedimentaanvoer vanuit externe bronnen (diepere Noordzee of van elders).

In Deltaprogramma | Zuidwestelijke Delta (2012) (zie Fig. 4.3) is voor de langere termijn, sedimentaanvoer vanuit externe bronnen voorzien voor zowel Wester- als Oosterschelde. Schrijnen en Buijs (2012) stellen in dit verband dat "*in de Oosterschelde de 'zandhonger' wordt bestreden als onderdeel van de instandhouding van het kustfundament*", daarmee impliciet de inzet voorstellend van externe sedimentbronnen voor het behoud van de Oosterschelde. Immers, de gangbare praktijk voor instandhouding van het kustfundament is gebaseerd op het aanvullen van de groeiende sedimentvraag als gevolg van zeespiegelstijging, door zandsuppleties vanuit de diepere Noordzee³. Voor het meegroeien van het kustfundament van de Voordelta met de zeespiegel, voorziet Deltaprogramma | Zuidwestelijke Delta (2012) (zie Fig. 4.3), zandsuppleties ten bedrage van 11,5 Mm³ per jaar.

³ *De huidige beleids-definitie van de sedimentvraag van het kustfundament is gebaseerd op de sedimentvraag van het actief zanddelende kuststelsel, te weten kustfundament, Waddenzee en Westerschelde. De Oosterschelde maakt hiervan geen deel uit omdat de sedimentuitwisseling verwaarloosbaar is.*

Het opnemen van de Oosterschelde in de definitie van het actief zanddelende kuststelsel, zou beleidsmatig betekenen dat de jaarlijkse zandbehoefte (= jaargemiddeld benodigde suppletievolume) zou moeten stijgen met een hoeveelheid gelijk aan het product van de oppervlakte van het Oosterscheldbekken en de stijgsnelheid van de zeespiegel. Bij een zeespiegelstijging van 2 mm/jaar komt dat neer op 0,75 Mm³/jaar (zie ook par. 3.2.1).

Als laatste willen we nog een opmerking maken over het onderdeel van de te optimaliseren huidige strategie, dat verwijst naar het inzetten van de Oosterschelde voor extra waterberging. Specifiek voor de Oosterschelde vraagt dit nadere aandacht voor de mogelijke effecten op de stormvloedkering. Er vanuit gaande dat extra berging op de Oosterschelde alleen is te realiseren bij een voldoende lage waterstand (om voldoende verval te scheppen tussen Volkerak-Zoommeer), bestaat het gevaar dat er een extra groot verval ontstaat over de gesloten kering (hoge waterstand buiten, lage waterstand binnen). De extra krachten op de kering die dit veroorzaakt, verdienen nader aandacht.

Ecologie: effecten en kansen

Effecten en kansen voor ecologie vanuit het sedimentperspectief en bij mogelijke strategieën Oosterschelde:

Effecten

- Het beïnvloeden van de interne herverdeling door gerichte suppleties kunnen helpen bij het afremmen van het verlies van intergetijdengebied in de Oosterschelde als gevolg van de zandhonger en zeespiegelstijging. Deze strategie is gericht op het behouden van het ecologisch potentieel van de platen en slikken: behoud van de litorale benthische gemeenschap, foerageer- en rustgebied voor vogels en rustgebied voor zeehonden. Bij suppletie komt een slik of plaat onder een laag zand te liggen en het duurt enige tijd voor het bodemleven zich hier kan herstellen. Er zijn dan ook aspecten aan suppletie die deze doelen kunnen beïnvloeden zoals, suppletiefrequentie, sedimentsamenstelling, tijd van het jaar, dikte van de laag. Daarnaast zal een toename in bagger en suppletie activiteiten ook effect hebben op primaire productie. Hetzelfde geldt voor het winnen van zand door baggeren en de effecten op het leven in de zeebodem. In Hoofdstuk 5 wordt hier dieper op ingegaan.
- Waterberging op de Oosterschelde is met name een watermaatregel die slechts geringe invloed heeft op de sedimenthuishouding. Deze maatregel zal afhankelijk van de duur, frequentie en hoeveelheden zoet water gevolgen hebben voor het systeem door invloed van zoet water. Met name de niet mobiele soorten dichtbij het inlaatpunt, kunnen hier mogelijk nadeel van ondervinden. Schelpdieren kunnen enige tijd lage zoutgehalten verdragen doordat ze hun schelp sluiten, maar de duur hiervan kan niet te lang van aard zijn. Waterberging zal echter zéér incidenteel voorkomen en van korte duur zijn (enkele getijden) waardoor, gecombineerd met de ruime hersteltijd effecten niet structureel zullen zijn.

Kansen

- Kansen vanuit ecologie zijn het slim gebruik van ecologische processen en strategische inzet van bepaalde soorten (biobouwers) die de sedimenthuishouding kunnen beïnvloeden om bij te dragen bepaalde doelen zoals veiligheid. Hoofdstuk 5 bespreekt verschillende vormen van biobouwers en innovatieve dijkconcepten en gaat hier dieper op in.
- Een andere kans is het suppleren van zand op plaatsen waar ongewenste Japanse Oesterbanken aanwezig zijn. Dit heeft twee voordelen, enerzijds zorgen de oesterschelpen voor het langer vasthouden van je sediment en anderzijds wordt de graasdruk op het systeem vermindert doordat het areaal aan oesters afneemt.

Gebruik: effecten en kansen

Aquacultuur en visserij / algemeen

Bij de effecten van bagger en stortstrategieën zal onderscheid gemaakt moeten worden tussen mobiele (bv. vissen) en immobiele (bv. schelpdieren) soorten. Omdat bagger en stortwerkzaamheden veelal een lokaal effect hebben, zal dit voornamelijk effect hebben op de immobiele soorten, terwijl verwacht wordt dat deze werkzaamheden vrijwel geen direct effect zullen hebben op de vispopulaties (visserij), omdat baggeractiviteiten vaak van korte duur zijn waardoor deze maximaal een tijdelijk effect kunnen hebben op migratie van vissen. Een studie naar de zandsuppletie op de Noordzee kust van Ameland liet vrijwel geen effect zien op de aanwezige visbestanden (Goudswaard et al. 2011). De aanwezige soorten waren blijkbaar zulke opportunistische soorten dat zij deze extra dynamiek kunnen overleven en/of het gebied snel kunnen rekoloniseren. Hierbij moet wel de kanttekening gemaakt worden dat de Noordzee een totaal andere dynamiek kent dan de Delta wateren wat betreft stromingspatronen en zwevend slib concentraties. Wanneer de werkzaamheden een langdurig effect hebben op de primaire productie zal dit indirect gevolgen kunnen hebben voor alle hogere trofische niveaus, en dus ook soorten die belangrijk zijn voor de visserij. Zoöplankton vormt bijvoorbeeld een belangrijke voedselbron voor vissen en verschuivingen in zoöplanktensamenstelling, dichtheden en biomassa's kunnen zich in potentie doorvertalen naar een afnemende voedselbeschikbaarheid voor opgroeiende vissen (kraam- en kinderkamerfunctie). En met hen de organismen die dáár voor hun voedsel weer afhankelijk van zijn. In Hoofdstuk 5 wordt dieper ingegaan op ecologische effecten en optimalisatie van bagger- en stort strategieën.

Gebruik van innovatieve dijkconcepten en biobouwers bieden ook mogelijkheden voor gebruik, zoals het combineren van aquacultuur en kustverdediging of het koppelen van kweekmethoden aan gebruik van biobouwers. Hoofdstuk 5 gaat hier dieper op in.

Schelpdierkweek / specifiek

Het winnen en suppleren van sediment kan gevolgen hebben voor schelpdieren. Hier wordt ingegaan op die gevolgen, de bredere ecologische effecten baggeren en storten staan beschreven in paragraaf 5.4.

Schelpdieren zijn voor hun voedselvergaring afhankelijk van het beschikbare fytoplankton, en veranderingen in primaire productie kunnen dan ook direct effect hebben op de groeisnelheden van schelpdieren. Daarnaast zijn er ook directe effecten van suppletie, baggeren en zandwinning op schelpdieren. Door hun kleppen te sluiten kunnen mosselen en oesters zich beschermen tegen een overbelasting aan sediment. Dit is echter een tijdelijke respons, en op de lange termijn kan het bedelven van schelpdieren met sediment mogelijk verstikking en sterfte tot gevolg hebben (Baptist et. 2009). Overleving en sterfte van schelpdieren is afhankelijk van de dikte van de gesuppleerde laag, de duur van blootstelling aan gesedimenteerd materiaal en het type sediment (Birklund & Wijsman 2005). Voor mosselen wordt aangenomen dat de fatale diepte ongeveer 1cm is (zie Baptist et al. 2009), en laboratorium experimenten voor de Japanse oester hebben uitgewezen dat de oesters een sediment dikte van maximaal 3cm kunnen overleven, de oesters doen dit door schelpbewegingen te maken en door actief water te pompen (Schaap 2012). Daarnaast kunnen hoge concentraties van fijn zwevend stof als gevolg van suppletie of zandwinning van invloed zijn op de voedselopname van schelpdieren. Een toename van de fractie anorganisch materiaal (toename slib:algen ratio) leidt daarnaast tot reductie van de voedselkwaliteit met het gevolg dat schelpdieren meer energie besteden aan het vergaren van voedsel en daardoor een lagere groei realiseren. Er moet echter ook aangemerkt worden dat een geringe toename in de concentraties van zwevende deeltjes de groei van mosselen kan verbeteren (Kiørboe et al. 1981, DHI, VKI & Geografisk Institu, 1993). Als verklaring voor dit

groeibevorderende effect is gesuggereerd dat de “grinding function” van het sediment bijdraagt aan de mechanische behandeling van organische deeltjes waardoor deze beter beschikbaar zijn voor de schelpdieren (Navarro et al., 1996). Recentelijk zijn verschillende empirische (de Mesel et al 2009, *Wijsman et al in progress-a*) en modelleringsstudies (*Wijsman et al in progress-b*, Brinkman et al *in progress*) die de directe en indirecte effecten van suppletie, baggeren en zandwinning op de schelpdierrespons in kaart hebben gebracht. deMesel et al (2009) beschrijft de resultaten van een zandsuppletieproef op de Galgenplaat (Oosterschelde) waarbij 150 000 m³ zand is opgespoten over een oppervlakte van 20 ha, zodat het oppervlak met gemiddeld 0.75 m is opgehoogd. De bagger- en stortwerkzaamheden hebben geleid tot tijdelijke en plaatselijke verhoogde concentratie aan zwevend stof in de waterkolom, maar de resultaten duiden niet op een negatief effect van bagger- en suppletiewerkzaamheden op de groei en ontwikkeling van de mosselen in de omgeving. Modelleringsstudies zouden uitgevoerd kunnen worden om de effecten van verschillende scenario's van de sedimentstrategie op de schelpdierproductie in kaart te brengen. Dit valt echter buiten de scope van de huidige rapportage.

Recreatie

De Westerschelde, Oosterschelde en Voordelta hebben reeds een grotendeels natuurlijke getijdendynamiek. De kansen voor recreatie zijn hier dan ook geringer dan voor de wateren in de noordelijke Delta. Qua kansen moet men vooral denken aan de aanpak van dijken, wat gepaard kan gaan met verbetering van route-gebonden landrecreatie, zoals de aanleg van fiets- en wandelpaden buitendijks. Hierbij dient echter goed rekening te worden gehouden met kwetsbare natuurwaarden zoals verstoring van voedselzoekende wadvogels op de slikken of rustende vogels op de hoogwatervluchtplaatsen (Boudewijn & van Horssen, 2010). Het aanleggen van kunstriften om de zogenaamde zandhonger tegen te gaan biedt kansen voor de duiksport. Het optimaliseren van de zandsuppletie in de Voordelta kan mogelijk gepaard gaan met kansen voor recreatie, zoals dat ook is te zien bij de zogenaamde 'Zandmotor' voor de kust van Zuid-Holland.

Scheepvaart

Dwarsstromingen kunnen hinderlijk zijn voor de scheepvaart. In de Westerschelde, oostelijk van de Platen van Ossensisse in het Zuidergat, kunnen de dwarsstromingen periodiek zo sterk worden dat zij een veilige doorvaart van schepen bemoeilijken. Ingrepen in de lokale morfologie en de veranderingen daarin (bijv. de autonome evolutie van de plaat in de richting van de geul) zijn hoogstwaarschijnlijk bepalend voor de ontwikkeling van de dwarsstromingen (bron: Evaluatiemethodiek Schelde-estuarium fase 2, 2011. in opdracht Vlaams-Nederlandse Schelde Commissie (VNSC)). Grootschalig ingrijpen in de morfologie kan gevolgen hebben voor de hoeveelheid sediment die in de havens terecht komt.

Het uitschakelen van het zoet-zoutscheidingsstelsel in de Krammersluizen zou zorgen voor een snellere doorgang naar de Oosterschelde. Dit is een direct voordeel voor de scheepvaart (bron: Holzhauser, H., Haas, H.A., Tosserams, M., 2006. Kansen in de Delta. Globale indicatie van kansen voor gebruikers van de Delta bij het herstel van estuariene dynamiek. Rijkswaterstaat-RIKZ, Middelburg. Werkdocument RIKZ/ZDA/2006.806.w).

5 Toepassingen van de sedimentstrategie

5.1 Argumentatie achter sedimentstrategie

5.1.1 Sedimentbalans randvoorwaarde voor ontwikkeling

Kijkend naar de ontwikkelingen in de sedimenthuishouding – als gevolg van de huidige klimaat- en zeespiegelcondities en de huidige strategie, maar ook van de voorgestelde optimalisatie –, is de grootste gemene deler dat er sprake is van een groeiende sedimentvraag. De groeiende onbalans met het sedimentaanbod, leidt tot interne herverdeling van het aanwezige sediment. Deze herverdeling (lokale erosie en sedimentatie) leiden tot veranderingen in functiewaarden (sterkte van waterkeringen, habitatkarakteristieken, vaargeuldieptes etc.). Kort gezegd:

- Management problemen ontstaan door (ongewenste) herverdelingen van sediment (*de kwaliteit* aspecten).
- Herverdelingen van sediment hangen samen met een onbalans tussen vraag en aanbod van sediment (*de kwantiteit*).

Terwijl de achterliggende oorzaak van veranderingen in functiewaarden voor een belangrijk deel is gelegen in een bestaande (en een - veelal passief - groeiende sedimentvraag) van het systeem, worden bij de bestrijding van ongewenste veranderingen, traditioneel, veelal maatregelen genomen die geen rekening houden met de onderliggende oorzaak. Aanleg van bijvoorbeeld vooroeverbestortingen of golfbrekers bieden lokaal (en tijdelijk) oplossingen, zonder dat daarmee de sedimentvraag van het systeem wezenlijk wordt verminderd.

Om aan de duurzaamheid van de oplossingen beter invulling te geven, beschouwen we bij de ontwikkeling van mogelijke sedimentstrategieën, de sedimentbalans van het (deel)systeem als uitgangspunt (zie par. 5.2 en 5.3). Om vervolgens een optimale afstemming op ecologische doelen (bv. optimaal behoud van intergetijden gebied met bodemleven) te kunnen bereiken en de kansen voor optimalisatie van een sedimentstrategie vanuit ecologie (bv. door gebruik van schorren of oesterriffen) te belichten (zie par. 5.3.4).

5.1.2 Verschillende doelen, verschillende invulling van de strategie

Technisch zijn er verschillende vormen van de sedimentstrategie mogelijk. Welke daarvan wordt gekozen zal afhangen van welke doelen worden nagestreefd. Zoals al aangegeven in par. 5.1.1, is de (fysische) oorzaak van veel lokale problemen veelal gelegen in een probleem dat zich voordoet op een grotere schaal; de sedimentbalans van het systeem als geheel. Beleidsdoelen die zich alleen beperken tot het oplossen van lokale (en tijdelijke) problemen, leiden tot een andere strategie, dan doelen die ook de onderliggende oorzaken op systeemniveau willen aanpakken. Afhankelijk van het doel en de schaal, krijgt de sedimentstrategie een andere invulling.

Systeem schaal

Op de grootste schaal gaat het om doelen welke in beleidstermen worden omschreven als “het duurzaam behoud en ontwikkelen van functies”, of om “het behoud van het natuurlijk herstelvermogen van het systeem”. Gelet op de factoren die bepalend zijn voor de lange termijn ontwikkeling van kustgebieden (zie par. 3.1), vereisen deze doelen dat de balans tussen vraag en aanbod van sediment op peil blijft. Meer concreet komt dat neer op

- het beheersen van de sedimentvoorraad, ofwel van de bron van waaruit kustfundament en deltabekken kunnen meegroeien met een stijgende zeespiegel; en
- het behoud / herstel / beheersen van een optimale mate van hydro- en morfodynamiek (en/of estuariene dynamiek)

De sedimentstrategie die zich op deze grootschalige doelen richt, zou in theorie kunnen mikken op het beïnvloeden van de hydrodynamiek op systeemniveau, door te sleutelen aan de afsluitdammen. Echter, zoals beschreven in H.4, worden de mogelijkheden daartoe als weinig kansrijk ingeschat. Meer veelbelovend lijkt het rechtstreeks beïnvloeden van het sedimentaanbod (door suppletie) en/of de sedimentvraag (door baggeren / zandwinning), uitgedrukt in een gewenst sedimentvolume per tijdseenheid (zie par. 5.2).

Op systeem schaal richt de sedimentstrategie zich primair op de *kwantiteit* van het sediment.

Lokale schaal

Op kleinere schaal gaat het om het bestrijden van meer specifieke, en lokale problemen, en gelden doelen zoals:

- het handhaven van de veiligheidsnormen (bv de normafslaglijn en basiskustlijn);
- behouden / vergroten van het areaal ecotopen zoals intergetijdengebied/oeverhabitat ten behoeve van natuur/Natura 2000
- het optimaliseren van ecologische kwaliteit en van mogelijkheden voor economische ontwikkeling, en
- het vergroten van de kennis over de werking van het systeem en over de optimale beheersmethode.

De sedimentstrategie die zich op deze kleinschaliger doelen richt, definieert de lokaties en tijdstippen waar sedimentverplaatsingen zijn gewenst (de verdeling van het sediment: hoeveel, is waar, wanneer gewenst, van welke kwaliteit); zie par. 5.3.

Op lokale schaal richt de sedimentstrategie zich primair op de *kwaliteit* aspecten van het sediment.

5.1.3 Grote en kleine schaal verbinden

Voor de ontwikkeling van een sedimentstrategie wordt een belangrijke leidraad gevormd door de vraag:

- Is het mogelijk oplossingen te vinden voor lokale (en tijdelijke) functieproblemen, welke tegelijkertijd bijdragen aan het terugdringen van het sedimenttekort in het systeem als geheel?

Of, andersom geredeneerd:

- Is het mogelijk de sedimentbalans van het systeem positief te beïnvloeden zodanig, dat tegelijkertijd een oplossing wordt geboden voor lokale (en tijdelijke) functieproblemen?

Door te kijken naar mogelijkheden om specifieke en lokale doelen te realiseren door het toevoegen van sediment, trachten we een verbinding te leggen met het grootschaliger doel om de systeemvoorraad op peil te houden. Feitelijk is de huidige strategie voor de kust, een voorbeeld waarbij volgens deze leidraad wordt gewerkt. De totale sedimentvraag van het kustfundament is erkend als maat voor de omvang van de benodigde zandsuppleties ten einde duurzaam (voor de lange termijn) functiebehoud te garanderen. Bij het jaarlijks vast te stellen suppletieschema, wordt besloten over de ruimtelijke verdeling. Kern van de sedimentstrategie gericht op duurzame ontwikkeling, is dan ook het vaststellen van een bepaald volume dat voor dit doel, per tijdseenheid aan het (deel)systeem zou moeten worden toegevoegd.

5.2 Sedimentstrategie op systeem schaal

De sedimentvoorraad binnen een deelsysteem bepaalt de mogelijkheden / potenties voor de functies van dat systeem. De verdeling van dat sediment in de tijd en in de ruimte (de plaats waar op een bepaald moment, een bepaalde hoeveelheid sediment ligt van een bepaalde kwaliteit) bepalen de werkelijke waarde voor een bepaalde functie (zie ook H3 en H4). Volgens deze visie is “zand de drager van alle functies”, zoals omschreven in de Nota Ruimte (2006). Voor een duurzame ontwikkeling is het handhaven van de sedimentvoorraad in het (deel)systeem dan ook een basisvoorwaarde. De sedimentbalans van een kustsysteem levert een goede indicatie voor het vaststellen van de sedimentstrategie gericht op duurzame ontwikkeling van het systeem.

Voor de uiteindelijke keuze van de grootschalige sedimentstrategie voor de ZW Delta, is het van belang duidelijk te maken welk streefbeeld wordt nagestreefd. Gaat het om het handhaven van de huidige situatie (T0 = 2012), om het handhaven van de situatie welke is ontstaan na afsluiting van de bekkens (T0 = 1970 cq. 1986) of is het doel een volledig nieuw morfologisch evenwicht te scheppen aangepast aan de nieuwe situatie na de afsluitingen? In al deze gevallen is de benodigde inspanning verschillend:

- De sedimentstrategie op de systeem schaal van de verschillende bekkens, gericht op het handhaven van de status quo, zou zich vastleggen op het aanvullen van het sedimenttekort dat ontstaat door zeespiegelstijging (en voor de kust tevens voor het tekort ontstaan door zandwinning in de Westerschelde; zie par. 3.2.1).
Tabel 5.1 vat samen wat dit zou betekenen aan sedimentbehoefte voor de verschillende bekkens per mm zeespiegelstijging per jaar.

Tabel 5.1
Sedimentbehoefte per deelgebied om te kunnen meegroeien met de zeespiegel

Sedimentbehoefte	Toename per mm z.s.s per jaar	
	Mm3/jaar	
Grevelingenmeer	0,11	
Volkerak - Zoommeer	0,09	
Haringvliet – Hollandsch Diep	0,22	
Oosterschelde	0,38	
Westerschelde	0,25	
Voordelta	1,3	

- De sedimentstrategie welke zich niet alleen richt op het handhaven van de status quo / meegroeien met de zeespiegel, maar ook op het wegwerken van het sedimenttekort dat is ontstaan sinds het gereedkomen van de afsluitdammen, verplicht zich tot het doen van een grotere inspanning (zie Tabel 5.2).

Tabel 5.2
Sedimentbehoefte per deelgebied om sedimenttekort te compenseren, ontstaan sinds de afsluitingen

Sedimentbehoefte	Gesommeerd tekort over periode	Gesommeerd tekort over periode
	1970 – 2011	1986 – 2011
	Mm3	
Grevelingenmeer	9	
Volkerak - Zoommeer	7	
Haringvliet – Hollandsch Diep	18	
Oosterschelde		19

- Tot slot, als een soort theoretisch extreem, is een sedimentstrategie denkbaar die naast bovenstaande doelstellingen, ook nog nastreeft om een nieuw morfologisch evenwicht te scheppen aangepast aan de veranderde situatie na de bouw van de afsluitdammen. Strikt theoretisch zou dat kunnen door het stillen van de zandhonger die door de werken is ontstaan (zie Tabel 5.3). In de praktijk lijkt dit echter volstrekt onrealistisch. Wel illustreren de grote sedimenttekorten in de deelsystemen het belang van de sedimenthuishouding voor de lange termijn ontwikkeling van deze gebieden.

Tabel 5.3

Sedimenttekort per deelgebied, ontstaan als rechtstreeks gevolg van de afsluitingen

<i>Sedimentbehoefte</i>	<i>Sedimenthonger als rechtstreeks gevolg van afsluitingen</i>
	<i>Mm3</i>
Grevelingenmeer	600
Volkerak - Zoommeer	300
Haringvliet – Hollandsch Diep	750
Oosterschelde	500

5.3 Sedimentstrategie op lokale schaal

5.3.1 Inleiding

Bij de ontwikkeling van de sedimentstrategie op lokale schaal, onderzoeken we welke lokale doelen zijn te bereiken door middel van het beïnvloeden van de sedimenthuishouding.

Als belangrijkste doelstellingen beschouwen we daarbij

- het behoud van veiligheid tegen overstroming,
- het optimaliseren van het daaraan gerelateerde onderhoud van de waterkeringen en
- het optimaliseren van de ecologische kwaliteit en gebruiksfuncties.

Per deelgebied willen we voor elk van deze doelstellingen nagaan, hoe de sedimentstrategie er uit zou kunnen zien om aan deze doelen te kunnen bijdragen.

Voor het beïnvloeden van de sedimentstrategie beschouwen we grofweg drie categorieën: suppleren, zandwinning en erosieremming / sedimentatie bevordering.

Voor de grote schaal hebben we gezien (par. 5.1 en 5.2), dat een kansrijke methode er vooral in bestaat om sediment aan het systeem toe te voegen. Dat levert een belangrijke randvoorwaarde voor de strategie op kleinere schaal: suppleren. Hoofdvragen zijn dan waar leggen we het neer, en hoeveel, van welke sedimentsamenstelling en hoe vaak (zie 5.3.2).

Wanneer sediment wordt toegevoegd is echter een even belangrijke vraag waar en hoe dat sediment wordt gewonnen: zandwinning (zie 5.3.3). Behalve vragen over de locatie van sedimentbronnen voor suppletie, komt in de sedimentstrategie ook de vraag aan de orde waar door zandwinning kansen ontstaan voor bepaalde functies (bv. scheepvaart).

Op de lokale schaal komt daar – in tegenstelling tot de systeem schaal, waar dat als weinig kansrijke optie ter zijde is gelegd – nog een mogelijkheid bij; te weten het primair beïnvloeden van de hydrodynamiek, bijvoorbeeld door het scheppen van luwtes die sedimentafzetting bevorderen of erosie remmen (zie 5.3.4) Te denken valt dan aan strategisch gebruik van biobouwers (en bepaalde constructies). Om ook een bijdrage te kunnen leveren aan het oplossen van sedimenttekorten op systeem schaal, zijn hierbij vooral combinaties denkbaar met suppleties.

5.3.2 Suppleren

Suppleren op en langs waterkeringen

Gelet op het primaire belang van veiligheid tegen overstroming en op de staat van de waterkeringen in de verschillende deelgebieden (Fig. 5.1), is voor alle deelgebieden een optie om sediment in te zetten voor de benodigde versterking van die waterkeringen en voor het optimaliseren van het onderhoud daarvan.

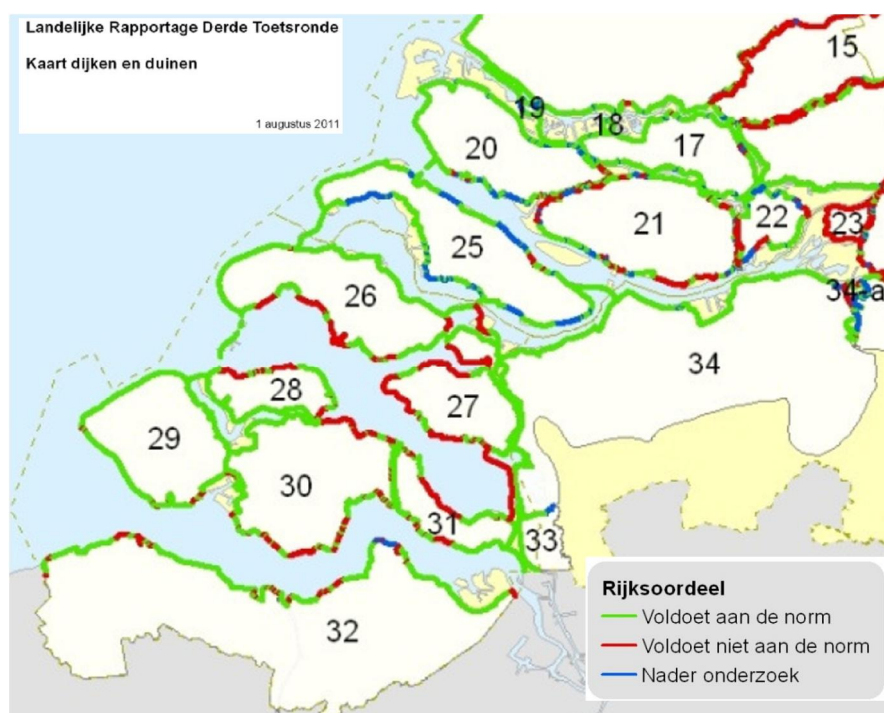
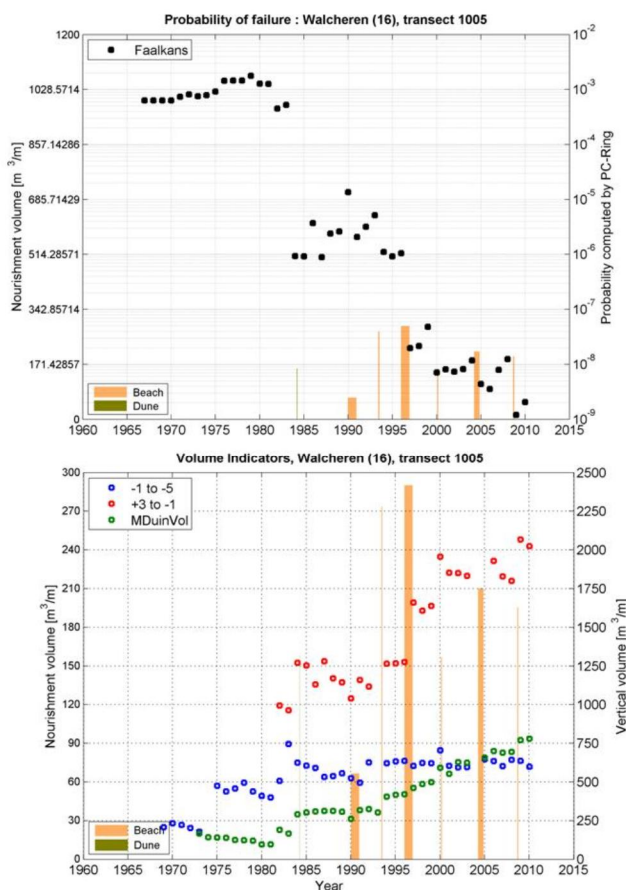


Fig. 5.1 Resultaten Derde Toetsronde Waterkeringen (2011)

Zoals voor de kust een duinverzwaring met zand de duinveiligheid direct vergroot en strand- en onderwatersuppleties de kustlijn onderhouden (en daarmee ook de omvang van het duin), geldt dat in principe ook voor de dijken rond de bekkens. Sediment dat wordt aangebracht tegen de dijk (tegen de dijkvoet en het dijklichaam daarboven) versterkt de dijk en vergroot de veiligheid. Sediment aangebracht op het voorland en de vooroever van de dijk, draagt bij aan het verminderen van de golfbelasting tijdens rustige en gemiddelde omstandigheden, en is daarom belangrijk voor het onderhoud van de waterkering. Bovendien, wanneer er voldoende sediment aanwezig blijft op het voorland en de vooroever, kunnen deze – vergelijkbaar met strand en onderwateroever voor het duin – als lokale sedimentbronnen fungeren waardoor de waterkering op natuurlijke wijze kan meegroeien met de zeespiegel, indien de aanvoerende krachten sterk genoeg zijn. Het zal echter wel eisen stellen aan de samenstelling van het sediment dat wordt gebruikt voor het suppleren van de voorlanden.

Naast positieve effecten op de waterkering bieden deze suppleties kansen voor ecologische optimalisatie door het scheppen en onderhouden van condities voor specifieke habitatontwikkeling met name voor zandige habitats zoals duinen en stranden en in mindere mate voor schorren en slikken. Of het ook daadwerkelijk kan worden toegepast zal van plaats tot plaats verschillen. Veel zal ook afhangen van de aard en de hoeveelheid van het te gebruiken sediment (grind, zand of klei bijvoorbeeld). Maar de voorbeelden zijn er:

- Langs de (Voordelta)kust heeft de suppletie ervaring sinds 1990 geleerd dat met strand- en onderwatersuppleties de waterkering kan worden versterkt en het duinareaal uitgebreid (Fig 5.2).
- Binnen de Oosterschelde kennen we de dijkvoetverzwaring met een zandig duin die wordt voorbereid voor de dijk bij Sophiastrand (Fig. 5.3), en de plannen voor versterking van de Oesterdam door het uitbreiden van het voorland (Fig. 5.4).



Figuur 5.2 Volume ontwikkeling in verschillende dieptezones (-1 tot -5, +3 tot -1 en MDuinvol –eerste duinregel) en faalkans van de duinwaterkering over de periode 1965 – 2010, met een indicatie van uitgevoerde suppleties (Santinelli, 2012)

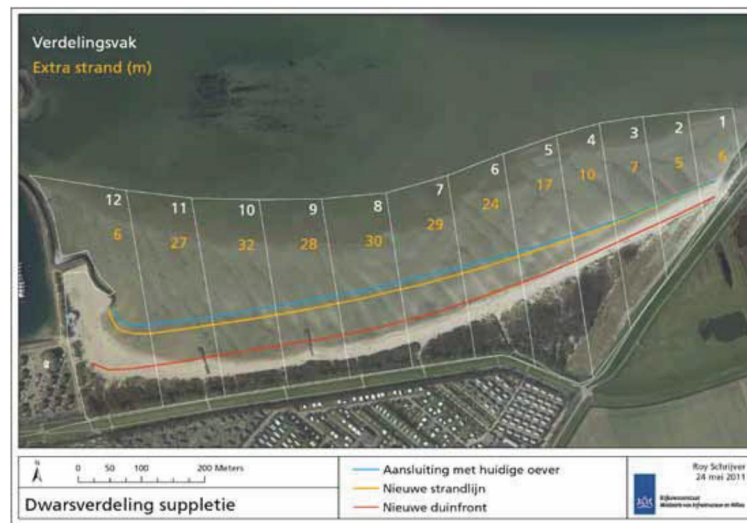


Fig 5.3 Voorlopig ontwerp suppletie Sophiastrand, Roompot, Oosterschelde (Rijkswaterstaat 2012)

Afbeelding 1.2. Ontwerp veiligheidsbuffer Oesterdam

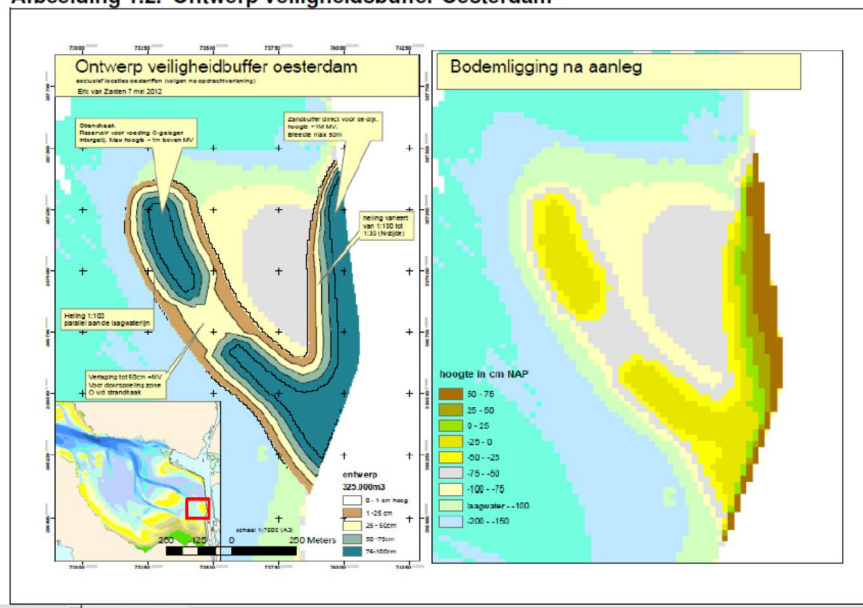


Fig. 5.4 Suppletie ontwerp veiligheidsbuffer Oesterdam, Oosterschelde (Rijkswaterstaat 2012)

Suppleren in geulen

De oorzaak van het grote sedimenttekort (de sedimenthonger) in de verschillende deelsystemen na afsluiting, is gelegen in de abrupte reductie van het getijvolume. De geulen zijn te ruim geworden. Omdat hiermee de kern van de problemen zou kunnen worden aangepakt, is suppleren in geulen dan ook een goede optie. Om ook op kortere termijn rendement te kunnen hebben van geulsuppleties komen in de eerste plaats locaties in aanmerking waar het geulgedrag leidt tot (acute) problemen. Te denken valt dan in de eerste plaats aan plekken waar opdringende geulen de waterkering bedreigen. Een bijzonder geval

vormen de erosiekuilen aan weerszijden van de Oosterscheldekering welke zich nog steeds verder ontwikkelen en de stabiliteit van de stormvloedkering kunnen benadelen.

Opdringende geulen

Bij opdringende geulen vindt een overheersende erosie plaats langs de landwaartse oever van de geul, waardoor deze zich langzaam landwaarts verplaatst en geleidelijk de waterkering ondergraaft. Dit fenomeen doet zich vooral voor in het actieve Zuidoostelijk deel van de delta. Bekende locaties waar het een rol speelt zijn het Oostgat voor ZW Walcheren, de Banjaard voor Nrd Beveland en het Krabbengat voor Schouwen. Ook binnen de Oosten- en Westerschelde doen zich in de geulen situaties voor waarbij de hellingen van de geulwand kunnen leiden tot gevaar voor dijkvallen, bijvoorbeeld bij de Schaar van Colijnsplaat. De sedimentstrategie streeft er naar deze problemen te beheersen door suppleties op de erosieve wand van de geul, zogenaamde geulwandsuppleties (zie ook Fig. 5.7). Inmiddels zijn de eerste ervaringen met geulwandsuppleties opgedaan. In het Oostgat voor het eerste in 2005 en herhaald in 2009, in het Molengat bij Texel, en in het Schulpengat bij Den Helder in 2010.

Bij gebruik van sediment van buiten het systeem, dienen geulwandsuppleties een tweeledig doel: het in toom houden van de geulpositie en bijdragen aan het bestrijden van de zandhonger van het systeem. Er zijn echter ook combinaties denkbaar waarbij ook lokale zandbronnen worden ingezet; we spreken dan van “morfologisch baggeren” (zie par. 5.3.3 – zandwinning ten dienste van geulverlegging).

Erosiekuilen rond Oosterscheldekering

Aan weerszijden van de stormvloedkering worden kuilen uitgeschuurd door de sterke turbulentie die wordt opgewekt door de kering en door de bochten van de aanstromende geulen. Deze erosiegaten zijn inmiddels zo diep geworden (tot 65 meter onder NAP), dat verweking en zettingsvloeiingen zijn opgetreden, met name aan de steile zijanten. Uiteindelijk kan dit een negatieve invloed hebben op de stabiliteit van de kering. De sedimentstrategie kan bijdragen dit probleem op te lossen.

Om de zijanten van de kuilen minder steil te maken, zou zand aangebracht kunnen worden, waarbij een profiel moet worden gevormd zodanig dat daarna zettingsvloeiingen niet meer kunnen optreden. Dit houdt automatisch in dat ook het centrale deel ondieper moet worden gemaakt, omdat alleen het opvullen van de zijanten juist een extra belasting zou vormen waardoor zettingsvloeiingen juist sneller kunnen optreden.

Afhankelijk van de vorm zou dit éénmalig meerdere tientallen miljoenen m³ vergen: een Zand-schild voor de Oosterscheldekering. Dit profiel zou vervolgens regelmatig kunnen worden aangevuld, om de doorgaande erosie te compenseren ⁴. Om de erosie in de drie erosiegaten binnen de Oosterschelde, jaarlijks weer aan te vullen is ca. 3 miljoen kubieke meter nodig. Dit sediment gaat niet verloren maar wordt grotendeels verder bekkeninwaarts gebracht en helpt dus om de sedimenthonger van het systeem op te vangen.

⁴ Alternatieven zouden kunnen zijn om in plaats van zand, grind te gebruiken; of, om na vulling met zand, de erosiekuilen te bekleden met steenwerk. Het is echter de zeer de vraag of het laatste een duurzame oplossing is, gezien de vele stenen bekledingen die in het verleden weer zijn ondermijnd en onderspoeld.

Suppleren op platen

Naast de genoemde opties om te suppleren langs de randen van het (sub)systeem en in de geulen, bestaat de mogelijkheid om sediment toe te voegen aan de (vrij liggende) intergetijden platen. Dergelijke suppleties kunnen een (kleine) bijdrage leveren aan het reduceren van de golfhoogtes achter de platen en daarmee een positieve invloed hebben op het onderhoud van de waterkeringen. Belangrijke doelen van plaatsuppleties liggen echter ook op ecologisch vlak.

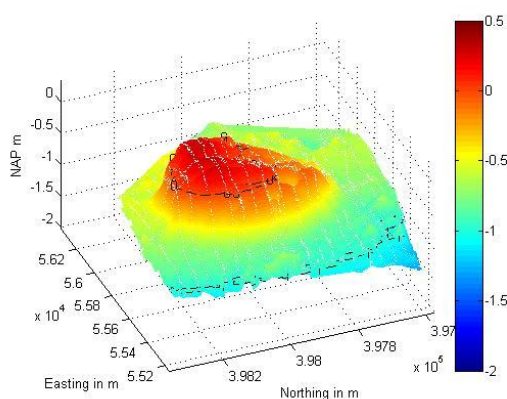


Fig.5.5 Proefsuppletie Galgeplaat

Behoud en herstel van habitatverlies

De zandhonger in de Oosterschelde veroorzaakt erosie van de platen en slikken en heeft met name gevolgen voor foerageer- en rustgebied voor vogels en zehonden (zie effecten zandhonger in paragraaf 3.2.1). Door plaatsuppleties zou deze erosie gecompenseerd kunnen worden. Een suppletie zorgt echter wel voor het bedelven van het bodemleven (tevens voedselbron voor vogels). Verschillende factoren zoals, suppletiefrequentie, korrelgrootteverdeling, tijd van het jaar, dikte van de laag zijn van invloed op sterfte van bodemleven en hersteltijd (zie ook paragraaf 4.2 en 5.4). Om dit te onderzoeken is een eerste proefsuppletie met 130.000 m³ inmiddels uitgevoerd op de Galgeplaat in de Oosterschelde (Fig. 5.5) en een tweede in Schelphoek in de Oosterschelde.

Scheppen natte natuurwaarden

In de bekkens van Haringvliet – Hollandsch Diep, Grevelingenmeer en Volkerak - Zoommeer bestaan kansen voor het scheppen van extra natte natuurwaarden (en vergroten habitat voor (kust)broedvogels) door het uitbreiden van het areaal van bestaande slikken en platen.

Een voorbeeld van de mogelijkheden komt naar voren uit de verkenning in Haringvliet – Hollandsch Diep door Pieters (2005): aanbrengen van kleine eilandjes en glooiende overgangen in de ondiepten tussen bestaande vooroeververdediging en de bestaande plaat / slik.

Vergroten estuariene dynamiek

Belangrijke ecologische kenmerken van estuaria hangen samen met de overgang van zoet naar zout water. De ligging van deze overgang wordt bepaald door de afstand waarover het getij bij vloed, het estuarium kan binnendringen. Bij een stijgende zeespiegel zal deze grens in landwaartse richting opschuiven. Dat heeft ecologische effecten, maar ook invloed op de mogelijkheden voor zoetwatervoorziening.

Deze problemen komen aan de orde in het Haringvliet, wanneer zou worden besloten om daar weer getij toe te laten. Met uitvoering van het Kierbesluit is dat aan de orde. De effecten daarvan binnen het bekken zijn echter zeer beperkt. Wel wordt door de toegenomen invloed van zoet water in de Voordelta monding van het Haringvliet, aldaar het estuariene karakter versterkt. Dat karakter zou in theorie nog verder versterkt kunnen worden door er voor te zorgen dat de getijgolf minder makkelijk het Voordeltamondingsgebied van het Haringvliet kan binnen dringen.

Op deze gedachte is het voorstel gebaseerd om in de Haringvlietmonding een “Balance Island” aan te leggen; het opspuiten van een zandplaat van zo'n 5 Mm³ (Fig. 5.6).

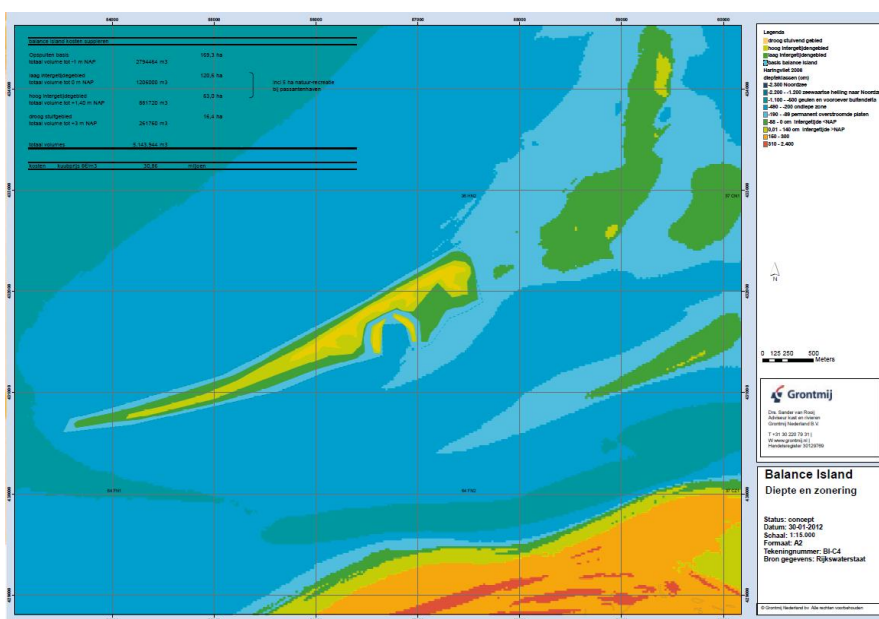


Fig. 5.6 Balance Island voorstel (Van Rooij et al., 2012)

Met “Balance Island” wordt voorzien dat hiermee de estuariene gradiënt in het mondingsgebied zou kunnen worden verlengd, met gunstige effecten op de ecologie van gebied. Tegelijkertijd zou het “island” een bijdrage kunnen leveren aan golfreductie op de vaste land kust van Goeree en Voorne en aan het scheppen van extra supra- en intergetijd habitat (Van Rooij et al., 2012). Nader onderzoek zal moeten uitwijzen of het ontwerp effectief hieraan een bijdrage zal kunnen leveren.

5.3.3 Zandwinnen

Onder zandwinnen verstaan wij hier uitsluitend de activiteit welke op een bepaalde locatie zand verwijdert. De bestemming van dat zand kan verschillen. In onderstaande worden telkens verschillende bestemmingen benoemd.

Zandwinning ten dienste van suppleties

Binnen de sedimentstrategie heeft zandwinning in de eerste plaats als doel om sediment te verschaffen voor suppleties elders (zie par. 5.3.2). De locatie en de wijze van zandwinning wordt dan primair bepaald door de eisen die worden gesteld door de suppletiedoelen. Niet alleen eisen over de hoeveelheid, de kwaliteit en het type sediment bepalen de lokatie van de winning, dat geldt ook voor de eis om al dan niet een bijdrage te leveren aan het terugdringen van een sedimenttekort binnen het (deel)systeem. Is laatstgenoemde een duidelijke eis, dan moet de winlokatie gevonden worden buiten het (deel)systeem zelf. Voor de ZW Delta als geheel betekent dit dat de aangewezen winlokatie buiten het kustfundament ligt; op de Noordzee.

Dat neemt niet weg dat zandwinning binnen het (deel)systeem wel degelijk mogelijk is. Dan kan het bijvoorbeeld gaan om interne herverdeling waarbij sediment uit diepere delen wordt gewonnen en op platen en voorlanden wordt neergelegd.

Ook zijn combinaties denkbaar van interne herverdeling en externe aanvoer van zand. Bij wijze van voorbeeld: zand voor het meegroeien van de (afgesloten) bekkens zou gewonnen kunnen worden in de Voordelta dicht bij de afsluitdammen, terwijl vervolgens de voorraad in de Voordelta weer aangevuld zou kunnen worden door een suppletie met Noordzeezand in bijvoorbeeld, een buitendeltageul.

Maar het kan ook gaan om winningen die primair zijn gekoppeld aan een ander doel. Hieronder volgen voorbeelden:

Zandwinning ten dienste van onderhoud vaargeulen en havens

Onderhoud van vaargeulen en havens betekent baggerwerk met een vastomlijnd doel. De lokatie van de winning en de hoeveelheid en kwaliteit van het te winnen materiaal staan grotendeels vast. Belangrijke vragen zijn waar, wanneer en hoe het gewonnen materiaal optimaal kan worden gestort.

De sedimentstrategie levert een bijdrage aan het beantwoorden van deze vragen door waar mogelijk, een koppeling te leggen met wensen voor suppleties (zie 5.3.2). Feitelijk gaat het dan om interne herverdeling van sediment binnen het (deel)systeem. Daarmee wordt weliswaar geen bijdrage geleverd aan het terugbrengen van het sedimenttekort op systeemniveau, maar getracht interne sedimentbronnen te gebruiken voor lokale wensen. Een voorbeeld hiervan wordt geleverd door het bagger- en stortbeleid in de Westerschelde (zie par. 3.2.2). Een ander is de (proef)plaatsuppletie op de Galgeplaat in de Oosterschelde, welke is uitgevoerd met zand dat beschikbaar kwam uit het vaargeulonderhoud van de Witte Tonne Vlije.

De mogelijkheden van deze koppeling van doelen (vaargeul- en havenonderhoud met verschillende suppletiedoelen), ook in de andere bekkens, verdienen nader aandacht. In het bijzonder geldt dat voor de verkenning van de kansen die zouden kunnen worden geboden door het gebruik van onderhoudsbagger uit de Rotterdamse haven voor bijvoorbeeld het versterken van de slikken en platen in het Haringvliet – Hollandsch Diep.

Zandwinning ten dienste van geulverlegging/beïnvloeding

Naast baggerwerk om de vaargeul op diepte te houden, kan zandwinning meer in zijn algemeenheid, ook worden ingezet om stroomgeulen te beïnvloeden. Stroomgeulen die problemen veroorzaken doordat ze in een ongewenste richting opschuiven, kunnen worden aangepakt door suppleties op de erosieve wand van de geul (zie boven). Het bronmateriaal voor deze geulwandsuppleties kan worden aangevoerd van buiten het systeem. In dat geval

wordt bijgedragen aan het terugdringen van het sedimenttekort van het gehele systeem en wordt de suppletie zelf ingezet als een onderhoudsmaatregel gericht op het handhaven van de status quo van de geul(ligging). Door de geulwandsuppletie wordt de geul versmald.

Een andere optie richt zich primair op een meer structurele oplossing voor het geulprobleem door te trachten de geul te verleggen. Dat kan bijvoorbeeld door het zand dat wordt gebruikt voor suppletie op de erosieve wand, te winnen op de tegenover gelegen geulwand. Het doel hiervan is om de gehele geul in meer zeewaartse richting te verleggen. Bijkomend voordeel van dit zogenaamde “morfologisch baggeren” is de relatieve lage kostprijs van de geulwandsuppletie zelf; de bron is immers nabij gelegen.

In de sedimentstrategie zijn natuurlijk ook combinaties denkbaar van morfologisch baggeren met zandsuppleties afkomstig van de Noordzee. Een voorbeeld toont Fig. 5.7, waarin het principe is aangegeven van de geulwandsuppletie / geulversmalling zoals uitgevoerd in het noord-westelijk deel van het Oostgat, maar ook van de voorgestelde combinatie met “morfologisch baggeren” in het zuid-oostelijke deel.

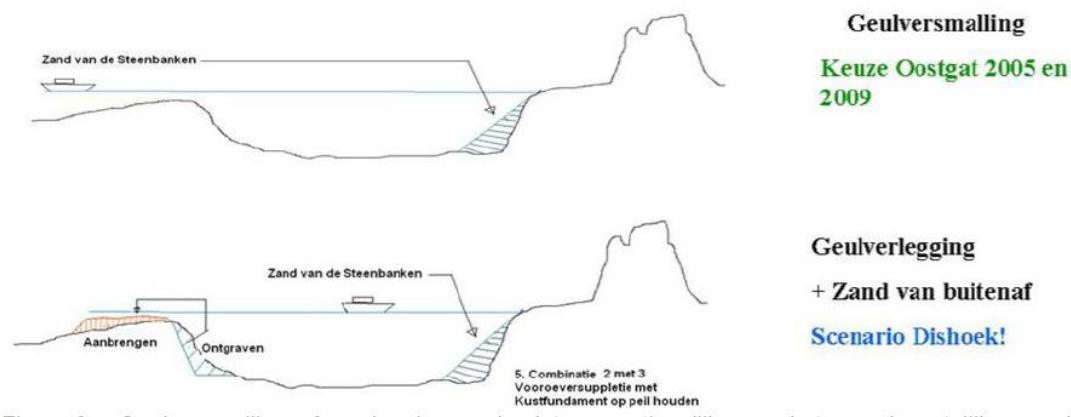


Fig. 5.7 Geulversmalling of –verlegging zoals dat respectievelijk voor het noord-westelijk en zuid-westelijk deel van het Oostgat kan worden toegepast (bron:)

5.3.4 Sedimentatie en erosie beïnvloeden (biobouwers)

In aanvulling op met name suppletiemaatregelen, kunnen biobouwers een rol spelen om ongewenste erosie tegen te gaan, dan wel sedimentatie te stimuleren.

Biobouwers zijn planten en dieren die door hun aanwezigheid en/of activiteiten hun omgeving kunnen beïnvloeden. Het feit dat ze het abiotische milieu beïnvloeden door biologische activiteiten (Jones, Lawton et al. 1994) wordt gezien als een belangrijk mechanisme in de vorming van estuariene en mariene milieus. Voornamelijk in het intergetijdengebied en ondiepe zones vormen biobouwers driedimensionale structuren die de lokale waterstroming reduceren. Dit werkt sedimentatie in de hand en leidt tot vorming van bijvoorbeeld nieuw intergetijdengebied als slikken, platen en schorren.

Biobouwers kunnen worden ingezet om op opzettelijke en strategische wijze de sedimentdynamiek te beïnvloeden bijvoorbeeld ten bate van kustverdediging door golfaanval en erosie te verminderen / sedimentatie te bevorderen. Daarnaast kunnen ze ook worden gebruikt in combinatie met een suppletie om het gesuppleerde materiaal langer op zijn plaats te houden. 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). Wel kennen biobouwers de beperking dat ze, omdat het levende organismen zijn, gevoelig zijn voor weer- en klimaatcondities en aantasting door andere organismen. Daardoor kan slechts door een beperkt aantal soorten zekerheid worden geboden dat zij jaarrond bijdragen aan kustverdediging, bijvoorbeeld oesterriffen en schorren.

Daar waar harde structuren als dijken, dammen en kades de natuurlijke dynamiek beperken is de inzet van biobouwers er juist op gericht om slim gebruik te maken van deze dynamiek en deze te benutten voor het versterken van de kust. Ze vormen onderdeel van het natuurlijke systeem en kunnen daarmee ook systeemfuncties versterken door bijvoorbeeld vorming van nieuw habitat. Een aantal interessante optie voor de Zuidwestelijke Delta zijn:

- Juiste omstandigheden creëren voor schorvorming
- Aanplanten Engels Slijkgras
- Aanplanten Helmgras
- Gebruik van kunstmatige schelpdierriffen
- Aquacultuur en kustverdediging

Zeegras wordt ook gezien als biobouwer. Echter, omdat de bestaande populaties op dit moment niet voldoende robuust worden geacht om een significante bijdrage te leveren aan een sedimentstrategie, worden de mogelijkheden van zeegras hier niet verder uitgewerkt

Schorontwikkeling

Schorrenplanten zijn geschikte biobouwers, omdat ze sediment invangen en erosie beperken door golf energie te reduceren. Möller et al. (2001) heeft op basis van veldmetingen bepaald dat de golfreductie boven een schor tweemaal zo groot is als boven een zandvlakte met gelijke diepte. Het gericht "ontwikkelen" of uitbreiden van een schor is echter niet eenvoudig en vereist specifieke systeemkennis en inzicht in de processen en randvoorwaarden die het succes van schorontwikkeling bepalen. Belangrijke aspecten worden hier belicht.

Hoogteligging van het gebied bepaald te inundatieduur en is een cruciale factor voor het succes van de ontwikkeling van schorvegetatie (French 2006). De optimale hoogteligging voor schorontwikkeling is tussen Gemiddeld Hoog Water bij Doodtij (GHWD) en Gemiddeld Hoogwater bij Springtij (GHWS), GHWD dit correspondeert met ca. 450-500 overstromingen per jaar (Toft and Maddell 1995). Vanaf 1m beneden GHWD kan al kolonisatie van pioniervegetatie plaatsvinden (French 2008) in beschutte delen. In minder beschutte delen ligt deze grens dicht tegen de GHWD.

De sedimentlading in het zeewater is zeer bepalend voor de mate van opslibbing en is ook mede bepalend of een schor in staat is mee te stijgen met de zeespiegel. De sedimentlading is in elk estuarien systeem verschillend en kan ook in ruimte en tijd veel verschillen (dit is afhankelijk van stroming, rivierafvoer, bovenstrooms landgebruik etc.). Bij lage sedimentconcentraties 1-10 mg/L kan een schor overleven bij een paar mm zeespiegelstijging per jaar. Bij een sedimentconcentratie van 30-100 mg/L (slib) is dit enkele centimeters per jaar (Borsje, Van Wesenbeeck et al. 2011). Zand komt voornamelijk in beweging tijdens stormcondities en wordt dan vanuit het voorland naar het schor meegenomen via golfwerking. In de Oosterschelde vindt daardoor sedimentatie plaats op schorren hoewel de sedimentlading (slib) vrij laag is.

Kreken zijn van cruciaal belang voor de opslibbing van een gebied en ontwikkeling van vegetatie. Via de kreken wordt met vloed het water met sediment het gebied binnen gevoerd. Met eb zorgen de kreken voor een goede afwatering waardoor het sediment kan consolideren

(Wolters, Garbutt et al. 2005). Een goede afwatering is tevens van belang voor vegetatieontwikkeling. Tijdens stormen wordt zand getransporteerd over de volle breedte van het schor het gebied in.

De helling van het gebied is ook van invloed op de eerste schorontwikkeling. Voor een goede afwatering is het van belang dat het gebied richting de zee afloopt. Hoe flauwer de helling hoe lager de stroomsnelheden en hoe beter sedimentatie kan plaatsvinden. Schor kan ontwikkelen bij een helling van 0-7% (1:1-1:18), de optimale helling voor schorontwikkeling is tussen 1-2% (1:0-1:64) (Burd 1995).

Hydrodynamische en geochemische omstandigheden zijn ook van belang voor het vormen van schorren. In zones waar van nature geen voorland is en veel erosie optreedt zal niet makkelijk een schor ontwikkelen (French 2006). Daarnaast zijn ook de omstandigheden in de bodem, het bodemtype (relatie zand en slib), beschikbare nutriënten en de aanwezigheid van zaden of de mogelijkheid van aanvoer van zaden vanuit nabijgelegen schorren van belang (French 2006).

Bovengenoemde aspecten zijn belangrijke factoren voor het succes van schorontwikkeling. Daar waar de omstandigheden geschikt zijn in de Ooster- en Westerschelde zijn schorren aanwezig. Het beheer kan er op gericht zijn om bestaande schorren te behouden. In de Oosterschelde, een systeem met een lage sedimentlading, treedt nog steeds sedimentatie op, maar vertonen schorren tegelijkertijd ook inklink, waardoor de absolute hoogteligging min of meer gelijk blijft (NIOZ, ongepubliceerde data). Deze schorren kunnen een stijgende zeespiegelstijging waarschijnlijk dan ook moeilijk bijhouden. Daarom worden op sommige plaatsen stortstenen schorrandverdedigingen aangebracht met als doel om verdere erosie tegen te gaan, zoals bij het Schor van St. Annaland en St. Philipsland. Het toepassen van schorrandverdediging vereist aandacht, omdat het mogelijk de sedimentaanvoer naar het schor kan beïnvloeden. Ervaring met schorrandverdediging bij het Zijpe laten zien dat bij goede vormgeving (bv. openingen in de verdediging daar waar kreken zich bevinden) er geen effecten zijn op de sedimentaanvoer. Naast het beschermen van schorren is het ontstaan van nieuw schor met name kansrijk in gebieden waar nieuw, beschermt intergetijdengebied wordt gecreëerd (bijvoorbeeld door het onderwater zetten van binnendijks gebied). Zo is het Sieperdaschor (ca. 1 km²), gelegen op de grens met België aan de Westerschelde ontstaan na een dijkdoorbraak in 1990 waarna zich een schor heeft ontwikkeld (Verbeek and Storm 2001; Kornman et al. 2002).

Gecontroleerde overstroming van binnendijks gebied waarbij de dijk wordt teruggezet is een opkomende methode voor verdediging van de kust met het oog op een grotere golfaanval en zeespiegelstijging (French 2006) als gevolg van klimaatverandering (French 2006). In het Verenigd Koninkrijk wordt het terugzetten van de dijk (ook wel "managed reallignment" of "managed retreat" genoemd) steeds vaker toegepast om het verlies van schorren door zeespiegelstijging te compenseren en als aanvulling op de dijken als kustverdediging (Garbutt 2008). Een studie van De Mesel et al. (2012) beschrijft de inzet van het concept Wisselpolders, waarbij gebieden stapsgewijs onderwater worden gezet, opslibben en weer worden ingepolderd waardoor de kustzone stukje bij beetje hoger en robuuster wordt. Het ontstaan van schor is hiervoor een belangrijke randvoorwaarde. Naast de opslibbende functie van deze gebieden, zijn er ook mogelijkheden voor extensieve vormen van aquacultuur en zeeteelt (zie kader "Aquacultuur en zeeteelt in "nieuwe" intergetijdengebieden"). De studie naar "alternatieve waterkeringen" (Tangelder and Ysebaert 2012) beschrijft de inzet van "Sedimentatiegebieden" gericht op schorvorming en opslibbing. In Nederland is nog beperkte ervaring met deze methoden mede doordat binnendijks land(gebruik) wordt omgezet in buitendijks gebied (ontpolderen) en dit altijd veel weerstand oproept bij de (lokale) bevolking. Er zijn echter voorbeelden waar nieuw intergetijdengebied wordt gecreëerd zoals het

getijherstel bij Rammegors (Rijkswaterstaat) in de Oosterschelde en binnen de gebiedsontwikkeling bij Perkpolder (ComCoast).

Aanplanten Engels Slijkgras

Naast schorren bestaat er ook een specifieke pionier soort die interessant is voor inzet als biobouwer: Engels Slijkgras, ook wel "Spartina" genoemd naar zijn Latijnse naam *Spartina anglica*. Aanplanten van Engels slijkgras (*Spartina anglica*) is in het verleden gebruikt om schorvorming en opslibbing te bevorderen. In 1924 werden stukken wortelstokken voor het eerst in Nederland ingevoerd en op de Zeeuwse slikken aangeplant (Kalkwijk, 1954). Doordat deze pioniersplant op een veel lager niveau kan groeien dan de inheemse soorten is door de introductie en aanplant van Engels slijkgras de schorgroei met name in de Westerschelde sterk bevorderd (Kornman and Schouwenaar 2001).

Binnen het innovatieprogramma *Building with Nature* loopt een onderzoek (NIOZ/IMARES) naar gebruik van matten met Engels Slijkgras voor schorvorming en sedimentatie/afremmen erosie in de Oosterschelde. Kokosmatten met daarin vergroeide slijkgrasplanten zijn op verschillende slikken langs de kust van de Oosterschelde uitgerold en verankerd. De bedoeling is dat de planten na verloop van tijd stevig in de bodem wortelen om, als de kokosmat langzaam vergaat om een beginnend schor te vormen die de bodem stabiliseert en meer zaden voor ontwikkeling van schorvegetatie kan invangen. Hoewel het aanplanten van Engels Slijkgras begin vorige eeuw succesvol is gebleken om sedimentatie te bevorderen, moet de werking van de slijkgrasmatten nog uitwijzen of deze methode geschikt is voor toepassing op grote schaal als erosie remmende maatregel op plaatsen die van nature niet/minder geschikt zijn voor schorvorming.

Aanplanten Helmgras en gebruik stuifschermen

Duinen ontstaan door verstuiwing van zand en ontwikkelen zich verder als ze begroeid raken met vegetatie. Ze vormen een belangrijke barrière tegen de zee langs het overgrote deel van de Hollandse kust maar ook de koppen van de eilanden in de wadden en de ZW Delta. Door Helmgras (*Ammophila arenaria*) aan te planten en rieten of rijstehouten schermen te plaatsen probeert men de duinen te behouden en verdere duinvorming te stimuleren. Deze maatregelen stoppen echter wel het grootste deel van het eolisch transport in de duinen en daardoor verjonging van pioniergewassen en natuurlijke dynamiek. De laatste vijftien jaar zijn in diverse kustgebieden in Nederland echter verschillende experimenten uitgevoerd met duinreactivatie. Duinreactivatie wordt uitgevoerd door het beheer in de duinen of op de zeereep te verminderen en het zand niet geheel vast te leggen met Helmgras en stuifschermen. Dit bevordert verjonging van de duinen en groei en vitaliteit van Helmgras door regelmatige overstuiving met vers zand (De Jonge 2010). Te veel dynamiek is echter ook niet goed omdat de veiligheid in het geding kan komen en verstuiwing soms tot overlast leidt (De Jonge 2010).

Kunstmatige schelpdierriffen

Volgens De Vries et al. (2007) zijn oester- en mosselriffen een veelbelovende methode om voorlanden voor de dijken te stabiliseren doordat ze hydrodynamische energie (zoals golven, stroming) van het water reduceren en sedimentatie bevorderen. Deze schelpdierriffen kunnen daarbij de rol van kribben en dammetjes overnemen. Ervaring laat zien dat met name riffen van de Japanse oesters (*Crassostrea gigas*) niet snel eroderen als ze eenmaal zijn ontstaan, doordat de oesters aan elkaar groeien en zo een robuuste eenheid vormen.

In de Oosterschelde is een proef in uitvoering waar wordt onderzocht door riffen gemaakt van Japanse oesterschelpen erosie van het intergetijdengebied wordt verminderd of zelfs plaataangroei plaatsvindt (Figuur 5.8). Naast golfbreking ligt de focus ook op de invloed van de riffen op plaatrand stabilisatie om daarmee de erosie als gevolg van zandhonger af te

remmen. Deze proef wordt uitgevoerd in het kader van het innovatieprogramma *Building with Nature* in opdracht van Rijkswaterstaat. De pilot vindt plaats op twee locaties in de Oosterschelde ten zuiden van Schouwen-Duiveland: bij locatie De Val ligt één rif nabij de dijk, op de slikken van Viane liggen twee riffen nabij de laagwaterlijn. Ter plaatse zijn schanskorven van gaas met een totale lengte van 200 meter en 10 meter breedte gevuld met oesterschelpen. De korven zijn ca 25 cm hoog. Onderzocht wordt of oester- en mossellarven zich op deze kunstriffen kunnen vestigen zodat het rif zichzelf in stand kan houden en kan uitgroeien tot een levend rif. Het gebruik van kunstmatige oesterriffen staat nog in de kinderschoenen. Onderzoek moet nog uitwijzen of gebruik ervan een effectieve methode is om erosie af te remmen/sedimentatie te bevorderen en op grotere schaal toepasbaar is in de Zuidwestelijke Delta. De eerste resultaten laten zien dat het slik vlak achter de riffen op de plaatranden bij Viane hoger ligt dan waar geen riffen liggen.



Figuur 5.8 .. locatie van de pilot riffen in de

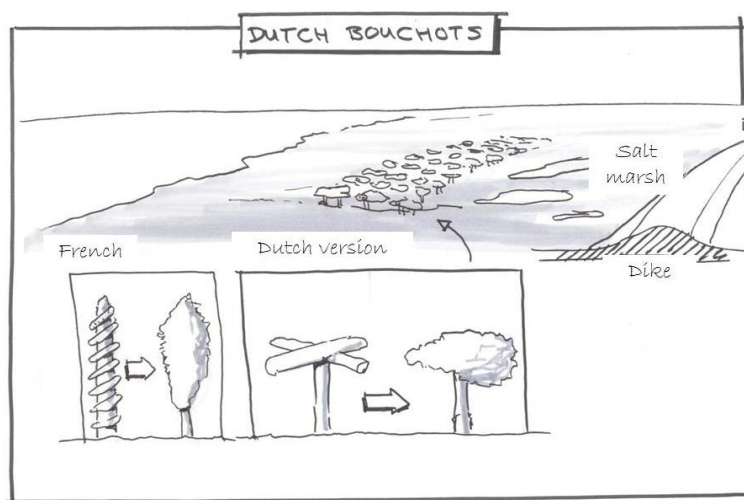
Oosterschelde b. het oesterrif bij Viane, c. het oesterrif bij de Val nabij Zierikzee met laag water (Tangelder and Ysebaert 2012).

Aquacultuur en kustverdediging

In navolging op het principe van '*Building with Nature*' (natuur gebruiken om waterbouwkundige infrastructuur te versterken) is er in een deskstudie door van Sluis & Ysebaert (in prep) gekeken naar de mogelijkheden om de kustverdediging in de Zuidwestelijke Delta te combineren met schelpdierkweek. Dit concept wordt ook wel 'Farming with Nature' genoemd.

Kustverdediging biedt mogelijkheden voor schelpdierkweek door het creëren van structuur of betere groeiomstandigheden. Aan de andere kant hebben schelpdierenkweeksystemen (zoals hangcultures, schelpdierbedden en riffen) het potentieel om golfslag te verminderen en zodoende bij te dragen tot kustbescherming. Combinaties tussen aquacultuur en kustverdediging zijn echter niet altijd eenvoudig of gemakkelijk te implementeren. Kustverdediging vindt bijvoorbeeld plaats in blootgestelde gebieden terwijl de aquacultuur vooral in de meer beschutte gebieden beoefend wordt. Daarnaast stroken kweekbeslissingen niet altijd met de veiligheidseisen. Zo haalt de kweker in de winter bijvoorbeeld zijn systemen liever binnen terwijl dan de morfodynamiek het grootst is.

Combinaties beschreven door van Sluis & Ysebaert (in prep) zijn: (i) hangcultuur mosselen, (ii) bouchots mosselen (zie Fig 5.9), (iii) kreeftenproductie, (iv) creëren van nieuwe beschutte gebieden, in relatie tot kustverdediging. Het bleek dat de combinaties waar kustverdediging ondersteunend is aan de aquacultuur de makkelijkste en meest winstgevende optie is. Ondanks dat iedere locatie speciale eisen kent m.b.t. het ontwerp, blijkt tevens uit deze studie dat kustverdediging gecombineerd kan worden met aquacultuur en dat tegelijkertijd de natuurwaarden van schorren, slikken of droogvallende platen verbeterd of hersteld kan worden.



Figuur 5.9 Artist impression van één van de Farming with nature combinaties: Productie van Bouchots mosselen en kustverdediging (door J Fluitsma, in: vanSluis & Ysebaert, in prep)

Aquacultuur en zee­teelt in “nieuwe” intergetijdengebieden

De concepten Sedimentatiegebieden / Wisselpolders waarbij nieuw intergetijdengebied wordt gecreëerd door het inzetten van binnendijks gebied worden uitgevoerd vanuit natuurherstel of kustverdediging doeleinden. Daarnaast zijn ze ook interessant voor medegebruik. Daarbij valt te denken aan natuur, recreatie en alternatieve woonvormen is er ook potentie voor extensieve vormen van teelt van zilte gewassen en aquacultuur. Een studie van De Mesel et al. (2012) heeft verkend welke vormen van aquacultuur toepasbaar zijn in tijdelijke sedimentatiegebieden (“wisselpolders”):

- **Visteelt** vereist een omgeving die 24 uur per dag onder water staat. De inrichting (hoogteligging) kan bepalen of het gebied met laag water helemaal droog staat of dat er delen zijn die overstromd blijven, bijvoorbeeld in een kreek of wiel. Deze delen zijn geschikt voor kleinschalige visteelt in drijvende netten.
- **Schelpdieren** kunnen alleen gekweekt worden in de delen van het gebied die elk getij weer onderlopen. Kweek op palen (mosselen) of op tafels (oesters) is hiervoor geschikt. De delen tussen de hoog- en laagwaterlijn zijn hiervoor geschikt omdat ze elk getij onderlopen en ook met laagwater toegankelijk zijn. De groei van de schelpdieren is sterk afhankelijk van de beschikbaarheid van algen (voedsel), maximale duur van droogstand, zoutgehalte, temperatuur en zwevend stof.
- De teelt van **wieren** vindt doorgaans plaats aan lijnen of andere drijvende structuren die drijven en/of onder het wateroppervlak zijn verankerd. De sporen worden gekweekt in laboratoria waar ze zich hechten aan het vestiging substraat dat gebruikt wordt voor teelt op zee. Bij sommige soorten kan de thallus direct hechten aan de lijnen en verdere uitgroeien.
- **Zilte gewassen** groeien in de hoger gelegen zone van het intergetijden gebied vanaf 1 meter beneden GHWD (French 2008). Zeekraal en Lamsoor groeien van nature op de schorren. Hier worden de gewassen in het wild geplukt door particulieren die de zeegroenten verkopen aan restaurants.
- Ook **wormen** kunnen interessant zijn voor kweek onder gecontroleerde omstandigheden. Momenteel worden ze in het wild gespuit in droogvallende delen en gebruikt als aas bij sportvissen, als visvoer en ook voor verwerking in medicijnen. Ook worden er wormen commercieel gekweekt in vijversystemen.

5.4 Ecologische optimalisatie bagger- en stortstrategieën

Ingrijpen in de zeebodem door sediment te onttrekken of te suppleren heeft gevolgen voor het bodemleven. Bodemfauna speelt een waardevolle rol in het ecosysteem als schakel tussen primaire productie (algen) en vispopulaties, kringloop van koolstof en nutriënten, en vormen een belangrijke voedselbron voor vogels en vissen maar ook voor de mens (bijvoorbeeld in de vorm van mosselen, oesters en kokkels). Bodembescherming is dan ook een van de speerpunten in de Europese Kaderrichtlijn Mariene strategie. In de context van een sedimentstrategie waarbij veel aandacht is voor huidige en toekomstige inzet van bagger- en stortstrategieën zijn ecologische effecten en het beperken van deze effecten door optimalisatie van deze strategieën van belang.

Stortstrategie: suppleren

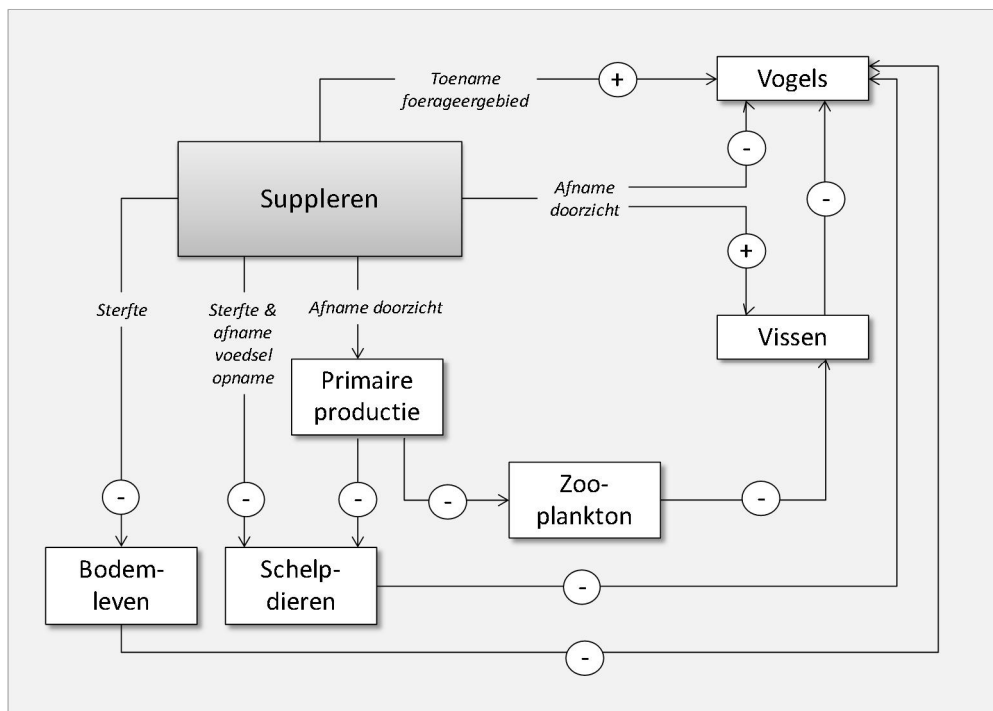
Verhoogde concentraties van fijn zwevend stof en troebelheid in een sediment pluim kan van invloed zijn verschillende functionele niveaus van het ecosysteem (Birklund & Wijsman 2005). Mogelijk is de wijze van suppleren (met gebruik van een persleiding of de rainbow-methode ook van invloed. De potentiële effecten omvatten de primaire productie, filterfeeders, migraties en/of bewegingen van vis, overleving van pelagische eieren en larven van vissen en foerageer mogelijkheden van visuele roofdieren waaronder vissen, zeevogels en zoogdieren. Ecologische effecten van een suppletie op de bodem zijn echter van relatief korte duur door een vermindering in soortenrijkdom, biomassa en aantal individuen zoals geconcludeerd werd uit een literatuurstudie van Baptist et al. (2009) naar ecologische effecten van suppleties. Dezelfde studie beschrijft dat voor de meeste soorten het voorkomen van het aantal individuen en biomassa grotendeels herstellen na één jaar na de suppletie. Volledig herstel van de benthische kust levensgemeenschap zal 2-5 jaar duren.

Directe ecologische effecten:

- Bedelven en verstikken van benthische soorten ter plaatse van de suppletie en in de nabije omgeving. Dit treft vooral de meer immobiele zoals organismen die vastzitten zoals zeepokken en mosselen of andere tweekleppigen (Baptist, Tamis et al. 2009). De meeste soorten die in een dynamische bodem leven zijn echter gewend aan veranderingen, met name gravers zullen overleven (Bijkerk 1988).
- Een verhoogde vertroebeling van het water. Dit beïnvloedt de primaire productie en/of het jaagsucces van predatore vogels en vissen met name in systemen die van nature helder zijn (Baptist, Tamis et al. 2009). Primaire productie wordt gegenereerd door fytoplankton (algen) in de waterkolom. Door verhoogde vertroebeling van het water vermindert de licht beschikbaarheid voor algen en daalt de primaire productie waardoor er minder voedsel beschikbaar is voor grazers als zoöplankton (dierlijk plankton) en zoëbenthos soorten. Filterfeeders zoals de Kokkel (*Cerastoderma edule*), Mesheften (*Ensis directus*), Mossel (*Mytilus edulis*) en de Japanse en Platte oester (respectievelijk *Crassostrea gigas* en *Ostrea edulis*) ervaren ook een bemoeilijkte voedselopname door verhoogde sedimentconcentraties.
- Verhoogde mortaliteit van vissenlarven. Vissen larven zijn gevoelig voor vertroebeling van het water. Boven 100 mg/l treedt sterfte op van vissen larven (Van Dalssen 1999).
- Verstoring door scheepvaart bewegingen (met name voor zeezoogdieren en vogels).

Indirecte ecologische effecten van een suppletie worden veroorzaakt door verandering van het bodem habitat met name door aanvoer van gebiedsvreemd sediment met andere eigenschappen dan het lokale sediment. Dit beïnvloedt de geschiktheid van het habitat voor zoëbenthos bijvoorbeeld door verandering in diepte, doordringbaarheid, fractie organisch materiaal, korrelgrootte verdeling en slibfractie (Baptist et al., 2009).

Figuur 5.10 laat een schematische weergave van effectrelaties door suppletie zien. Gesuspenseerd materiaal kan negatieve gevolgen hebben zoals sterfte en groeireductie bij schelpdieren en ander bodemleven. Daarnaast kan toegenomen troebelheid een reductie van primaire productie tot gevolg hebben, welke zich vervolgens stapsgewijs kan doorvertalen naar hogere trofische niveaus in de voedselketen (bijv zoöplankton > vissen > vogels). Positieve effecten van suppleren kunnen gelden voor vogels aangezien het foerageergebied zal toenemen. Ook zijn er aanwijzingen dat toename troebelheid positief kan zijn voor vis omdat ze daardoor minder eenvoudig te pakken zijn door zichttetende vogels.



Figuur 5.10 Ecologische effectketen gerelateerd aan suppletie van sediment. Positieve respons wordt weergegeven dmv een (+) en negatieve effecten door een (-).

Hieronder wordt een opsomming gegeven van belangrijke factoren die de mate van invloed op het bodemleven bepalen bij een suppletie en daarmee ook aangeven hoe ecologische effecten beperkt kunnen worden.

Eigenschappen gesuppleerde sediment

Korrelgrootteverdeling van het gesuppleerde sediment in vergelijking met het lokale sediment van de bodem is een belangrijke factor in effecten op het bodemleven. Wanneer de korrelgrootte en samenstelling van het sediment sterk afwijkt van het oorspronkelijke sediment, wordt de verticale migratie van het bodemleven geremd en neemt consolidatie van de bodem toe (Baptist, Tamis et al. 2009). Verschillende studies tonen aan dat wanneer het gesuppleerde sediment overeenkomstige eigenschappen (korrelgrootte en organisch materiaal) vertoont als het oorspronkelijke sediment, dit de minste impact en kortste hersteltijd heeft voor zoobenthos soorten.

Frequentie

Ten gunste van de hersteltijd van het bodemleven wordt aangeraden om een interval van minimaal drie jaar tussen opeenvolgende suppleties op een locatie te handhaven (Menn,

Junghans et al. 2003), omdat na 1-2 jaar herstel van het bodemleven optreedt (Van Dalssen and Essink 1997).

Dikte van de laag

De dikte van de gesuppleerde laag heeft ook invloed op de overleving van zoobenthos. Voor sommige organismen is bepaald wat de "fatale diepte" is zoals te zien is voor slibdepositie in Tabel 5.4. Hieruit kan geconcludeerd worden dat voor de 10 onderzochte soorten een slib depositie dikte van meer dan 60 cm sowieso fataal is. In het algemeen geldt dat als de sedimentatiesnelheid hoger is als de snelheid waarmee zoobenthos naar boven kan groeien of zich voortbewegen dit negatieve gevolgen zal hebben.

Tabel 5.4 *Fatale diepte (cm) bij slibdepositie (uit Baptist et al., 2009 en daarin vermelde referenties: Essink, 1993; Bijkerk, 1988 en Smit et al., 2006)*

Scientific name	Name	Fatal depth (cm)
<i>Mytilus edulis</i>	Blue Mussel	1
<i>Petricola pholadiformis</i>	American Piddock	3
<i>Mya arenaria</i>	Sand gaper	7
<i>Cerastoderma edulis</i>	Cockle	11
<i>Hydrobia ulvae</i>	Mudsnail	18
<i>Macoma balthica</i>	Baltic Tellin	38
<i>Ensis ensis</i>	Razor shell	43
<i>Ensis directus</i>	American Razor Shell	>40
<i>Nephtys hombergii</i>	a Catworm	60
<i>Crangon crangon</i>	Brown shrimp	19

Zuurstofloosheid van de bodem kan ook optreden als deze bedolven is. Hierdoor ontwikkelen hogere concentraties van nitriet, ammonium en sulfide die ontstaan bij lage zuurstofconcentraties en dodelijk kunnen zijn voor zoobenthos (Buzzelli, Luettich et al. 2002).

Diepte en afstand vanaf de kust

De diepte en afstand vanaf de laagwaterlijn waarop gesuppleerd wordt kan ook bepalend zijn voor de mate van negatieve gevolgen voor de bodem. Baptist et al (2009) en daarin vernoemde studies laten de relatie tussen diepte en soortenrijkdom van de bodem zien op basis van meerjarig onderzoek langs de Nederlandse kust. Hoewel de uitkomsten per locatie verschillen is er een soortgelijk patroon zichtbaar: het aantal soorten neemt toe vanaf ca. 4 meter diepte. Andere studies laten zien dat de soortenrijkdom in de ondiepe zone relatief laag is en dat het aantal soorten toeneemt vanaf ca. 6 meter diepte. Voor de intergetijden zone geldt dat het hoogste soortenaantal wordt aangetroffen in 0 tot -1m NAP en het hoogste aantal individuen net boven NAP (Janssen and Mulder 2005). Zie ook Wijsman & Verduin (2011).

Tijd van het jaar

Voor de meeste soorten is zuurstofconsumptie in de winter lager als in de zomer (Baptist, Tamis et al. 2009). Hierdoor kunnen organismen langer overleven in de winter na ingraven. Anderzijds zijn ze daardoor ook minder mobiel waardoor het moeilijker is om zich uit te graven uit een gesuppleerde laag sediment. Daarom is het moeilijk te voorspellen in welke tijd van het jaar een suppletie het minste schade aanbrengt aan het bodemleven. De meeste soorten planten zich echter voort in de lente en zomer waardoor een suppletie dan meer nadelige gevolgen kan hebben (Jongbloed et al., 2006). Daardoor lijkt de winter de meest geschikte periode.

Een meer specifieke beschrijving van de effecten van suppleren op schelpdierpercelen staat beschreven in paragraaf 4.2.

Baggerstrategie: zandwinnen

Zandwinning in de Noordzee voor kustverdediging doeleinden is significant toegenomen. In de toekomst zal zeespiegelstijging zorgen voor een toename van kusterosie waardoor ook de benodigde hoeveelheid zand zal toenemen.

Methoden

De sleephopperzuiger is de meest gebruikte scheepstype voor baggeren. Dit schip baggert ondiepe banen van 1-2m breed en 20-50 cm diep waarbij een mengsel van water en zand naar boven wordt gepompt. Er wordt dus niet heel diep gebaggerd maar wel over relatief grote oppervlakten. Dit is de meest gebruikte methode op de Noordzee.

Als het te winnen sediment dieper ligt onder andere lagen dan wordt een cutterzuiger gebruikt. Dit type schip baggert kegelvormige putten tot 20m diep en 75m breed. Bij deze methode wordt dus op één plek veel sediment verwijderd waardoor een diepe put ontstaat.

Herstel

Zandwinning gaat over het algemeen gepaard met een directe significante daling van de dichtheid, diversiteit en biomassa van zoëbenthos en kan resulteren in een verlies van 30-70% van de soortenrijkdom, een 40-95% reductie van het aantal individuen en een vergelijkbare daling in biomassa in winningsgebieden (Cleveringa, Van Vliet et al. 2012). Dit zijn effecten van tijdelijke aard, want na verloop van tijd treedt herstel op.

Herstel van het bodemleven is afhankelijk van verschillende factoren volgens Cleveringa et al. (2012):

- intensiteit van het zandwinnen (zowel ruimtelijk als temporeel);
- het oorspronkelijke bodemleven (specifieke eigenschappen, snelheid van reproductie, rekolonisatie en groei);
- de herstelmogelijkheden (rekolonisatie potentie) door middel van passief transport van (juvenile) organismen;
- Cumulatieve effecten van andere (voormalige) activiteiten.

Herstel na extractie kan dus zeer variëren en hangt naast bovengenoemde factoren ook af van de baggermethode, hydrodynamische condities en bodembelasting (Birklund and Wijsman 2005). Herstel van de zeebodem na extractie varieert van 1 maand tot meer dan 15 jaar (ICES 2001) en dit wordt vooral bepaald door of er diepe putten worden gecreëerd die lang nodig hebben om zich te vullen. Diepe putten die achterblijven na gebruik van een cutterzuiger fungeren als bezinkplaats voor fijn sediment en organisch materiaal waardoor er zuurstofarme omstandigheden ontwikkelen en stratificatie optreedt waardoor herkolonisatie wordt bemoeilijkt (Norden Andersen, Nielsen et al. 1992). Het kan jaren duren voordat een diepe put zich weer vult met sediment afhankelijk van lokale condities.

Over het algemeen gaat herstel relatief snel na baggeren met een sleep hopper zuiger in gebieden met dynamische omstandigheden en mobiel zand en blijft herstel onvoltooid in diep uitgebaggerde delen in een rustig/stabiel milieu. Het aantal soorten en hun aantallen herstellen snel in het eerste jaar door koloniaties van opportunistische soorten wormen. Echter duurt het minimaal vier jaar voordat de biomassa (met name afhankelijk van ontwikkeling van tweekleppigen en stekelhuidigen) weer op peil is zoals aangetoond in de Noordzee en Middellandse Zee door Birklund en Wijsman (2005) en daarin vermelde studies.

Effecten tijdens het winnen

Het winnen van zand uit de zeebodem zorgt ervoor dat het bodemleven en de fauna die nabij de bodem leven sterven. Daarnaast veroorzaakt het beroeren van de bodem en het overvloeien van restwater wat fijn sediment bevat voor een toename in gesuspendeerd sediment en daardoor een afname in doorzicht. Minder doorzicht werkt op verschillende niveaus door in het ecosysteem door een lagere primaire productie en daardoor minder voedsel voor grazers maar ook een verlaagd jaag succes voor predatore vogels en vissen en een bemoeilijkte voedselopname voor filterfeeders (Baptist, Tamis et al. 2009), ook heeft het gevolgen voor zwevende vissenlarven en eitjes (Birklund and Wijsman 2005). Van het gesuspendeerde materiaal zal het grovere sediment neerslaan nabij de bagger locatie en fijn sediment kan zich verder verspreiden onder invloed van getij en stroming (Birklund and Wijsman 2005). Een verhoogde sedimentatie kan ook nadelige gevolgen hebben voor het bodemleven (zie effecten van suppleties). Naast effecten op het bodemleven veroorzaken de scheepvaartbewegingen en geluid ook verstoring voor vissen, vogels en zeezoogdieren.

Effecten na afloop van het winnen

Na het winnen is de situatie lokaal veranderd en zal het gebied zich opnieuw ontwikkelen. Zandwinning heeft gezorgd voor een verandering in bodem morfologie (diepte, meer heterogeen) en samenstelling van het sediment (korrelgrootte, organisch materiaal) door het aan de oppervlakte komen van nieuwe lagen, bijvoorbeeld grind of veen, zorgt ervoor dat het bodem habitat verandert. Mogelijk zijn de nieuwe omstandigheden ongeschikt voor de oorspronkelijke soorten en is de soortensamenstelling van het zoëbenthos anders als daarvoor. Door resuspensie van sediment met organisch materiaal, met name in fijn sediment, kunnen stoffen als sulfide vrijkomen die lokaal zuurstof concentraties kunnen verlagen. Afbraak van organisch materiaal leidt tot een verlaging van zuurstof concentraties in het water. Dit kan schadelijk zijn voor de lokale zoëbenthos.

Tabel 6.1

Opties van de sedimentstrategie op lokale schaal in de deelgebieden van het Noordoostelijke deel (**Haringvliet- Hollandsch Diep , Grevelingenmeer, Volkerak Zoommeer**) en het Zuidelijke deel (**Ooster-en Westerschelde en Voordelta**).

Sediment strategie	Doelen			Effecten		
	Behoud veiligheid overstroming	Optimaliseren onderhoud waterkeringen	Optimaliseren Ecologische kwaliteit	Abiotisch effect	Ecologisch effect	Effect op gebruiksfuncties visserij & aquacultuur
SUPLEREN - 1					Korte/lange termijn	
Supragetijde • duin	X			• Sterkte kering neemt toe	• Verjonging van duinen • Toename areaal duinecotoop	• effecten op overleving en groeiomstandigheden van scheldierbestanden
Supragetijde • tegen dijk	X			• Sterkte kering neemt toe	• Afname areaal hard substraat • Toename areaal duinecotoop	
Intergetijde • algemeen		X		• Belasting op kering onder normale condities neemt af	• Tijdelijke afname bodemleven en voedselbeschikbaarheid • Compensatie van verlies intergetijdengebied	
Intergetijde • strand	X	X	X	• Randvoorwaarde voor natuurlijke groei duin (→ sterkte kering neemt toe)		
Intergetijde • Slik in dijkvoorland		X	X	• Randvoorwaarde natuurlijke meegroei (→ sterkte kering neemt toe)		
Intergetijde • Plaat		X	X	• Belasting op kering onder normale condities neemt af •		
Intergetijde • plaat		X	X	• bij voldoende hoogte (Balance Island) effect op getij en zoet zout verdeling	• estuariene gradiënt vergroot	

Sediment strategie	Doelen			Effecten		
	Behoud veiligheid overstrooming	Optimaliseren onderhoud waterkeringen	Optimaliseren Ecologische kwaliteit	Abiotisch effect	Ecologisch effect	Effect op gebruiksfuncties visserij & aquacultuur
SUPLEREN - 2					Korte/lange termijn	
Subgetijde <ul style="list-style-type: none"> • onderwater oever 		X	X	<ul style="list-style-type: none"> • Randvoorwaarde voor natuurlijke groei strand 	<ul style="list-style-type: none"> • Tijdelijke afname bodemleven en voedselbeschikbaarheid • Compensatie van verlies ondiep waterecotoop 	<ul style="list-style-type: none"> • effecten op overleving en groeicondities van scheldierbestanden
Subgetijde <ul style="list-style-type: none"> • geulwand 		X	<ul style="list-style-type: none"> • Laterale geulbeweging wordt ingedamd 	<ul style="list-style-type: none"> • Tijdelijke afname bodemleven en voedselbeschikbaarheid 		
Subgetijde <ul style="list-style-type: none"> • erosiekuilen 		X	<ul style="list-style-type: none"> • Belasting op kering fundering neemt af • Door grote omvang potentieel grote bijdrage aan terugdringen zandhonger 	<ul style="list-style-type: none"> • Voorkomen geulverlegging en erosie van omliggend habitat 		

Sediment strategie	Doelen			Effecten		
	Behoud veiligheid overstroming	Optimaliseren onderhoud waterkeringen	Optimaliseren Ecologische kwaliteit	Abiotisch effect	Ecologisch effect	Effect op gebruiksfuncties visserij & aquacultuur
BIOBOUWERS						
Supragetijde • Eventueel in combi met suppleren		X	X	<ul style="list-style-type: none"> Erosie geremd Sedimentatie bevordert 	<ul style="list-style-type: none"> Verjonging van duinen Toename areaal duinecotoop 	
Intergetijde • Eventueel in combi met suppleren		X	X	<ul style="list-style-type: none"> Erosie geremd Sedimentatie bevordert 	<ul style="list-style-type: none"> Tijdelijke afname bodemleven en voedselbeschikbaarheid Compensatie van verlies intergetijdengebied 	<ul style="list-style-type: none"> Kansen voor schelpdierkweek in het kader van 'Farming with Nature' concept

Sediment strategie	Doelen			Effecten		
	Behoud veiligheid overstroming	Optimaliseren onderhoud waterkeringen	Optimaliseren Ecologische kwaliteit	Abiotisch effect	Ecologisch effect	Effect op gebruiksfuncties visserij & aquacultuur
ZANDWINNING						
subgetijde • Noordzee			X	•	<ul style="list-style-type: none"> Tijdelijke afname bodemleven en voedselbeschikbaarheid 	<ul style="list-style-type: none"> Mogelijk negatieve effecten op korte termijn op overleving en groeiomstandigheden van scheldierbestanden
subgetijde • Vaargeulen en havens		X		•	<ul style="list-style-type: none"> Tijdelijke afname bodemleven en voedselbeschikbaarheid 	
subgetijde • "morfologisch baggeren"		X		•	<ul style="list-style-type: none"> Tijdelijke afname bodemleven en voedselbeschikbaarheid 	

6 Conclusies: van mogelijke naar kansrijke opties

6.1 Sedimentstrategie: kansen, keuzes, kosten en baten

De vraag

Is het mogelijk om met sediment een strategie te formuleren voor de opgaven rond veiligheid in de ZW Delta (als alternatief en aanvulling op de huidige strategie)?

kan positief worden beantwoord. De sedimentstrategie biedt kansen. Hoe groot die zijn hangt zowel af van de sedimentvoorraad (de *kwantiteit*), als van de verdeling in tijd en ruimte (de *kwaliteit*). Beide zijn afhankelijk van beleidskeuzes op verschillende schalen.

Kwantiteit:

Op grotere schaal gezien bepaalt de sedimentvoorraad binnen een deelsysteem, de mogelijkheden / potenties voor de functies van dat systeem op langere termijn. Er van uitgaande dat het achterliggende (strategische) doel van de sedimentstrategie op systeemchaal, is gelegen in het duurzaam behoud en ontwikkelen van veiligheid en functies, worden de kansen in de eerste plaats bepaald door de beleidskeuze voor het streefbeeld. Of dat streefbeeld bestaat uit het handhaven van de status quo (meestijden van de bodem met de zeespiegel), dan wel het repareren van effecten na de afsluiting, of ook van de directe effecten als gevolg van afsluiting zelf, bepaalt de hoeveelheid sediment die jaarlijks beschikbaar moet zijn. Deze hoeveelheid bepaalt de kansen die daarmee ontstaan (zie 5.2).

Kwaliteit:

Vervolgens worden de kansen bepaald door de keuzes op lokale schaal; keuzes voor de verdeling van het sediment in de ruimte (waar, hoeveel en welke sedimentsamenstelling) en in de tijd (wanneer en hoe vaak). Deze keuzes hangen af van de (prioritering in) specifieke doelen, waarbij ook de ecologische- (bv. behoud van bepaalde ecotopen) en gebruiksdoelstellingen (recreatie, scheepvaart, schelpdierkweek en visserij) een grote rol spelen.

Een beschrijvende samenvatting van opties voor een sedimentstrategie op lokale schaal, is gegeven in Tabel 6.1; hierbij is specifiek gekeken naar de doelen: (i) het behoud van veiligheid tegen overstroming, (ii) het optimaliseren van het daaraan gerelateerde onderhoud van de waterkeringen en (iii) het optimaliseren van de ecologische kwaliteit en gebruiksfuncties met daaraan gekoppeld het slim benutten van natuurlijke dynamiek door middel van biobouwers (zie 5.3.4).

Een meer getalsmatige indicatie van de kansen voor deze verschillende opties kan worden afgeleid uit onderstaand hypothetisch rekenvoorbeeld:

Stel, in de sedimentstrategie op systeemchaal is – vergelijkbaar met de huidige strategie voor het kustfundament –, gekozen voor het meegroeien van de bodem met de zeespiegel. Bij de huidige zeespiegelstijging van 2 mm/jaar betekent dat voor elk deelsysteem een sedimentbehoefte zoals weergegeven in tabel 6.2, kolom 2.

Stel vervolgens dat we een sedimentpakket aanbrengen van 1 m dik, over een breedte van 100 m en een lengte van 1 km. Daarvoor is dan vervolgens 100.000 m³ voor nodig, ofwel 100 m³ per m lengte.

Kijken we dan naar de jaarlijkse sedimentbehoefte om mee te groeien met de zeespiegel, dan kan daarmee in elk van de bekkens, vele kilometers – dijk, duin, strand, geul, plaat – worden aangepakt, en wel, elk jaar opnieuw (Tabel 6.2; kolom 3).

Het spreekt voor zich dat de sedimentstrategie die zich, naast het boven geschetste doel tot handhaving van de status quo, ook nog zou richten op het wegwerken van het sedimenttekort dat is ontstaan sinds het gereedkomen van de afsluitdammen, nog ruimere mogelijkheden biedt (vergelijk Tabel 5.2).

Tabel 6.2

Sedimentbehoefte per deelgebied om te kunnen meegroeien met de zeespiegel en hypothetische lengte dijk, duin, strand, geul, plaat, welke daarmee jaarlijks is te versterken met 100 m³ per m lengte

7	Toename sedimentbehoefte bij 2 mm z.s.s per jaar	Hypothetisch te versterken lengte
	<i>Mm³/jaar</i>	<i>km/ jaar</i>
Grevelingenmeer	0,2	2
Volkerak - Zoommeer	0,2	2
Haringvliet – Hollandsch Diep	0,4	4
Oosterschelde	0,8	8
Westerschelde	0,5	5
Voordelta	2,6	2,6

De totale sedimentbehoefte per deelsysteem geeft een indicatie van de benodigde investering (kosten) van de sedimentstrategie. Het zijn de kosten die gemaakt moeten worden om de (fysieke) lange termijn ontwikkelingsmogelijkheden van een gebied op peil te houden. Wetende dat de kostprijs van suppletiezand sterk wordt bepaald door de brandstofprijs, is duidelijk dat de kosten voor een dominant deel afhangen van de vaarafstand tussen win- en stortlocatie.

Bijbehorende baten komen voort uit de toegepaste verdeling van het sediment, bepaald door de specifieke doelen die daarbij zijn gesteld. Om een (relatieve) inschatting van baten te kunnen maken is een vergelijking nodig met de na te streven doelen en met alternatieve maatregelen om deze doelen te bereiken. Daarbij dient specifiek gekeken te worden naar de kansen voor synergie tussen natuur- en gebruiksfuncties en de sedimentstrategie.

7.1 Effecten en kansen van sedimentstrategie voor ecologie en gebruik

Om de relatie tussen de sedimentstrategie en natuur- en gebruiksfuncties te onderzoeken is een antwoord gezocht op de vraag:

Wat zijn effecten en kansen van de huidige en mogelijke veiligheids- en sedimentstrategieën voor de ecologie en gebruiksfuncties in de passieve bekkens (noordelijke bekkens en Oosterschelde)?

Effecten huidige strategie

Het voortzetten van de huidige strategie zal in relatie tot sedimenthuishouding, voor de ecologische situatie in de noordelijke bekkens weinig verandering betekenen. Oeverbescherming langs eilanden en oeverstroken beperken erosie van oeverhabitat. Al zal erosie in het Haringvliet kunnen toenemen doordat het peil hier moet meegroeien met de zeespiegelstijging.

Voor de Oosterschelde geldt dat bij de *huidige strategie*, de erosie van intergetijdengebieden als gevolg van de zandhonger zal doorgaan. Zeespiegelstijging zal de effecten van zandhonger versterken. Op dit moment zijn er nog geen significante effecten op vogels

aantoonbaar. Er wordt echter verwacht dat bij verdergaande erosie negatieve effecten op zullen treden, waarschijnlijk primair door verkorting van de foerageertijd en daarnaast door afname van het foerageerreaal. Dit heeft ook gevolgen voor de rusttijd van zeehonden. Voor aquacultuur en visserij zijn er in de noordelijke bekkens gerelateerd aan de sedimenthuishouding, geen effecten te verwachten doordat de huidige situatie wordt gehandhaafd. In de Oosterschelde worden geen directe effecten verwacht van plaatverlaging op de productie van de commerciële mossel- en oesterpercelen. De voorspelde afname in droogvalduur heeft wel effecten op het areaal geschikt habitat voor kokkels en dus ook voor de kokkelvisserij.

Kansen en effecten van alternatieve strategieën

Mogelijke strategieën voor de toekomst in de noordelijke bekkens zoals voorgesteld door DP | ZWDelta (2012), omvatten met name watermaatregelen gericht op het vergroten van de bergingscapaciteit, de mogelijke inzet van een doorlaat in de Brouwersdam en de Haringvlietkering om water naar zee te pompen, en het zout maken van het Volkerak-Zoommeer (geen onderdeel van de veiligheidsstrategie).

Als het op termijn noodzakelijk zou blijken dat het waterpeil van Haringvliet – Hollands Diep, maar ook het Grevelingenmeer en Volkerak-Zoommeer, moet meestijgen met de zeespiegelstijging, dan leidt dit tot een bepaalde mate van inundatie van de eilanden en buitendijkse gebieden. Sommige vegetatietypen kunnen “meestijgen”, maar soms zal het ook verlies betekenen van vegetatietypen zoals duinvallei vegetatie in het Grevelingenmeer en heeft het gevolgen voor het areaal aan broedgebied voor grond broedende vogels. Mogelijk dat een *sedimentstrategie*, gericht op het ophogen van de buitendijkse gebieden, hier een tegenwicht tegen kan bieden.

Verhoging van het waterpeil zou kunnen leiden tot gunstiger kweekomstandigheden voor schelpdieren in het Grevelingenmeer, door het ontstaan van meer ondiep water areaal en een mogelijk hogere primaire productie door meer uitwisseling met Noordzee water (meer nutriënten).

Daarnaast biedt een zout Volkerak-Zoommeer ook kansen voor schelpdierkweek, al zal de huidige visserij in een zoute situatie niet kunnen blijven bestaan aangezien deze op zoetwater soorten gebaseerd is.

Een kansrijke strategie in de Oosterschelde is feitelijk een *sedimentstrategie*, gericht op supplementies die kunnen helpen bij het afremmen van het verlies van intergetijdengebied als gevolg van de zandhonger en zeespiegelstijging, zeker wanneer combinaties mogelijk zijn met versterking van de waterkering. Deze strategie draagt bij aan het behouden van het ecologisch potentieel van de platen en slikken: behoud van de litorale benthische gemeenschap, foerageer- en rustgebied voor vogels en rustgebied voor zeehonden.

Hoewel de doelstelling van deze strategie het behoud van ecologisch potentieel op de lange termijn is, kunnen supplementie-activiteiten op de korte termijn negatieve effecten hebben op ecologische processen. Bij supplementie komt een slik of plaat onder een laag zand te liggen en het duurt enige tijd voor het bodemleven zich hier kan herstellen. Bij aanvoer van sediment met afwijkende eigenschappen (bv. korrelgrootte, fractie organisch materiaal) heeft dit invloed op de soorten die er voorkomen, en de voedselopname door schelpdieren. Daarnaast kan suppleren gevolgen hebben voor de primaire productie en daaraan gekoppeld de hogere trofische niveaus in de voedselketen. Een afweging tussen de lange- en korte termijn effecten is dan ook van groot belang.

De toenemende aandacht voor de sedimentstrategie in de ZW Delta (d.w.z. baggeren en suppleren op zowel de korte en lange termijn) leidt tot de noodzaak van *optimalisatie van bagger- en stortstrategieën*.

De kansen om effecten van suppletie te beperken doen zich voor door niet in het groeiseizoen van bodemdieren te suppleren, de suppletiefrequentie laag te houden en rekening te houden met lokale omstandigheden zoals sedimenteigenschappen. Herstel na extractie van sediment (baggeren) hangt nauw samen met intensiteit van het winnen, het oorspronkelijke bodemleven, de herstelmogelijkheden (bv. rekolonisatie), en de baggermethode.

Momenteel worden de effecten van zowel baggeren als suppleren op verschillende locaties onderzocht. Afgelopen jaren zijn daarmee veel gegevens verzameld en is nieuwe kennis ontwikkeld over ecologische effecten gerelateerd aan suppletieactiviteiten. Deze kennis is echter voornamelijk gericht op lokale effecten die zich manifesteren op de relatief korte termijn. Over effecten van storten/suppleren op complexe dynamische processen op de lange termijn en op systeem niveau is veel minder bekend en vraagt daarmee de aandacht in vervolg studies.

Voor alle bekkens in de Zuidwestelijke Delta staat als mogelijk te onderzoeken strategie het gebruik van innovatieve dijkconcepten benoemd. Innovatieve dijken zijn nieuwe typen (of aanpassingen aan) waterkeringen die veiligheid bieden tegen overstromingen maar ook gericht zijn op meer ruimte voor natuur en multifunctioneel gebruik.

Biobouwers

Biobouwers bieden een kans om met ecologische ontwikkeling de sedimenthuishouding te beïnvloeden. Toepassingen waarbij “biobouwers” worden ingezet om erosie af te remmen en sedimentatie te bevorderen, al dan niet in combinatie met sediment suppleties, zijn interessant vanuit het sedimentperspectief:

Schorren zijn daar een voorbeeld van omdat ze sediment invangen en erosie beperken door golfenergie te reduceren. Het gericht “ontwikkelen” of uitbreiden van een schor is echter niet eenvoudig en vereist specifieke systeemkennis. Het ontstaan van “nieuwe” intergetijdengebieden in de Ooster- en Westerschelde (bijv. getijherstel Rammergors en ComCoast Perkpolder) bieden mogelijkheden voor ontwikkeling van nieuwe schorren op de slikken voor de dijk.

Het gericht *aanplanten* van specifieke soorten kan sediment vasthouden en sedimentatie stimuleren. *Engels Slijkgras* kan de bodem stabiliseren en schorgroei bevorderen in het intergetijdengebied. *Helmgras* wordt op vrij grote schaal toegepast om duinen te behouden en verdere duinvorming te stimuleren. Een nadeel is echter dat Helmgras de natuurlijke dynamiek en verjonging van duinen beperkt.

Gebruik van *mosselbanken* of *riffen van oesters* op voorlanden zijn een relatief nieuwe methode. Deze riffen kunnen voorlanden voor dijken stabiliseren, golven en stroming beperken en sedimentatie bevorderen. Deze methode staat echter nog in de kinderschoenen en de betekenis voor kustverdediging moet zich nog bewijzen. Binnen *Building with Nature* wordt de werking en bruikbaarheid van kunstmatige oesterriffen van Japanse Oesters onderzocht. Wel lijkt nu al duidelijk dat oesters meer potentie hebben omdat ze riffen vormen waarbij de schelpen aan elkaar vastgecementeerd zitten; bovendien bestaan oesterschelpen overwegend uit het mineraal calciet, dat beter tegen oplossing is bestand dan het mineraal aragoniet waaruit mosselen bestaan.

Het combineren van *aquacultuur en kustverdediging* is ook interessant vanuit de sedimentstrategie. Kustverdediging biedt daarbij structuur voor schelpdierkweek, daarentegen kunnen kweeksystemen golfslag verminderen en sedimentatie bevorderen. Combinaties tussen aquacultuur en kustverdediging zijn niet altijd

vanzelfsprekend vanwege contrasterende gebiedspreferentie (blootgestelde vs beschutte gebieden) en/of kweekbeslissingen die niet altijd overeenkomen met veiligheidseisen. Combinaties waar kustverdediging ondersteunend zijn aan de aquacultuur hebben de meeste potentie.

Kansen voor recreatie

De kansen voor recreatie & toerisme liggen bij herstel van de getijdendynamiek vooral in de Noordelijke Delta, alwaar van getijdendynamiek nu (nog) niet of nauwelijks sprake is. Naar verwachting zal herstel van de getijdendynamiek leiden tot een betere waterkwaliteit en vergroting van de belevingswaarde van de gebieden. De sedimentstrategie kan ook leiden tot eilandjes en een natuurlijker vooroever (i.p.v. een harde overgang van dijk naar water) wat de natuurlijkheid en belevingswaarde eveneens ten goede zal komen.

Aangezien de Noordelijke Delta in een sterk verstedelijkte omgeving ligt, biedt dit bezoekerspotentieel nabij een aantrekkelijker gebied extra kansen voor de lokale economie. Bijvoorbeeld via verblijfsrecreatie of vermarkting van lokale producten. Dit vraagt om een hernieuwde visie van de ontsluiting en zonering van de Noordelijke Delta voor recreatie en toerisme. Daarbij kan men denken aan duurzame(re) jachthavens, fiets- en wandelpaden buitendijks, toegangen tot zee voor de watersport, mogelijkheden voor sportvisserij en duiken enz.

Voor de Zuidelijke Delta zijn de kansen voor recreatie en toerisme wat geringer omdat hier reeds sprake is van getijdendynamiek. Desalniettemin kan de sedimentstrategie ook hier kansen bieden voor recreatie en toerisme. Bijvoorbeeld via de aanpak van dijken en het gelijktijdig verbeteren van de routestructuur voor wandelen en fietsen; de aanleg van kunstriffen tegen de zandhonger en de kansen voor de duiksport; of het ontwikkelen van (nog meer) lokale/regionale producten.

7.2 Grote onzekerheden, werkend leren

Het voorgaande maakt duidelijk dat de sedimentstrategie (in ieder geval theoretisch) meerdere kansen biedt en het palet aan mogelijkheden voor adaptatie aan klimaatveranderingen duidelijk kan verruimen. Er bestaan echter ook nog grote onzekerheden.

Sedimenthonger Oosterschelde bestrijden is geen triviale zaak

Sediment invoeren in de Oosterschelde of het getijvolume veranderen door ingrepen bij de kering om de sedimenthonger te bestrijden is geen triviale zaak. Door de ingrepen is het gebied uit evenwicht gebracht waarbij de grootte van de dwarsdoorsnede van de geulen te groot is ten opzichte van de getijvolumina. Tot nog toe is dit deels ongedaan gemaakt door de ontwikkeling van het gebied, waarbij de platen verlaagden en het getijvolume iets toenam, terwijl het vrijgekomen sediment in de geulen werd afgezet. Punt is echter dat er in theorie meerdere stabiele evenwichten mogelijk zijn in het bekken voor wat betreft verhouding geulvolumina en getijdevolumina waar het systeem "heen kan trekken". Er is echter nog nooit exact uitgezocht waar het huidige systeem zich bevindt en hoe dat in de te onderscheiden deelgebieden van de Oosterschelde precies zit. Zodat niet uitgesloten kan worden dat door een ondeskundige verandering van de sedimenthoeveelheden of het getijvolume het bekken een nog veel grotere sedimenthonger gaat vertonen. Aanbevolen wordt om dit uit te zoeken alvorens grootschalige maatregelen worden genomen in het gebied.

De toepasbaarheid van verschillende opties van de sedimentstrategie hangt sterk af van de fysieke mogelijkheden binnen het subsysteem (een versterking van het dijkvoorland bijvoorbeeld, is lastig wanneer niet al een voorland aanwezig is). Die fysieke eigenschappen verschillen sterk van plaats tot plaats. Welke optie op welke locaties, fysiek uitvoerbaar is, zou nader moeten worden onderzocht.

Andere onzekerheden betreffen de verhouding tussen effecten op de kleine - en op de grote schaal. Bijvoorbeeld de effecten tijdens aanleg van een zandsuppletie, afgezet tegen de effecten op langere termijn. Of, de effecten van een reeks afzonderlijke, lokale, kleinere ingrepen, afgezet tegen de effecten op de schaal van het hele systeem.

Naast vragen over de fysieke uitvoerbaarheid, bestaan evenzeer vragen over de maatschappelijke wenselijkheid van de verschillende opties. En, omdat we spreken over een nieuw type maatregelen, is niet op voorhand duidelijk wat de effectiviteit van verschillende opties is. Dat geldt ook voor de kosteneffectiviteit, zoals blijkt uit bovengenoemde beschouwing over kosten en baten (zie 6.1). Desalniettemin, gelet op de theoretische kansen van de sedimentstrategie om tegelijkertijd acute problemen te bestrijden en de duurzame randvoorwaarden voor ontwikkeling van het bekken op peil te houden, verdienen de opties zoals beschreven in het huidige rapport nader onderzoek.

Onderzoekvragen

Zaken die daarbij zeker aandacht verdienen zijn:

- de fysieke mogelijkheden op lokale schaal (op welke plaatsen in de verschillende bekkens is een bepaalde maatregel uitvoerbaar?);
- afstemming van zandwinning en suppleties (locaties, timing en uitvoeringswijze) gericht op optimale effectiviteit (functioneel, ecologisch en kostentechnisch);
- de ecologische mogelijkheden op lokale schaal door inzet van biobouwers (wat zijn (kosten)effectieve strategieën/toepassingen?);
- de effecten van sedimentkeuze (zand, klei, grind), hoeveelheid en frequentie op morfologische resultaten en ecologische effecten op zowel systeem als lokale schaal);
- het gebruik van sediment uit externe bron (dat een bijdrage levert aan terugdringen van de zandhonger door zeespiegelstijging), in vergelijking tot materiaal uit interne bronnen (denk bijvoorbeeld aan relatie met vaargeul baggerwerk in de Westerschelde);
- relatie met toetsprocedures (bestaande veiligheidstoets en instelling van een onderhoudstoets voor dijken "Dijk-BKL");
- een afwegingskader dat een onderbouwde keuze mogelijk maakt voor doel, locatie, tijdstip en wijze van suppleren;
- ontwikkeling van ecologische indicatoren (op systeem en lokale schaal) als beoordelingskader voor verschillende sedimentstrategieën.
- kosten-baten analyses als ondersteuning voor afwegingskader van specifieke strategie per locatie.
- creëren van draagvlak voor de sedimentstrategie bij alle betrokken stakeholders in de bekkens van de Delta

Werkend leren

Het meegroeien met de zeespiegel is een langzaam proces. We hebben de tijd om te leren wat de meest effectieve manier is om dat doel te bereiken. De benodigde kennis kan werkende weg worden opgebouwd door het definiëren van een aantal pilotprojecten per deelsysteem, waarbij centraal staat dat sediment wordt ingezet voor het behalen van een bepaald doel. Die doelen kunnen per pilot variëren, evenals de soort (klei, zand, grind) en hoeveelheid sediment. Op basis van deze pilots kan meer kennis worden opgedaan over de werking van het systeem, zowel morfologisch als ecologisch. Op basis daarvan kan een beoordelingskader worden ontwikkeld voor de ruimtelijke verdeling van het sediment. We kunnen daarbij voortbouwen op diverse proefnemingen die al in de ZW Delta zijn gestart of binnenkort van start gaan

8 Referenties

Anonymus, 2005. Verdrag tussen het Vlaams Gewest en het Koninkrijk der Nederlanden betreffende de uitvoering van de ontwikkelingsschets 2010 Schelde-estuarium.

Baptist, M. J., J. E. Tamis, et al. (2009). Review of the geomorphological, benthic ecological and biogeomorphological effects of nourishments on the shoreface and surf zone of the Dutch coast, IMARES and Deltares: 69.

Bouma S, Lengkeek W, Boudewijn TJ, Turlings LG, Abma R & Nieuwkamer RLJ. (2008). Notitie knelpunten autonome ontwikkeling - Onderdeel Verkenning "Grevelingen water en getij". Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Bijkerk, R. (1988). Ontsnappen of begraven blijven: de effecten op bodemdieren van een verhoogde sedimentatie als gevolg van baggerwerkzaamheden. Groningen, RDD Aquatic Ecosystems.

Birklund, J. and J. W. M. Wijsman (2005). Aggregate extraction: a review on the effect on ecological functions, DHI Water & Environment; WL Delft Hydraulics. Report Z3297.10

Borsje, B. W., B. K. Van Wesenbeeck, et al. (2011). "How ecological engineering can serve in coastal protection." *Ecological Engineering* 37: 122.

Boudewijn, T.J. en P.W. van Horssen, 2010. Openstellen onderhoudswegen Oosterschelde en Westerschelde. Effecten op overtijdende en foeragerende steltlopers. Bureau Waardenburg. Rapport nr. 10-105: 157 p.

Brummelhuis, E. B. M., K. Troost, et al. (2011). Inventarisatie van Japanse oesterbanken in de Oosterschelde en Waddenzee in 2011.

Burd, F. H. (1995). *Managed retreat: a practical guide*. Peterborough, English Nature.

Buzzelli, C. P., R. A. Luettich, et al. (2002). "Estimating the spatial extent of bottom-water hypoxia and habitat degradation in a shallow estuary. ." *Marine Ecology Progress Series* 230: 103-112.

Cleveringa, J., 2008. Morphodynamics of the delta coast (South-west Netherlands); Quantitative analysis and phenomenology of the morphological evolution 1964-2004, Alkyonreport A1881

Cleveringa, J., F. Van Vliet, et al. (2012). Zandwinning op de Zeeuwse banken. Onderzoek naar effecten op ecologische en aardkundige waarden en kostenaspecten. Culemborg, Bureau Waardenburg bv i.o.v. Rijkswaterstaat Noordzee.

Craeymeersch, J. A. M., I. G. De Mesel, et al. (2008). Gezondheidsindicatoren voor het Schelde estuarium: een inventarisatie en evaluatie van biologische graadmeters voorgesteld in nationale en internationale kaders, toegepast op het Nederlandse deel van het Schelde-estuarium. Yerseke, Wageningen IMARES UR: 65.

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., Dreeger, D., Concepts and Controversies in Salt Marsh Ecology. Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers.

De Jonge, E. (2010). Visie op duinmanagement en het gebruik van Helmgras (*ammophila arenaria*) in Nieuwvliet-Groede, Zeeuws Vlaanderen, Wageningen UR.

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 (2012), "Deltaprogramma 2013; Mogelijke strategieën"

De Kluijver, M. J. and M. Dubbeldam (2003). De sublittorale hard -substraat levensgemeenschappen in de Oosterschelde. Evaluatie van de ontwikkeling in de periode 1985-2002. Amsterdam, Grontmij - AquaSense.

De Mesel, I., T. Ysebaert, et al. (2012 (in preparation)). Klimaatbestendige dijken, het concept wisselpolders IMARES.

De Mesel I, Craeymeersch J, Wijsman J & van Gool A, 2009. Proefsuppletie Galgenplaat Oosterschelde Monitoring effect op productiviteit van mosselpercelen. IMARES Rapport C143/09

De Mesel, I., C. J. Smit, J. Craeymeersch en J. W. M. Wijsman (2009) Evaluatie effectiviteit gesloten gebieden in de Oosterschelde, Westerschelde en Voordelta. Wageningen IMARES, Rapport nummer: C015/09

De Vries, M. B., T. J. Bouma, et al. (2007). "Biobouwers van de kust. Rapport haalbaarheidstudie."

Deltares (2011). Effect van herintroductie van getij op waterkwaliteit en ecologische toestand van het Grevelingenmeer. Scenarioberekeningen ten behoeve van de MIRT-Verkenning. Delft: 80.

Eertman, R. H. M., B. A. Kornman, et al. (2002). "Restoration of the Sieperda Tidal Marsh in the Scheldt Estuary, The Netherlands." Restoration Ecology 10(3).

Fiselier, J., N. Jaarsma, et al. (2011). Perspectief Natuurlijke keringen: Een eerste verkenning ten behoeve van het Deltaprogramma: 60.

French, J. R. (2008). "Hydrodynamic Modelling of Estuarine Flood Defence Realignment as an Adaptive Management Response to Sea-Level Rise." Journal of Coastal Research 24(2B): 1-12.

French, P. W. (2006). "Managed realignment - The developing story of a comparatively new approach to soft engineering." Estuarine, Coastal and Shelf Science 67: 409-423.

Garbutt, A. (2008). Restoration of intertidal habitats by the managed realignment of coastal defences, UK. 'Dunes and Estuaries 2005' – International Conference on Nature Restoration Practices in European Coastal Habitats, Koksijde, Belgium.

GeurtsVanKessel AJM, 2004. Verlopend tij - Oosterschelde, een veranderend Natuurmonument. Rapport RIKZ/2004.028

Henkens, R.J.H.G., Wijsman, J.W.M., Goossen, C.M. & R. Jochem, 2011. Duurzaam ruimtegebruik Oosterschelde; Toepassing van PARENA (Praktische Aanpak REcreatie en NATuur) voor een duurzame combinatie van natuur, recreatie en schelpdiervisserij. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2284. 42 blz.

Holzhauser et al, 2011. Evaluatiemethodiek Schelde-estuarium. Deltaresrapport 1204407.

Hop, J. and F. T. Vriese (2011). Vismigratie Rijn-Maasstroomgebied, Rijkswaterstaat Zuid-Holland.

ICES (2001). Effects of extraction of marine sediments on the marine ecosystem. Cooperative research report.

Janssen, G. and S. Mulder (2005). "Zonation of macrofauna accross sandy beaches and surf zones along the Dutch coast." *Oceanologia* 47: 265-282.

Jones, C. G., J. H. Lawton, et al. (1994). "Organisms as Ecosystem Engineers." *Oikos* 69(3): 373-386.

Kalkwijk, P. W. 1954; De landaanwinning in het Zuider Sloe. *Weg en waterbouw*, nr 9-10, 1954

Kornman, B. A. and A. Schouwenaar (2001). Kleidijken en groene dijken in de Westerschelde, voorspelling ligging schorranden in 2050, RIKZ.

Kreveld, Arnold, van, & Alphons van Winden, 2007. Volkerak het mooiste van twee werelden; Naar een perspectief voor Volkerak-Zoommeer én omgeving: 34p.

Lengkeek, W., S. Bouma, et al. (2007). Het effect van zuurstofdeficiëntie op het bodemleven in het Grevelingenmeer. Een blik onder water. Culemborg, Bureau Waardenburg.

LTV V&T 2012a: Taal, Dam, (2012). Resultaten ten behoeve van besluitvorming zandwinning, in concept

LTV V&T 2012b:: Kuijper (2012) notitie ontwikkeling getijslag, in concept.

LTV V&T 2012c: Taal, Wang, Cleveringa (2012). Conceptueel model grootschalig gedrag getij en morfologie (deelproject A), in concept.

Meijer, A. J. M. and A. C. Van Beek (1988). De levensgemeenschappen op harde substraten in de getijdzone van de Oosterschelde. Culemborg, Bureau Waardenburg.

Menn, I., C. Junghans, et al. (2003). "Buried alive: Effects of beach nourishment on the infauna of an erosive shore in the North Sea." *Senckenbergiana maritima* 32(1-2): 125-145.

MER, 1998, MER Beheer - over de grens van zout en zoet, deelrapport Morfologie en Kwaliteit, Morfologie mondong Haringvliet, ISBN: 903694891, RWS nota nr.apv 98/100

Möller, I. I., T. Spencer, et al. (2001). "The sea defence value of salt marshes: field evedince from north Nortfolk." *Water and Environmental Management* 15(2): 109-116.

Nienhuis, P. H. and A. C. Smaal (1994). The Oosterschelde Estuary (The Netherlands): A Case-Study of a Changing Ecosystem. Dordrecht.

Nolte A, Troost T, de Boer G, Spiteri C & van Wesenbeeck B, (2008). Verkenning oplossingsrichtingen voor een betere waterkwaliteit en ecologische toestand van het Grevelingenmeer. Deltares rapport Z4576

Norden Andersen, O. G., P. E. Nielsen, et al. (1992). Effects on sea bed, benthic fauna and hydrography of sand dredging in Koge Bay, Denmark. 12th Baltic marine Biologists Symposium, Helsingor, Denmark.

Peters, J.J., 2006. in: De Vlakte van de Raan van onder het stof gehaald, Jon Coosen et al, VLIZ SPECIAL PUBLICATION 35.

Pieters, P.C., 2005, Quick scan van de mogelijkheden van de aanleg eilanden in Haringvliet en Hollandsch Diep , Nota AP/3927005 /2004/ 13, Rijkswaterstaat Directie Zuid Holland, 75 pp

Projectbureau Waterberging Volkerak-Zoommeer (2010). Rapport Effecten Natuur. Toetsling effecten waterberging Volkerak-Zoommeer., Projectbureau Waterberging Volkerak-Zoommeer/DHV: 155.

ProSes, 2005. Ontwikkelingsschets 2010 Schelde-estuarium. Besluiten van de Nederlandse en Vlaamse regering. In opdracht van de Technische Schelde Commissie opgesteld door de Projectdirectie Ontwikkelingsschets Schelde-estuarium.

Rijkswaterstaat (2009). Waterberging Volkerak-Zoommeer. Startnotitie milieueffectrapportage.: 37.

Rijkswaterstaat (2011). Beschrijving huidige situatie Haringvliet. Achtergrondrapportage voor onderzoek naar alternatief voor het Kierbesluit.

Rijkswaterstaat (2012). Sophiastrand, duin of dijk als kering. Middelburg.

Rijnsdorp A, van Stralen M, Baars D, van Hal R, Jansen H, Leopold M, Schippers P & Winter E. (2006). Rapport Inpassing Visserijactiviteiten Compensatiegebied MV2. IMARES rapport C047/06.

Schaub, B. E. M., D. Van Oevelen, W. C. H. Sijm, M. Rietveld, P. M. J. Herman en H. H. Hummel (2002) Veranderingen in de Samenstelling van het Macrobenthos van het Grevelingenmeer (periode 1990-2000) en mogelijke Oorzaken. NIOO-CEME, Rapport nummer: 2002-01

Schellekens, T. and A. C. Smaal (2012). BO Zuidwestelijke Delta: Nutrientendynamiek en verandering van draagkracht. Yerseke, IMARES Wageningen UR.

Schneider, O., J. W. M. Wijsman, J. Steenbergen en A. C. Smaal (2006). Vissen in het zout ... Een quickscan naar de gevolgen van het alternatief "zout" voor de visserij en schelpdiercultuur in het Volkerak Zoommeer. IMARES, Rapport nummer: C069/06.

Schrijnen, J. en S. Buijs, 2012, Het (al dan niet estuariene) Haringvliet en de zoetwatervoorziening van Zuidwest Nederland , notitie 9 augustus 2012

- Smaal A.C. & Lucas L. (2000). Regulation and monitoring of marine aquaculture in The Netherlands. *J Appl Ichthyol* 16: 187-191
- Stichting Recreatietoervaart Nederland, 2012. Varen doe je samen. Staande Mast route 2012: 40p.
- Strucker, R. C. W., M. S. J. Hoekstein, et al. (2005). Kustbroedvogels in het Deltagebied in 2004. Middelburg, RIKZ.
- 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.
- Technische Schelde Commissie, 2001. Langetermijnvisie Schelde-estuarium– uitgave RWS & AWZ.
- Ten Brinke, W., 2004. De betugelde rivier. Deel 81 van Wetenschappelijke bibliotheek Natuur& techniek, Uitgeverij Van Veenmagazines, Diemen
- Toft, A. R. and R. J. Maddell (1995). A guide to the understanding and management of salt marshes. Peterborough, NRA.
- Troost, K., E. Gelderman, et al. (2009). "Effects of an increasing filter feeder stock on larval abundance in the Oosterschelde estuary (SW Netherlands)." *Journal of Sea Research* 61: 153-164.
- Troost, K., M. Tangelder, et al. (2012). From Past to Present. Biodiversity in a Changing Delta. Yerseke, IMARES Wageningen UR.
- Troost, K. and Y. Ysebaert (2011). ANT Oosterschelde: Long-term trends of waders and their dependence on intertidal foraging grounds., IMARES Wageningen UR.
- Van Dalssen, J. (1999). Ecologische effecten van grootschalige zandwinning. Werkdocument ten behoeve van visieontwikkeling op kustplannen., RWS RIKZ.
- Van Dalssen, J. and K. Essink (1997). Risk analysis of coastal nourishment techniques., RIKZ: 98.
- Van de Lee MK, Traag WA, Hoek - van Nieuwenhuizen M, Kotterman MJJ & Hoogenboom LAP. (2009). Verontreiniging rode aal Nederlandse binnenwateren monitoring voor sportvisserij 2004 – 2008. IMARES rapport 2009.011
- Van den Haterd, R. J. W., W. Lengkeek, et al. (2010). Herintroductie getij in de Grevelingen en effecten op natuur in intergetijdengebieden. Culemborg, Bureau Waardenburg: 75.
- Van der Hoog, J. (2007). Effect Kierbesluit op grondwater van Goerree-Overvlakkee. Delft, Technische Universiteit Delft.

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 Rooij, S., E. Verduin, M. van Kersten, H. Hoogendoorn, B. van Bueren en E. Kuijs, (2012), Balance Island, rapport Grontmij, Waterarchitect en Imares, 31pp.

Van der Wal, D., Y. Ysebaert, et al. (2006). Leven in het sediment: teledetectie van bentische ecologie van intergetijdengebieden. Congres Watersysteemkennis 2006-2007.

Van Maldegem, D. and D. De Jong (2010). Invloed beperkt getij op oever Grevelingen Meer. Huidige ontwikkeling en prognose T50-T100. Middelburg, Rijkswaterstaat Zeeland.

Schaap J. (2012). De Japanse oester onder het zand - Onderzoek naar de effecten van zandbedekking op de Japanse oester (*Crassostrea gigas*) als gevolg van zandsuppletie. Studentenrapport

Sluis, C. en P. Kamermans (2012) Peilverandering in de Zuidwestelijke Delta: Effecten op natuurwaarden en aquacultuur. Wageningen IMARES, Rapport nummer: C041/12.

VanGils J. (2008). Memo: Expert judgement naar draagkracht van de Grevelingen voor schelpdierkweek. Deltares Kenmerk 1201650-000-ZKS-0029

Van Zanten, E. and L. A. Adriaanse (2008). Verminderd getij. Verkenning naar mogelijke maatregelen om het verlies van platen, slikken en schorren in de Oosterschelde te beperken, Rijkswaterstaat Zeeland, Middelburg, The Netherlands.

Verbeek, H. and C. Storm (2001). "Tidal Wetland Restoration in The Netherlands." *Journal of Coastal Research*(27): 192-202.

Waterrecreatieadvies 2004. Watersport in het Deltagebied. Integrale recreatievisie deltawateren. 64p.

Waterrecreatieadvies, 2009. Onderzoek vaargedrag Deltagebied.

Wetsteyn, B., F. Twisk, et al. (2007). Monitoring van de effecten van de verruiming van 48'/43': MOVE rapport 10 Eindrapport 2006. Middelburg, Rijksinstituut voor Kust en Zee: 175.

Wijsman, J. W. M. (2002). Stratificatie en zuurstofdeficiëntie in het Grevelingenmeer. RIKZ Middelburg, Rapport nummer: RIKZ/AB/2002.819X

Wijsman J. (2007). Effecten van zandhonger in de Oosterschelde op kokkels, oesters en de kweek van oesters en mosselen. IMARES Rapport nr. C002/07

Wijsman, J., J. Perdon, et al. (2010). Verkenning mogelijkheden voor verwijderden Japanse oesters in recreatiezones Grevelingenmeer, IMARES Wageningen UR.

Wijsman, J. & Verduin, E. (2011). T0 monitoring Zandmotor Delflandse kust: benthos ondiepe kustzone en natte strand. Rapport C039/11

Wijsman J. & Kleissen F. (2011). Potenties van een zout Volkerak-Zoommeer voor mossel- en oestercultuur. IMARES Rapport C180/11

Wijsman J, Brummelhuis E, van Gool A. (in prep-a). Monitoring mosselgroei Schelphoek in het kader van de suppletieproef.

Wijsman J, Dedert M, Teal L, Schellekens T & van Kruchten Y. (in prep-b). Case Study Mussels – Modeling the effect of dredging on filter-feeding bivalves.

Witteveen + Bos (2011). Morfologische beoordeling oeverserosie en slibsedimentatie Grevelingen. Rotterdam: 63.

Wolters, M., A. Garbutt, et al. (2005). "Salt-Marsh restoration: evaluation the success of de-embankments in north-west Europe." *Biological Conservation* 123: 249-268.