

# Biobouwers als optimalisatie van waterveiligheid in de Zuidwestelijke Delta

M. Tangelder, A. V. de Groot & T.J.W. Ysebaert

Rapport C198/13



# IMARES Wageningen UR

(IMARES - Institute for Marine Resources & Ecosystem Studies)

Opdrachtgever:

Ministerie van Economische Zaken  
Postbus 20401  
2500 EK Den Haag

BO-11-015-030

Publicatiedatum:

10 december 2013

**IMARES is:**

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

P.O. Box 68  
1970 AB IJmuiden  
Phone: +31 (0)317 48 09 00  
Fax: +31 (0)317 48 73 26  
E-Mail: [imares@wur.nl](mailto:imares@wur.nl)  
[www.imares.wur.nl](http://www.imares.wur.nl)

P.O. Box 77  
4400 AB Yerseke  
Phone: +31 (0)317 48 09 00  
Fax: +31 (0)317 48 73 59  
E-Mail: [imares@wur.nl](mailto:imares@wur.nl)  
[www.imares.wur.nl](http://www.imares.wur.nl)

P.O. Box 57  
1780 AB Den Helder  
Phone: +31 (0)317 48 09 00  
Fax: +31 (0)223 63 06 87  
E-Mail: [imares@wur.nl](mailto:imares@wur.nl)  
[www.imares.wur.nl](http://www.imares.wur.nl)

P.O. Box 167  
1790 AD Den Burg Texel  
Phone: +31 (0)317 48 09 00  
Fax: +31 (0)317 48 73 62  
E-Mail: [imares@wur.nl](mailto:imares@wur.nl)  
[www.imares.wur.nl](http://www.imares.wur.nl)

© 2013 IMARES Wageningen UR

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

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

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

A\_4\_3\_1-V13.2

## Inhoudsopgave

Samenvatting.....	4
1 Inleiding.....	7
1.1 Biobouwers: ingenieurs van ecosystemen.....	8
1.1.1 Definitie .....	8
1.1.2 Autogeen en allogeen .....	8
1.1.3 Biobouwers en kustverdediging.....	8
1.2 Doel van deze studie.....	9
1.3 Bekkens van de Zuidwestelijk Delta.....	9
1.4 Afbakening .....	10
1.4.1 Kader.....	10
1.4.2 Relatie met ander Beleidsondersteunend onderzoek.....	10
1.5 Werkwijze.....	10
1.6 Leeswijzer .....	10
2 Biobouwers in de ZW Delta.....	11
3 Vegetatie.....	13
3.1 Schorren .....	13
3.2 Duinvegetatie.....	19
3.3 Zoetwatervegetatie.....	22
3.3.1 Wilgen .....	22
3.3.2 Helofyten: riet en biezten.....	27
4 Schelpdierbanken .....	30
4.1 Mosselbanken .....	31
4.2 Oesterbanken.....	33
5 Toepassingsmogelijkheden biobouwers in de ZWD .....	38
5.1 Potentieel voorkomen van biobouwers in de bekkens .....	38
5.2 Toepassingsmogelijkheden .....	40
6 Conclusie.....	48
7 Discussie en aanbevelingen .....	49
7.1.1 Biobouwers als optimalisatie van waterveiligheid .....	49
7.1.2 Aanbevelingen aan het Deltaprogramma Zuidwestelijke Delta.....	49
8 Dankwoord .....	51
9 Kwaliteitsborging .....	51
Referenties .....	52
10 Verantwoording .....	56
Bijlage A. Detail informatie bekkens.....	57
Bijlage B. Verslag expertsessie biobouwers 24 oktober 2013 .....	62
Bijlage C. Opgaven nHWBP.....	68

## Samenvatting

Biobouwers ("ecosystem engineers") zijn organismen die door hun aanwezigheid of activiteit, direct dan wel indirect, hun omgeving beïnvloeden. De sturende werking die biobouwers op hun omgeving kunnen hebben wordt gezien als een interessante manier om de waterveiligheidsstrategie te optimaliseren. Naast veiligheid zijn biobouwers ook interessant vanuit ecologische en economische overwegingen ("ecosysteemdiensten").

Het Deltaprogramma Zuidwestelijke Delta werkt aan lange-termijn veiligheidsstrategieën voor de ZW Delta en onderzoekt de potentiële inzet van biobouwers als natuurlijke waterveiligheidsstrategie. Er is met name behoefte aan kennis over mogelijkheden voor het lokaal toepassen van biobouwers voor het optimaliseren van de waterveiligheid in de verschillende bekkens, zowel in de huidige situatie als voor mogelijke toekomst scenario's. Deze studie onderzoekt welke biobouwers hiervoor in aanmerking komen en maakt een inschatting van de toepassingsmogelijkheden in de ZW Delta. Deze studie maakt onderdeel uit van een overkoepelende studie naar "innovatieve dijkconcepten" en is uitgevoerd binnen het Beleidsondersteunend onderzoek in het kader van EZ-programma's.

### *Biobouwers en waterveiligheid*

Biobouwers kunnen op twee manieren een bijdrage aan de waterveiligheid leveren. Ten eerste kunnen ze een onderdeel van een fysieke waterkering vormen door hun aanwezigheid op de voorlanden voor de dijk. Een goed voorbeeld hiervan zijn schorren. Ten tweede kunnen biobouwers de erosie- en sedimentatieprocessen en de sedimentbeschikbaarheid beïnvloeden, en daarmee op lange termijn het "sedimentdelend" systeem en de morfologie beïnvloeden. Deze invloed is voor elke soort biobouwer verschillend. Er zijn verschillende biobouwers onderzocht op hun effecten en toepasbaarheid. Er is gekeken naar zowel zoet- als zoutwater soorten omdat beide systeemtypen voorkomen in de ZW Delta.

Schorvegetatie ontwikkelt zich in luwe, hoger gelegen gebieden aan de randen van estuaria en zeearmen. De schorvegetatie vangt sediment in en legt het vast, waardoor het schor kan groeien en meestijgen met de zeespiegel. Daarnaast zorgt de aanwezigheid van het schor voor golfdemping en stabilisatie van het dijklichaam. Voldoende getijslag en beschikbaarheid van sediment zijn belangrijke factoren voor overleving van het schor.

Duinen ontstaan door de wisselwerking tussen zand, wind en duinvegetatie. Planten remmen de wind lokaal af, waardoor het zand zich af kan zetten en ook niet meer gemakkelijk wordt geërodeerd. Helm (*Ammophila arenaria*) is zeer efficiënt in het invangen van zand, en groeit vervolgens door het neergelegde zand heen omhoog en vormt een uitgebreid wortelstelsel. De duinen vormen een natuurlijke waterkering. Continue aanvoer van zand (meestal bij een breed strand) en een overwegend aanlandige windrichting is van belang voor de overleving van helm.

Wilgen (*Salix spp.*) zijn struiken en bomen die van nature voorkomen op plekken langs rivieren waar ze kiemen op de kale delen op de grens tussen land en water. Ze groeien snel en zijn goed bestand tegen regelmatige en soms langdurige overstroming. Wilgen vormen stevige takken en stammen en zijn daarmee in staat om golven te dempen en sediment te stabiliseren.

Helofyten zoals Riet (*Phragmites australis*) en biezensoorten groeien in ondiep water. Riet is een robuuste plant die stevig wortelt en tot ca. 3 meter hoog groeit. Helofyten kunnen een bescheiden rol vervullen in golfreductie en de wortels helpen het sediment vast te houden. De planten zijn echter niet bestand tegen hoge stroomsnelheden en kunnen dus voornamelijk van dienst zijn op stroom- en golf luwe plekken langs de oevers.

Mosselbanken komen voor in het sub- en intergetijdengebied onder gemiddeld zeeniveau. Mosselen (*Mytilus edulis*) vestigen zich op de bodem en hechten zich met byssusdraden aan elkaar vast of aan de bodem. Mosselbanken dragen bij aan sedimentatie en het vasthouden van sediment in intergetijdengebieden. Daarmee dragen ze bij aan het in stand houden van de slikken en vooroevers, en dragen ze indirect bij aan de waterveiligheid. Deze effecten zijn echter gering in relatie tot een waterveiligheidsstrategie.

Oesterbanken van Japanse oesters (*Crassostrea gigas*) komen voor laag in het intergetijdengebied in zoute getijdenwateren. De oesters groeien aan elkaar vast en kunnen daardoor massieve riffen vormen. De bijdrage van oesters aan de waterveiligheid in de ZW Delta is vergelijkbaar aan die van mosselen, en betreft eerder een indirect effect welke eerder gering is ten aanzien van een waterveiligheidsstrategie. Dit kan onder situaties van een gedempt getij (bijv. in Grevelingen) echter anders liggen, en kan de bijdrage tot golfdemping nabij de dijk mogelijk wel van betekenis kan zijn.

#### *Toepassing biobouwers in de ZW Delta*

Uit deze studie is gebleken dat de belangrijkste kansen voor toepassing van biobouwers als aanvulling op de dijken in de ZW Delta liggen in:

- behoud en mogelijk gericht uitbreiden van bestaande schorren in de Westerschelde en Oosterschelde. Mogelijkheden zijn het beschermen van klifranden door bijv. een kleisuppletie tegen de klifrand, eventueel in combinatie met aanplant van Engels slijkgras. Daarbij moet ook aandacht zijn voor de stabilisatie van het voorliggende slik. Grotere oppervlaktes (nieuw) schor kunnen ontwikkeld worden door het uitdijken van binnendijks gebied (zoals bijv. bij Perkpolder).
- verder ontwikkelen van kunstmatige oesterriffen ([www.ecoshape.nl](http://www.ecoshape.nl)) om gericht erosie te verminderen in de Oosterschelde en in de bekkens met gedempt getij (Veerse Meer en in de toekomst mogelijk Grevelingenmeer en Volkerak-Zoommeer). Onderzoeken van mogelijkheden voor herstel litorale mosselbanken in de getijddebekken, gebruikmakend van de ervaringen in de Waddenzee (Waddensleutels, Mosselwad).
- verder ontwikkelen van de inzet van wilgen of wilgengrienden als golfdempende zone op de oevers van zoetwatersystemen (Haringvliet, Hollandsch Diep, Biesbosch, Volkerak-Zoommeer en mogelijk Markiezaat), waarbij wilgen worden aangeplant.
- ervaring opdoen met de mogelijkheden voor inzet van riet als biobouwer in de luwe delen van de zoete/brakke wateren in de ZW Delta (Haringvliet, Hollandsch Diep, Biesbosch, Volkerak-Zoommeer en Markiezaat), bijvoorbeeld door aanplanten van riet.
- de mogelijkheden voor inzet van duinvegetatie zijn beperkt. Duinvegetatie kan voorkomen in stuifzand op de dijken langs stranden, maar er is geen volwaardig duingebied aanwezig doordat het bekken begrensd wordt door dijken.

#### *Conclusie*

Biobouwers kunnen een positieve bijdragen aan het waterkerend vermogen van de kust, voornamelijk in de vorm van verschillende vegetatietypen. Voor de bekkens van de ZW Delta geldt dat biobouwers alléén niet voldoende zijn om de waterveiligheidsnorm te waarborgen. Wel kunnen biobouwers een waardevolle en interessante aanvulling vormen (zowel direct als indirect) op het waterkerend vermogen van een dijk. Dit kan de robuustheid van de dijken vergroten en daarmee bijv. de onderhoudskosten reduceren. Daarnaast bieden biobouwers kansen voor natuur, landschap, recreatie en economie.

#### *Aanbevelingen aan het Deltaprogramma*

- Gebruik van biobouwers vraagt om een lange-termijn aanpak waarbij de investering zich pas na langere tijd zal terug betalen (veiligheid en andere ecosysteemdiensten). Dit strookt niet met de huidige waterveiligheidsaanpak en toetsingscycli (elke 6 jaar). Een ontwikkelkader voor biobouwers dat is uitgewerkt in ruimte en tijd moet meer inzicht geven in de toepassingsmogelijkheden en de daarbij horende ontwerp- en toetscriteria.
- De bekkens van de ZW Delta kennen een grote onderlinge diversiteit en wijken door de vele menselijke ingrepen af van natuurlijke meren en estuaria. De oevers zijn grotendeels vastgelegd en de getijdensystemen hebben te maken met erosie (intergetijdengebied Oosterschelde) en ruimtegebrek (Westerschelde). Dit beperkt het toepassen van biobouwers op grote schaal. De mogelijkheden liggen daarom vooral bij het gericht stimuleren, aanplanten of beschermen van biobouwers op specifieke plekken. Daarbij moet een afweging worden gemaakt tussen de mate van ingrijpen die nodig is (kosten) en het gewenste resultaat (baten). Dit vraagt kennis van de biobouwer én het systeem.
- Op dit moment is er beperkte kwantitatieve kennis beschikbaar over de bijdragen van verschillende vegetatietypen aan golfreductie, vermindering van piping en vergroten van de macrostabiliteit van de dijk. Het kwantificeren van de bijdrage van zowel schorren, wilgen en

helofyten tijdens normale en maatgevende omstandigheden zal meer inzicht verschaffen in de toepasbaarheid van deze biobouwers in de waterveiligheid.

- Het toelaten van meer estuariene dynamiek in de Zuidwestelijke Delta is ook van invloed op de mogelijkheden van biobouwers. Bijvoorbeeld de introductie van volwaardig getij en daarmee transport van sediment naar de oevers zorgt ervoor dat biobouwers mee kunnen "bouwen" aan de kust. Dit geldt voornamelijk schorvegetatie, zoetwatervegetatie maar mogelijk ook schelpdierbanken. Daarnaast zorgt het introduceren van zout in zoete systemen voor een omslag naar een ander systeemtype. De met zoetwater begroeide oevers zullen ontwikkelen tot kaal slik met zilte pionier begroeiing.
- Specifieke aanbevelingen per biobouwer:
  - o Schorren kunnen mogelijk als formeel onderdeel van de waterkering worden opgenomen. Daarvoor moeten in ieder geval de volgende leemtes in regelgeving en kennis worden ingevuld:
    - Opnemen in toetsinstrumentarium, waarbij ecologische kwaliteit en dynamiek meegenomen moeten worden.
    - Verbeteren van de inschattingen van meegroeivermogen van schorren met verschillende scenario's van zeespiegelstijging in een ruimtelijke context.
  - o Voor zowel wilgen als helofyten geldt dat er nog weinig ervaring is met toepassing van deze biobouwers in relatie tot waterveiligheid. Voorbeelden uit het buitenland laten zien dat gebruik van levend materiaal, van waaruit de biobouwer zich kan ontwikkelen, een succesvolle bijdrage kan leveren in het vastleggen van de oever. Met inzet van helofyten als oeververdediging is nog minder ervaring. Voor zowel wilgen als helofyten geldt dat voorbeeldprojecten en onderzoek nodig zijn om de potentie van deze biobouwers voor waterveiligheid concreet te kunnen maken.
  - o Duinvegetatie: op zandige kusten zoals de koppen van de eilanden en Noordzee kust is de betekenis groot. De laatste jaren zijn op verschillende locaties hybride concepten zoals dijk-in-duin aangelegd aan de randen van estuaria (bijvoorbeeld Westerschelde en Oosterschelde). Het succes daarvan zal de komende tijd duidelijk worden.
  - o Schelpdieren kunnen gezien de huidige kennis en stuurbaarheid niet als formeel onderdeel van de waterkering worden opgenomen. Ze kunnen echter wel een rol spelen in het behoud van slikken en voorlanden. Vanwege het beperkte voorkomen van mosselbanken en de beperkte kennis over gerichte toepassing, is de betekenis van mosselbanken in de ZW Delta voor waterveiligheid nog onzeker. Dit moet nader worden onderzocht. Riffen van Japanse oesters lijken echter wel een duidelijke potentie te vertegenwoordigen. Het is van belang dat experimenten met de aanleg en inzet van oesterriffen (als onderdeel van kleinschalige pilots, dijkconcepten en in relatie tot schorontwikkeling) goed gemonitord en geëvalueerd worden, waarbij ook aandacht besteed wordt aan de opschaalbaarheid.

# 1 Inleiding

De gevolgen van klimaatverandering leiden tot nieuwe veiligheidsopgaven in de Zuidwestelijke Delta (ZW Delta) voor de lange termijn. Deze opgaven worden integraal opgepakt door het Deltaprogramma Zuidwestelijke Delta die werkt aan een veilige, economisch vitale en ecologisch veerkrachtige ZW Delta op zowel de korte als de lange termijn. Het inzetten van zogenaamde "innovatieve dijkconcepten" (Figuur 1) wordt daarbij gezien als een kansrijke waterveiligheidsstrategie die kan leiden tot veiligere, meer robuuste en vaak goedkopere dijken die tevens kunnen bijdragen aan economische en ecologische waarden van het gebied (Deltaprogramma Zuidwestelijke Delta 2013 in voorbereiding).



Figuur 1. Ruimtelijke mogelijkheden voor innovatieve dijkconcepten (Tangelder et al. 2013).

Sinds 2011 wordt beleidsondersteunend onderzoek uitgevoerd naar innovatieve dijkconcepten zowel in de ZW Delta (Tangelder & Ysebaert 2012; Tangelder, Groot et al. 2013) als in het Waddengebied (Van Loon-Steensma & Schelfhout 2012; Van Loon-Steensma et al. 2012). Uit het onderzoek in de ZW Delta kwam onder andere naar voren dat gebruik van "biobouwers" in combinatie met dijken wordt gezien als een interessante manier om de waterveiligheidsstrategie in de ZW Delta te optimaliseren door het benutten van ecologische processen. Inzet van biobouwers is interessant omdat ze vaak gebiedseigen zijn en dus onderdeel van het ecosysteem vormen, en dat ze (tot op zekere hoogte) mee kunnen groeien met veranderende omstandigheden (zoals zeespiegelstijging). Daarmee zouden ze onderdeel van een natuurvriendelijke en adaptieve veiligheidsstrategie kunnen vormen, binnen de filosofie van Building with Nature (Borsje et al. 2011). Kennis over biobouwers en ervaring met het toepassen van verschillende methoden is op dit moment echter nog onvoldoende om toepassing in de bekken van de ZW Delta te kunnen beoordelen en de betekenis voor kustverdediging, ecologie en gebruik concreet te maken (Tangelder, Groot et al. 2013). Er is daarbij met name behoefte aan kennis over mogelijkheden voor het lokaal toepassing van biobouwers in de verschillende bekken zowel in de huidige situatie als voor mogelijke toekomstige scenario's. Deze studie is erop gericht om hier duidelijkheid in te scheppen door bestaande kennis over biobouwers toepasbaar te maken voor de ZW Delta, opgedane ervaring met toepassing van biobouwers te analyseren en een inschatting te maken van toepassingsmogelijkheden. Deze studie is uitgevoerd binnen het Beleidsondersteunend onderzoek in het kader van EZ-programma's.

*Overkoepelend onderzoek "Vervolg innovatieve dijkconcepten 2013"*

- Deze studie maakt onderdeel uit van een breder onderzoek "Vervolg innovatieve dijkconcepten 2013" naar potentie van innovatieve dijkconcepten als optimalisatie van de huidige veiligheidsstrategie in de ZW Delta. Binnen dit overkoepelende onderzoek worden onderstaande kennisonderwerpen opgepakt:
- Deel A: Governance van innovatieve dijkconcepten: Definiëren van succes- en faalfactoren die bepalend zijn voor plaatsen waar de dijkzone al dan niet ontwikkeld wordt.
- Deel B: Biobouwers in de ZW Delta (voorliggende studie): Onderzoeken van mogelijkheden voor toepassing van biobouwers in de ZW Delta.
- Deel C: Maatschappelijke kosten-baten analyse van innovatieve dijkconcepten: Kwantificeren van de meerwaarde en kosten van innovatieve dijkconcepten ten opzichte van traditionele dijken.

## **1.1 Biobouwers: ingenieurs van ecosystemen**

### *1.1.1 Definitie*

Biobouwers worden gedefinieerd als:

*"planten, dieren of andere organismen die direct of indirect effect hebben op de beschikbaarheid van hulpbronnen voor andere soorten door het veroorzaken van fysische veranderingen in levend of dood materiaal (Jones et al. 1994; Jones et al. 1997)".*

De term biobouwers is een vertaling van de oorspronkelijke Engelse term 'ecosystem engineers', die eigenlijk beter aangeeft wat die organismen doen: het zijn organismen die door hun aanwezigheid of activiteiten, direct dan wel indirect, hun omgeving beïnvloeden. Daarmee veranderen, behouden, of vernietigen ze het habitat voor zichzelf en andere organismen, of ze creëren juist nieuw habitat. Denk daarbij bijvoorbeeld aan de invloed die rifvormende schelpdieren, zoals oesters, kunnen hebben op golfdemping en sedimentatie en dat ze fungeren als habitat voor andere organismen. Er zijn ook biobouwers die juist een destabiliserend effect op het systeem hebben, zoals wadpieren (*Arenicola marina*) die het sediment omwoelen (Van Weesenbeeck *et al.* 2007).

### *1.1.2 Autogeen en allogeen*

Er zijn twee typen biobouwers: autogeen en allogeen (Jones et al., 1994). *Autogene* biobouwers dragen met hun levend of dood materiaal bij aan de omgeving, bijvoorbeeld schelpen die na de dood van het organisme deel gaan uitmaken van het sediment, koralen, of bomen. *Allogene* biobouwers zijn organismen die door hun fysieke aanwezigheid of activiteit hun omgeving beïnvloeden, maar dat met bestaand materiaal doen. Zo hebben kwelderplanten een allogeen effect, doordat de planten golven en stroming beïnvloeden en zo sedimentatie in de hand werken (Bouma et al., 2008). Sommige biobouwers hebben elementen van beide, zoals bijvoorbeeld riffen van Japanse oesters. Als allogene biobouwers filteren oesters het water, waardoor het helderder wordt en er (organisch) materiaal van de uitwerpselen op de bodem wordt afgezet. Een autogeen effect van oesters is dat ze een habitat van hard substraat vormen voor zowel sessiele (zoals zeepokken, macroalgen) als mobiele organismen (krabben, slakken) (Markert et al., 2009). Het effect van biobouwers op hun fysische omgeving duurt vaak langer dan de levensduur van het organisme, zoals in het geval van oesterriffen: de effecten van de biobouwer overleven de biobouwer (Hastings et al., 2007).

### *1.1.3 Biobouwers en kustverdediging*

Biobouwers kunnen op twee manieren een bijdrage aan de waterveiligheid leveren. Ten eerste kunnen ze een onderdeel van een fysieke waterkering vormen door hun aanwezigheid op de voorlanden voor de dijk. Zo heeft Möller (2001) op basis van veldmetingen bepaald dat golfreductie boven een schor 50% hoger is dan boven een kale zandvlakte met gelijke diepte. Ten tweede kunnen biobouwers de erosie- en sedimentatieprocessen en de sedimentbeschikbaarheid beïnvloeden, en daarmee op lange termijn het sedimentdelend systeem en de morfologie beïnvloeden. Schorren kunnen meegroeien met de zeespiegelstijging. Helmgras kan door het vastleggen van stuifzand in duinen de kustzone langdurig vastleggen. Deze effecten kunnen zowel lokaal zijn, als het hele systeem beïnvloeden. De waterkeringen



in de bekken van de ZW Delta bestaan naast bv. dammen en sluisen voor het grootste gedeelte uit dijken. De termen waterkering en dijken worden in dit rapport door elkaar gebruikt.

## 1.2 Doel van deze studie

Doel van deze studie is tweedelig:

1. Het bundelen van bestaande kennis over biobouwers die mogelijk toepasbaar zijn als optimalisatie van de huidige veiligheidsstrategie met dijken in de ZW Delta.
2. Het inschatten van de toepassingsmogelijkheden van de in stap 1 gedefinieerde biobouwers op basis van fysische randvoorwaarden en expert oordeel in de ZW Delta.

## 1.3 Bekken van de Zuidwestelijk Delta

De Zuidwestelijke Delta en haar bekken vormt het studiegebied van deze studie. Dit gebied wordt gevormd door de deltawateren, verschillende (schier)eilanden en de kusten van Zuidwest Nederland. De bekken kennen een grote onderlinge diversiteit (Figuur 2) variërend van een estuarium (Westerschelde), zoute getijde baai (Oosterschelde), zoute/brakke meren (Veerse Meer, Grevelingen en Markiezaat), zoete meren (Volkerak-Zoommeer) tot zoete dynamische bekken met rivierinvloed en een geringe getijslag (Haringvliet, Hollandsch Diep en Biesbosch). Deze studie richt zich op ZW delta zoals deze door het Deltaprogramma wordt afgebakend met de gebieden: Oosterschelde, Westerschelde, Veerse Meer, Grevelingen, Volkerak-Zoommeer, Markiezaat, Haringvliet, Hollandsch Diep en Biesbosch. De Voordelta wordt niet meegenomen.



Figuur 2. De bekken van de Zuidwestelijke Delta en Deltawerken: 1. Grevelingendam, 2. Volkerakdam, 3. Haringvlietsluizen, 4. Brouwersdam, 5. Oesterdam, 6. Markiezaatkade, 7. Zandkreekdam, 8. Philipsdam, 9. Bathse Spuisluis, 10. Oosterscheldekering, 11. Veerse Gatdam.

## **1.4 Afbakening**

### *1.4.1 Kader*

In voorliggende rapportage wordt een overzicht gegeven van de verschillende typen biobouwers en hun toepassingsmogelijkheden op voorlanden van dijken in de ZW Delta. Het accent ligt hierbij op toepassing voor de dijken, maar ook de duinen worden meegenomen. De rol van biobouwers in behoud van voorlanden en de relatie met kustverdediging heeft een centrale plaats in deze studie. Daarom worden concepten als "rijke dijken" of het gebruik van eco-structuren die er hoofdzakelijk op gericht zijn om harde dijken natuurvriendelijker te maken ("Levende waterbouw") niet meegenomen. Deze studie is niet gericht op het ontwikkelen van nieuwe kennis, maar op het bundelen en overzichtelijk toegankelijk maken van bestaande kennis.

### *1.4.2 Relatie met ander Beleidsondersteunend onderzoek*

In het kader van Deltaprogramma Wadden is een soortgelijke BO-studie naar biobouwers uitgevoerd gericht op de rol van biobouwers in het meegroeivermogen van de Waddenzee. Voorliggende rapportage is afgestemd en overlapt deels met de studie in het Waddengebied (Groot et al., 2013 in prep)

Daarnaast houdt voorliggende studie inhoudelijk verband met het BO onderzoek naar 'Veiligheid Zuidelijk Deel 2013'. In deze studie zijn vijf locaties in de Oosterschelde verkend waar een zandsuppletie de robuustheid van de dijken kan vergroten. Daarnaast is gekeken hoe deze zandsuppleties naast het vergroten van de veiligheid ook geoptimaliseerd kunnen worden om natuur- en gebruiksdoelen te bedienen. Hierbij worden ook de mogelijkheden voor inzet van biobouwers beschouwd.

## **1.5 Werkwijze**

Om vragen binnen deze studie te kunnen beantwoorden is de volgende stapsgewijze aanpak gehanteerd:

- Selecteren van mogelijke biobouwers die kunnen worden toegepast ZW Delta die interessant zijn vanuit een waterveiligheidsperspectief op basis van literatuurstudie en expert oordeel.
- Definiëren van de belangrijkste randvoorwaarden die het voorkomen van deze mogelijke biobouwers bepalen.
- Vaststellen van beschikbare of mogelijke technieken om: een biobouwer aan te planten, vestiging en groei te stimuleren of een aanwezige biobouwer te behouden.
- Bepalen van mogelijke biobouwers per bekken op basis van de huidige fysische-chemische randvoorwaarden.
- Het houden van een expertsessie om de potentie voor toepassing en toepassingsmogelijkheden van biobouwers als aanvulling op de dijken in de bekkens van de ZW Delta te bepalen.

## **1.6 Leeswijzer**

Hoofdstuk 2 gaat in op de rol van biobouwers in de ZW Delta en welke soorten interessant zijn als aanvulling op de dijken. Vervolgens worden deze soorten in Hoofdstuk 3 (vegetatie) en Hoofdstuk 4 (schelpdierbanken) verder uitgediept. Hoofdstuk 5 beschrijft het potentieel voorkomen van de biobouwers op basis van fysisch-chemische randvoorwaarden en de toepassing in de ZW Delta.

## 2 Biobouwers in de ZW Delta

De interactie tussen structuurvormende organismen en hydrodynamische processen is mede bepalend voor de geomorfologie van intergetijden gebieden in het delta landschap (Bouma, Friedrichs *et al.* 2008). In het begin van de 20<sup>ste</sup> eeuw gebruikte men Engels slijkgras (*Spartina anglica*), geïntroduceerd vanuit Engeland, om aanslibbing van land te bevorderen. Zo zijn delen van het Land van Saefthinghe in de Westerschelde snel aangeslibd en opgehoogd. Het land van Saefthinghe is nu één van de hoger gelegen delen in de ZW Delta doordat het continu in staat is geweest sediment in te vangen. Naast Engels slijkgras en andere schorrenplanten, zijn ook schelpdieren zoals oesters (de Vries *et al.* 2007; Powers *et al.* 2009) en mosselen (Norling & Kautsky 2007), zeegrass (Gacia *et al.* 2003; Bouma *et al.* 2005; Bos *et al.* 2007) en kiezelwieren (De Deckere, 2003) organismen die zorgen voor sediment stabilisatie en bevordering van sedimentatie. Boven de waterlijn vervult Helmgras dezelfde functie door zand wat wordt meegevoerd door de wind in te vangen. In zoete wateren kan begroeiing door onder andere wilgen en helofyten zorgen voor het dempen van de golven en stabiliseren van de oevers.

Naast organismen die het sediment stabiliseren zijn er echter ook organismen die het sediment destabiliseren door graven of beroering van het sediment en daardoor erosie kunnen bevorderen (Widdows & Brinsley 2002). Voorbeelden zijn Nonnetje (*Macoma baltica*), Wadslakje (*Hydrobia ulvae*), Zager (*Nereis virens*) en Zeepier (*Arenicola marina*). Door destabilisatie van het sediment is het lastiger voor stabiliserende soorten zoals zeegrassen, oesters en mosselen om te vestigen. Biobouwers beïnvloeden naast fysische omstandigheden ook de ecologische omstandigheden. Door structuurvorming van habitats hebben biobouwers een indirecte invloed op trofische relaties in het voedselweb (Reise 2002)

In deze studie ligt de focus op soorten die direct dan wel indirect een bijdrage kunnen leveren aan waterveiligheid op de voorlanden voor de dijken. Tabel 1 geeft een overzicht van mogelijk interessante soorten biobouwers en een selectie van soorten die worden meegenomen in deze studie. Deze soorten zijn: schorvegetatie, duinvegetatie, wilgen, helofyten, oester- en mosselbanken. In Hoofdstuk 3 en 4 worden deze soorten verder uitgediept.

Tabel 1. Mogelijke soorten biobouwers die interessant zijn in relatie tot waterveiligheid en een selectie van soorten die zijn meegenomen in deze studie.

Biobouwer	Meegenomen in deze studie	Motivatie: waarom wel/niet
Vegetatie/wieren	Schor vegetatie	x Schorvegetatie waaronder Engels Slijkgras ( <i>Spartina anglica</i> ) kan onder de juiste omstandigheden een significante bijdrage leveren aan golfreductie (Möller & Spencer, 2002; Koch et al., 2009; Yang et al., 2012). Ook vangen schorren sediment in en hogen geleidelijk op waardoor ze de dijk stabiliseren. Bij voldoende sediment input kunnen schorren meegroeien met zeespiegelstijging.
	Duinvegetatie	x Kustduinen zijn een belangrijk onderdeel van de waterkering langs de Noordzeekust. Duinvegetatie zoals Helm ( <i>Ammophila arenaria</i> ) is zeer efficiënt in het invangen en vasthouden van zand.
	Zeegras	 Zeegras ( <i>Zostera marina</i> en <i>Zostera noltii</i> ) kan lokaal sediment vastleggen en de bodem verstevigen. Het voorkomen van Zeegras in de ZW Delta is echter beperkt. Daarnaast wordt de betekenis voor waterveiligheid en de stuurbaarheid van Zeegras gering geacht. Daarom is het niet meegenomen in deze studie.
	Kiezelwieren	 Kiezelwieren of diatomeeën leggen vooral in het voorjaar en de zomer sediment vast, wat in de rest van het jaar (deels) weer wegspoelt. Hoewel ze van invloed zijn op de sedimenthuishouding is hun stuurbaarheid dermate laag dat Kiezelwieren niet zijn meegenomen in deze studie.
	Wilgen	x Wilgensoorten ( <i>Salix sp.</i> ) zijn stevige, overstroming tolerante, snelle groeiers die zich ontwikkelen op natte oevers van zoete wateren en in zoetwaterschorren. Hun aanwezigheid kan waterstroming en golven beïnvloeden en daardoor zijn ze een interessante biobouwer.
	Helofyten (riet en biezen)	x Helofyten groeien langs zoete/brakke wateren tot 1 meter diep (Coops et al., 1999) op de oevers. Er is nog weinig ervaring met inzet van Riet ( <i>Phragmites australis</i> ) in relatie tot waterveiligheid maar doordat het snel groeiende, stevig gewortelde planten zijn lijken ze een interessante biobouwer en worden daarom meegenomen in deze studie.
	Gras op de dijken	 Op veel dijken groeit gras, meestal boven de verdedigde vooroever. Grassoorten houden de kleibekleding van de dijk op zijn plek. Gras alleen is niet voldoende om een duurzame oeverbescherming te vormen. Bij dijken met een zéér flauw talud kan gras mogelijk overleven en een rol spelen in het vasthouden van sediment. Vanwege de geringe betekenis voor waterveiligheid wordt gras niet meegenomen.
Schelpdieren	Oesters	x Japanse oesters ( <i>Crassostrea gigas</i> ) komen veelvuldig voor in verschillende bekken van de ZW Delta. Ze vormen compacte riffen die een rol kunnen spelen in het dempen van golven en vastleggen van sediment. Hoewel de riffen te laag liggen om een direct effect te hebben op de dijken kunnen ze wel een rol spelen in het stabiliseren van delen van voorlanden.
	Mosselen	x Mosselen ( <i>Mytilus edulis</i> ) vangen net als oesters sediment in door het filteren van gesuspenseerd materiaal en reduceren de hydrodynamiek door hun aanwezigheid op de bodem. Daarnaast produceren ze zelf sediment (schelpkalk) en feces en pseudofeces. Hoewel het voorkomen van natuurlijke mosselbanken in de ZW Delta in de huidige situatie beperkt is, worden ze verder uitgediept om hun betekenis voor waterveiligheid helder te krijgen.
	Mesheften	 Mesheften (met name <i>Ensis Directus</i> ) vestigen zich recht op in het sediment en kunnen in grote dichtheden voorkomen en dan effect hebben op stroming omdat ze boven het sediment uitsteken (Armonies & Reise, 1998). Het is echter ook mogelijk dat Mesheften door het omwoelen van de bodem juist bijdragen aan destabilisatie van sediment (Witbaard & Kamermans, 2010). Ook groeien ze te diep om golven te kunnen beïnvloeden. Mesheften worden dan ook niet meegenomen in deze studie.

### 3 Vegetatie

In de ZW Delta komen verschillende typen vegetatie voor die op de grens van water en land groeien en als interessante biobouwers fungeren: schorvegetatie, helofyten, wilgen en duinvegetatie. Ze komen zowel in gebieden met als zonder getij voor, en zowel in zoute, brakke als zoete wateren. Welk type vegetatie waar voorkomt hangt met name af van het zoutgehalte van het water. Hieronder wordt verder ingegaan op een aantal kenmerkende vegetatietypen en het habitat dat ze creëren.

#### 3.1 Schorren

Schorren (in Noord-Nederland: kwelders) zijn met planten begroeide buitendijkse gebieden die onder invloed staan van het getij. De vegetatie varieert naar gelang het zoutgehalte van het water. Zoetwaterschorren vinden we langs de Schelde in Vlaanderen en voor de aanleg van de Deltawerken kwamen ze ook in de Biesbosch in grote oppervlaktes voor. In de huidige situatie komen er nauwelijks nog zoetwaterschorren voor in de ZW Delta. Daarom wordt hier alleen ingegaan op brakke en zoute schorvegetatie.

Schorren ontwikkelen zich in luwe gebieden aan de randen van estuaria en zeearmen (Figuur 3). Door de luwte kan slibrijk sediment bezinken, zodat de bodem ophoogt. Zodra de bodem rond Gemiddeld Hoog Water (GHW) is opgehoogd, vestigt zich pioniervegetatie, die in de loop van de tijd wordt opgevolgd door schorvegetatie (Figuur 3). Zolang er genoeg sediment in het water aanwezig is, blijft het schor opslibben totdat deze het niveau van de hoogste stormvloed bereikt (Temmerman et al., 2003). De sedimentatiesnelheid neemt langzaam af naarmate het schor hoger groeit omdat het minder vaak overspoeld wordt. Als de zeespiegel stijgt, en daarmee GHW, kunnen schorren door sedimentatie meegroeien met deze stijging.



Figuur 3. Paulinaschor, Westerschelde. (Foto: Alma de Groot).

De samenstelling van de schorvegetatie is afhankelijk van de saliniteit van het water. Zoute gebieden worden gedomineerd door het kniehoge Engels slijkgras (*Spartina anglica*) en de vegetatie van het hoge schor dat ruim onder de 1 m hoogte blijft. In brakke gebieden worden deze aangevuld met Heen (*Bolboschoenus maritimus*) en Riet (*Phragmites australis*). In zoete gebieden bestaat de vegetatie met name uit manshoog riet en wilgenstruweel met ondergroei. Dit maakt niet alleen het uiterlijk van de schorren heel anders, ook onder welke omstandigheden de vegetatie in staat is om golven te dempen verschilt. De schorvegetatie laat een zoneringspatroon zien, van laag (pionierzone, jong schor) naar hoog (oud) (De Leeuw et al., 1993), gerelateerd aan de overstromingsfrequentie en beschikbaarheid van nutriënten. Verder is het voorkomen van de plantensoorten afhankelijk van of het schor begraaasd wordt of niet.

De schorvegetatie is van groot belang voor de sedimentatie en ophoging van het schor, en is daarmee met name een allogene biobouwer. De aanwezigheid van planten dempt golven en vertraagt stroming (Möller, 2006; Yang et al., 2012), zodat sediment kan bezinken. Daarnaast vangen de planten zelf

sediment in: het slib kan op de bladeren en stengels blijven kleven. Het sediment wordt vervolgens vastgehouden door de plantenwortels, -takken en -uitlopers, en dode plantendelen die een mat op de bodem kunnen vormen. Wortels doorluchten het sediment, ontwateren en faciliteren de bodemvorming, waardoor de bodem steviger wordt en het sediment dus minder snel weer wordt geërodeerd. Tenslotte vormen planten een fysieke barrière voor het water, waardoor ze de waterstroming concentreren en zo kreekvorming faciliteren (Temmerman et al., 2007). Dit zorgt weer voor verbeterde ontwatering en consolidatie van het sediment, en creëert aanvoerroutes voor nieuw sediment. Afstervende plantendelen worden in het sediment geïncorporeerd en dragen zo bij tot de totale sedimentatie. In Nederlandse schorren is dit laatste een bescheiden deel van het totale sediment.

Erosie van het schoroppervlak is doorgaans verwaarloosbaar (Friedrichs and Perry, 2001), maar kan wel kliferosie optreden aan de begrenzing van het schor met het slik. Hoe ouder het schor, hoe hoger deze ligt en hoe meer kans op klifvorming, maar ook hoe steviger en dus erosieresistenter het sediment intussen is geworden. Een klif schrijdt geleidelijk terug door golfwerking tijdens stormvloed, net zolang tot het slik voor het schor hoog en stabiel genoeg is om vestiging van nieuwe pioniervegetatie mogelijk te maken (Yapp et al., 1917; Van de Koppel et al., 2005; Van der Wal et al., 2008). Terwijl het klif afslaat gaat de sedimentatie op het schoroppervlak gewoon door. Sterker nog, het afgeslagen materiaal aan de schorrand kan door de golven op het schor worden afgezet en zo ten goede komen aan de verticale hoogtegroeï van het schor. Daarnaast bouwt het netwerk van krekken zich uit tijdens de groei van het schor (Allen, 2000). Door de achterwaartse insnijding die hier bij hoort erodeert ook een deel van het kwelderoppervlak.

In de Ooster- en Westerschelde bestaat de pioniervegetatie voornamelijk uit Engels slijkgras. Dit is een meerjarige, stevige en rechtopstaande plant, die dicht op elkaar in pollen groeit. Als de situatie gunstig is groeien de pollen aan elkaar en vormen dan een aaneengesloten vegetatiedek. Als de schorbodem hoog genoeg is geworden door sedimentatie, wordt de pioniervegetatie achtereenvolgens opgevolgd door vegetatie van het lage, midden- en hoge schor, met als climaxstadium Zeekweek ([Elytrigia atherica](#)) of Riet.

### Randvoorwaarden

De randvoorwaarden waaronder de vegetatietypen voorkomen overlappen deels, en verschillen soms (Tabel 2).

- Bodemhoogte. Deze bepaalt overstromingsfrequentie en –duur. Voor schorren ligt de ondergrens rond Gemiddeld Hoog Water, en de (landwaartse) bovengrens ligt waar het gebied nog 5 x per jaar wordt overstroomd. In de praktijk is de landwaartse grens de dijk. Omdat het getijverschil per bekken anders is, en ook varieert binnen bekkens, liggen ondergrens en bovengrens van het schor niet overal het zelfde ten opzichte van NAP.
- De aanwezigheid van getij. Schorren hebben per definitie getij nodig, maar wilgen, riet en biezen komen ook onder niet-getij omstandigheden voor (zie 3.3). In bekkens zonder noemenswaardige getijslag (Veerse Meer, Grevelingenmeer) komen geen 'echte' schorren voor, doordat er geen veranderingen in waterniveau zijn die voor sedimentatie zorgen, en voor de typische omstandigheden waaronder schorplanten groeien. Wel komen riet en wilgen in deze omstandigheden voor (zie paragraaf 3.3).
- Luwte waar het water relatief rustig is, met weinig golfinvloed en/of stroming. Dit wordt bepaald door de ligging van de oever ten opzichte van de overheersende (storm)windrichting, en de vorm van de geulen en slikken voor de dijk. Daarbij is een geringe hellingshoek nodig.
- Sedimentaانبod (slib) in het water. Voor schorren is voldoende zwevende stof nodig om het schor door sedimentatie mee te laten stijgen met de zeespiegelstijging.
- Aanwezigheid van vegetatie. De vestiging van schorvegetatie gebeurt over het algemeen spontaan, omdat de meeste plantenzaden tientallen kilometers ver door het water verspreid kunnen worden (Huiskes et al., 1995). Het is wel van belang dat er voldoende uitwisseling van het gebied met het (zee)water is (Chang, 2006; Wolters, 2006).

Tabel 2. Abiotsiche omstandigheden waaronder verschillende vegetatietypen van schorren en grienden kunnen voorkomen.

	zoet	brak	zout	getij	constante waterspiegel	weinig sediment in water
zout schor	-	+	+	+	-	-
wilgen	+	-	-	+	+	+
riet en biezen*	+	+	(-)	+	+	+

\*Besproken in paragraaf 3.3.

De sedimentatiesnelheid van schorren is afhankelijk van de hoogteligging ten opzichte van het getij, de hoeveelheid slib in het water, de vorm van het schor en het aangrenzende slik, de vorm van de krekken, en de hydrodynamiek. De sedimentatiesnelheden verschillen dus aanzienlijk per bekken en per locatie binnen het bekken.

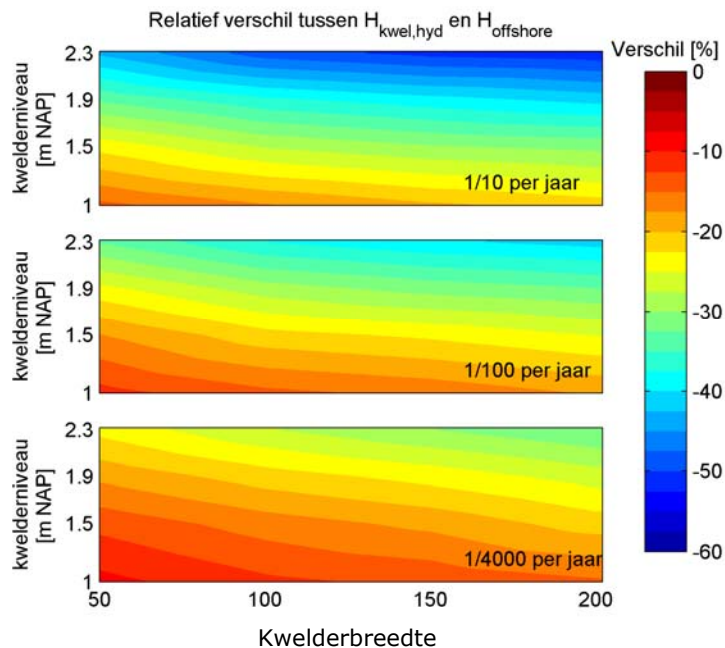
### Betekenis voor de waterveiligheid

De hier behandelde vegetatie kan via twee mechanismen een bijdrage aan de waterveiligheid leveren. Ten eerste reduceert de vegetatie golven (Möller and Spencer, 2002; Koch et al., 2009; Yang et al., 2012) en ook stroming. Tot onder welke (storm)omstandigheden dit gebeurt hangt af van de hoogte en stevigheid van de vegetatie. Daarnaast vangen schorren sediment in en houden het vast. Daardoor hoogt het voorland op, en zorgt daarmee voor extra golfdemping, stabilisatie van het dijklichaam en vergroting van de intreeweestand voor kwel. De doorgaande sedimentatie zorgt er voor dat schorren, en daarmee de golfreducerende functie, binnen bepaalde grenzen kunnen meegroeien met de zeespiegelstijging.

De golfreducerende functie van schorren in het Waddengebied is gekwantificeerd voor het effect van schorhoogte en –breedte (loodrecht op de dijk) op de golfreductie tijdens stormen van verschillend kaliber, voor schorren en stormcondities van de Waddenzee (Figuur 4) (Van Loon-Steensma et al., 2012). Daaruit bleek dat schorren significant kunnen bijdragen aan de golfreductie tijdens stormen, maar dat sterkte van het effect in ieder geval afhankelijk is van de breedte en hoogte van het schor. De

maatgevende condities zijn anders voor de bekkens in de ZW Delta, maar ook daar laten berekeningen golfreductie zien over bijv. het Schor van Waarde onder maatgevende omstandigheden (pers. comm. Mindert de Vries, Deltares). In de Oosterschelde is dit effect echter niet aangetoond (pers. comm. Yvo Provoost, RWS).

De effecten van schorren op de geotechnische aspecten (piping, macrostabiliteit van de dijk) kunnen groot zijn. Hier zijn geen berekeningen over beschikbaar, maar er is wel vergelijkingsmateriaal van dijken met of zonder schor (pers. comm. Yvo Provoost, RWS).



Figuur 4. Simulaties van golfreductie over schorren/kwelders van verschillende breedte (d.w.z. loodrecht op de dijk, x-as) en hoogte (y-as), voor stormen met verschillende herhalingstijden. Hoe blauwer de kleur, hoe sterker de golfreductie (Van Loon-Steensma et al., 2012).

#### Natuurwaarde

Schorren zijn beschermd onder Natura 2000 (Vogel- en Habitatrichtlijnen). Ze dienen als broedgebied, fourageergebied en hoogwatervluchtplaats voor verscheidene vogelsoorten (Esselink et al., 2009). Daarnaast fungeren ze als kraamkamer van verschillende vissoorten, en vormen een bron van nutriënten voor de kustzone, bijvoorbeeld silica (nodig voor bijv. de groei van diatomeeën) (Mitsch, 1994; Dausse et al., 2005). Een schor dat qua vorm ideaal is voor waterveiligheid, heeft niet automatisch optimale natuurwaarden: voor waterveiligheid is een hoog en stabiel schor van belang, terwijl voor de natuurwaarden dynamiek en voldoende jonge fasen nodig zijn.

#### Economische waarde

Schorren kunnen gebruikt worden om vee te laten grazen, zoals schapen, runderen en paarden. Omdat vanuit natuurbeheer lage begrazingsdrukken worden gewenst, en het door het getij risicovol is, is vaak een aanvullende beheersvergoeding nodig om het rendabel te laten zijn. Daarnaast hebben schorren een bescheiden functie voor recreatie, met het Land van Saeftinghe als belangrijkste voorbeeld. Daarnaast heeft de oogst van eetbare zilte gewassen zoals Zeekraal (*Salicornia europaea*) en Lamsoor (*Aster tripolium*) ook een commerciële waarde.



### *Stuurbaarheid*

Er kan op vele manieren gestuurd worden in de ontwikkeling van schorren (Storm, 1999; De Groot et al., 2013b). Welke techniek wanneer geschikt is, hangt af van op welk aspect er ingegrepen moet worden, de lokale omstandigheden (hydrodynamiek, bodemligging), en eventuele aanvullende eisen aan het gebied zoals natuurfuncties. Mogelijke technieken zijn bijvoorbeeld palenrijen of rijshoutdammen, kleisuppleties langs de schorrand, aanplanten van Engels slijkgras, harde constructies (hoewel die vanuit het oogpunt van de waterveiligheidsfilosofie en natuurwaarden niet de voorkeur genieten), opbrengen van grond tot aan GHW, inzet van geotextiel, en het openen van (wissel)polders. (De Groot et al., 2013 in prep., de Mesel et al. 2013). Overige voorbeelden van maatregelen op en aan schorren zijn te vinden in Storm (1999).

Bij het ingrijpen in schorren moet altijd wel worden bedacht dat het van nature dynamische gebieden zijn die natuurlijke cycli van aangroei en afslag ondergaan (Van de Koppel et al., 2005; Van der Wal et al., 2008). Daarnaast hangt de groei, en daarmee stuurbaarheid, af van de toestand van het voorliggende slik. Als schorren als onderdeel van de waterkering worden opgenomen, moet rekening gehouden worden met dit natuurlijk cyclische gedrag. Dat wil zeggen dat er ruimte gegund moet worden voor dit cyclische proces, of dat er maatregelen genomen moeten worden bij schorerosie. Alleen tegen het opdringen van geulen zijn schorren niet opgewassen.

### *Voorbeeldprojecten*

Er kan op vele manieren gestuurd worden in de ontwikkeling van schorren. Er is in Nederland en daarbuiten ruime ervaring met het herstellen en beheren van schorren, en het aantal technieken wordt nog steeds uitgebreid. Welke techniek wanneer geschikt is, hangt af van op welk aspect er gestuurd moet worden, de lokale omstandigheden (hydrodynamiek, bodemligging), en eventuele aanvullende eisen aan het gebied zoals natuurfuncties. Mogelijke technieken zijn bijvoorbeeld rijshoutdammen, kleisuppleties langs de schorrand, harde constructies (hoewel die vanuit het oogpunt van de waterveiligheidsfilosofie en natuurwaarden niet de voorkeur genieten), opbrengen van grond, en inzet van geotextiel (De Groot et al., 2013 in prep.). Een opkomende methode voor het ontwikkelen van nieuw schor voor de kust is het gecontroleerd overstromen van binnendijks gebied door het terugzetten van de dijk (French, 2006), in het Engels ook wel "managed realignment" genoemd. In het Verenigd Koninkrijk is dit een methode die met toenemende mate wordt ingezet als kosteneffectieve en duurzame reactie op het verlies van schor en als bijdrage aan kustverdediging (Garbutt 2008). Door het landinwaarts verplaatsen van de dijk bootst men de natuurlijke situatie na waarbij onder invloed van zeespiegelstijging schorren zich landwaarts bewegen om hun positie ten opzichte van de getijslag te behouden.

### Nieuw intergetijdengebied

De oude veerhaven van Perkpolder langs de Westerschelde wordt ontwikkelt tot een gebied met woningen, recreatiegebied en een jachthaven. Aan de oostkant wordt 75ha nieuw intergetijdengebied aangelegd door een opening te maken in de primaire dijk (Figuur 5). Het doel is om in het achterliggende gebied tot aan de secundaire dijk schorvegetatie te laten ontstaan en een schor te laten ontwikkelen dat kan fungeren als schorbuffer voor de achterliggende dijk. Door het ontstaan van nieuw intergetijdengebied die een geschikte hoogteligging heeft, kan nieuw schor ontstaan.



*Figuur 5. Gebiedsontwikkeling Perkpolder met aan de oostkant ruimte voor nieuwe schorontwikkeling (bron: Grontmij 2007).*

#### (Rijshouten)dammen

In het Duitse Waddengebied worden kwelders bewust als deel van de waterkering ingezet. Daarvoor worden rijshoutdammen ingezet die kweldervorming bevorderen, wat overigens ook in Nederland gebeurt. De beschikbare ruimte in de Waddenzee is over het algemeen wel groter dan in de ZW Delta. Het Land van Saeftinghe is een ander voorbeeld van een groot schor wat versneld is ontwikkeld door aanleg van een grote dam nadat een grootschalige dijkdoorbraak heeft plaatsgevonden (Figuur 6). Even verderop langs de Westerschelde bij het Schor van Waarde zijn twee strekdammen aangelegd die intussen voor ophoging van het slik hebben gezorgd. De erosie van de schorrand is daarmee niet gestopt, maar het vermoeden is dat mettertijd nieuw schor op de opgehoogde slikken zal ontwikkelen (pers. comm. Dick de Jong, Tjeerd Bouma).



*Figuur 6. Restant van de dam waarmee sedimentatie op het Land van Saeftinghe is bevorderd (Foto: Alma de Groot).*

### Schorrenmatten

Begin vorige eeuw heeft gerichte aanplant van Engels slijkgras, en daarna gecontroleerde uitbreiding ervan, geleid tot ontwikkeling van nieuwe schorren. Engels slijkgras is een belangrijke pioniersoort, waarvan tevens is aangetoond dat ze lokaal golven kan dempen en sedimentatie kan bevorderen (Figuur 7a). Het aanplanten van losse planten heeft echter een lagere overlevingskans door uitspoelen van de planten (Ysebaert et al., 2013). Door het NIOZ en IMARES worden nu proeven gedaan met het aanplanten van Engels slijkgras in matten in de Oosterschelde en Westerschelde in dijkwerkstroken. Voor deze proef worden planten opgekweekt en ingebracht in (Aqua-Flora) kokosmatten (Figuur 7 b,c en d). Deze matten zijn een zeer effectief en duurzaam middel voor het realiseren van oever- en watervegetaties, welke reeds met succes worden toegepast in allerlei zoetwater projecten (Ysebaert et al., 2013). Hier worden dezelfde matten ingezet voor het stimuleren van schorvorming, waardoor schorherstel en groei in dijkwerkstroken en pionierzone kan optreden.



Figuur 7. Proefstelling met gebruik van Engels Slijkgras voor het stimuleren van schorontwikkeling. a. Natuurlijke 'pol' van Engels Slijkgras, b. kokosmat met voorgegroeiende planten, c. vestiging van een plantje in de kokosvezels, d. langwerpige kokosmat met voorgegroeiende planten op het de Slikken van Viane (Foto's: IMARES).

### **3.2 Duinvegetatie**

Kustduinen ontstaan uit de wisselwerking tussen zand, wind en vegetatie. Planten remmen de wind lokaal af, waardoor het zand zich af kan zetten en ook niet meer gemakkelijk wordt geërodeerd. Daarnaast komt zand tot afzetting wanneer het tegen de planten zelf wordt geblazen. Duinvorming begint met embryonale duintjes, kleine duintjes die zich vormen rond eenjarige (zoals Zeeraket (*Cakile maritima*), Loogkruid (*Salsola kali*), Zeepostelein (*Honckenya peploides*) en Spiesmelde (*Atriplex longipes*)) of het meerjarige Biestarwegras (*Elytrigia juncea*) (Van Dieren, 1934; Bakker, 1976). Deze embryonale duintjes kunnen nog makkelijk door de zee of de wind worden geërodeerd. Pas als Helm (*Ammophila arenaria*) zich vestigt hogen de duinen significant op (Figuur 8). Helm is zeer efficiënt in het invangen van zand, en groeit vervolgens door het neergelegde zand heen omhoog. Daarbij maken ze een uitgebreid ondergronds stelsel van wortels, verticale wortelstokken en uitlopers, die het zand verder vasthouden. Door de groei van het duin brengen de planten zichzelf buiten bereik van het zoute zeewater en ontstaat er een zoetwaterbel uit neerslag. Op deze manier kunnen hoge duinen(rijen) ontstaan die eeuwen kunnen blijven bestaan (Bakker, 1976).



Figuur 8. Links: Helm (Foto: Alma de Groot). Rechts: voorkomen van duinen (oranje-geel) in de ZW Delta (Van Haperen, 2009).

#### *Randvoorwaarden*

De aanwezigheid van een gezonde vegetatie is essentieel voor de stabiliteit van kustduinen. Voor Helm is een continue zandaanvoer van groot belang voor de vitaliteit: als de zandaanvoer stopt gaat het niet direct dood, maar andere planten gaan domineren (Bakker, 1976; Maun, 2009). Voor voldoende zandaanvoer is een niet te smal strand en netto aanlandige wind nodig. Daarnaast moet er droog zand van de juiste korrelgroottes aanwezig zijn, zodat het makkelijk opgenomen kan worden door de wind. Schelpenvloertjes (bijvoorbeeld door suppletiezand met veel schelpen) kunnen zandtransport door de wind belemmeren en daarmee duinaangroei verhinderen.

Bij voldoende zandaanvoer zal duinafslag door stormen via natuurlijke processen weer worden aangevuld, en zal Helm goed blijven groeien. Dit betekent dat een duinenrij grenzend aan slik, en/of met een verkeerde expositie ten opzichte van de overheersende wind, niet die natuurlijke bufferfunctie zal kunnen vervullen zoals duinen aan de Noordzezijde dat doen. Over het algemeen bevat het sediment van het slik namelijk te veel kleig materiaal om door de wind opgenomen te kunnen worden, al zijn er lokaal uitzonderingen. Als er geen intergetijdengebied aanwezig is voor een dijk zal natuurlijke aanvulling van zand door de wind helemaal niet mogelijk zijn.

De minimum terreinhoogte voor een goede bedekking met Helm kan worden afgeleid van de waterveiligheidspraktijk, waarin 3 m + NAP wordt aangehouden als de duinvoet. Biestarwegras en Helm, en daarmee embryonale duinen, komen echter ook al lager op het strand voor. De bovengrens is niet bekend, maar zal waarschijnlijk hoger zijn dan het hoogste duin van Nederland van 53 m hoog (bij Schoorl).

Het verspreidingsmechanisme van Helm is voornamelijk via ondergrondse uitlopers, en via afgeslagen stukjes plant die met het zeewater naar een andere plek worden getransporteerd en daar weer wortelen. Helm wordt al eeuwen lang actief door de mens geplant om duinen te verstevigen en vast te leggen. Helm kan weinig betreding verdragen. Daarom wordt in gebieden met intensieve recreatie de zeereep vaak afgerasterd om te sterke vertrapping te voorkomen. Net zoals schorren zijn duinen niet bestand tegen de opdringing van geulen dicht tegen de kust.

#### *Betekenis voor waterveiligheid*

Kustduinen zijn een belangrijk onderdeel van de waterkering langs de Noordzeekust van Nederland. Duinen zijn al sinds eeuwen onderdeel van de waterkering op de eilanden en elders langs de Nederlandse kust. Er bestaat een wettelijk toetsinstrumentarium voor de duinenkust: zie [http://www.rijkswaterstaat.nl/water/veiligheid/bescherming\\_tegen\\_het\\_water/organisatie/wettelijk\\_toetsinstrumentarium/](http://www.rijkswaterstaat.nl/water/veiligheid/bescherming_tegen_het_water/organisatie/wettelijk_toetsinstrumentarium/). Duinen vormen een zandbuffer: tijdens stormen kan de duinvoet geërodeerd worden.

Dit zand wordt afgezet op het strand en de vooroever, en wordt tijdens rustigere condities weer richting de duinen getransporteerd door golven en wind. De rol van de biobouwer Helm hierin is het invangen en vastleggen van het zand zodat het duin niet landinwaarts migreert. Het planten van Helm op de zeewaartse zijde van een duin stabiliseert deze en levert een steilere helling op dan een niet-ingeplant duin. Of dit op langere termijn een voordeel is voor de robuustheid van het duin als waterkering hangt af van het lokale patroon van kusterosie en -aangroei (Carter, 1980). Een aan de zeezijde dichtbegroeid duin kan hoog worden, maar daarmee wordt transport verder landwaarts deels verhinderd (Arens et al., 2010). Dat kan op lange termijn nadelig zijn voor de robuustheid (hier: breedte) van het duinmassief, en voor de mogelijkheid om mee te groeien met de zeespiegelstijging. Mede daarom zijn er op verschillende plaatsen langs de Nederlandse kust experimenten gedaan waar doorstuiven wordt toegestaan of zelfs gestimuleerd. Tegenwoordig wordt helm alleen nog op zwakke plekken aangeplant, want zo lang het duin hoog en breed genoeg is, is een onregelmatige duintop geen probleem voor de waterveiligheid. Dit dynamisch duinbeheer is nu standaard voor brede duingebieden (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2000).

Vanaf 1990 is het suppletievolumen sterk toegenomen langs de Nederlandse kust. Dit heeft gezorgd voor een omslag van eroderende naar stabiele of aangroeiende stranden. In een deel van de gesuppleerde gebieden is daardoor min of meer spontaan nieuwe duinvorming op gang gekomen (Arens et al., 2010). De aanwezigheid van embryonale duinen op het strand kan de golfaanval op de duinvoet verminderen. Per jaar vangen de duinen op de eilanden netto zand in. De hoeveelheden zijn berekend uit Jarkusraaien (jaarlijkse metingen van duin- en strandprofielen), en laten een grote variatie in ruimte en tijd zien. Gemiddeld over 10 jaar, in de periode 1997 – 2008, varieert de aangroei van 0 tot 13 m<sup>3</sup>/m/jaar voor een aantal studiegebieden in de ZW Delta (Arens et al., 2010).

#### *Natuurwaarde*

Grote delen van de duinen zijn beschermd onder Natura 2000 (VHR), met de habitatypes van de 21-serie (Embryonale duinen, Witte duinen, Grijze duinen, Duinheiden, Struwelen, Bossen en Vochtige duinvalleien, zie <http://www.synbiosys.alterra.nl/natura2000/gebiedendatabase.aspx?subj=profielen>). Er komen vele bijzondere planten- en diersoorten voor, voor wie het broed-, foerageer- en rustgebied is.

#### *Economische waarde*

Duinen zijn een formeel onderdeel van de waterkering. Daarnaast zijn er andere functies (Everard et al., 2010), waarvan op dit moment de belangrijkste zijn:

- zoetwatervoorziening (drinkwater, levering zoet grondwater aan landbouw door zoetwaterbel)
- recreatie en toerisme
- beweiding
- bewoning
- bosbouw.

#### *Stuurbaarheid*

Er is veel ervaring met het sturen van duinen (bijvoorbeeld (Bochev-van der Burgh, 2012)). Dit kan gebeuren door:

- aanplanten van Helm. Dit kan op verschillende manieren (Van der Putten, 1990)(Figuur 9).
- Beschermen tegen betreding.
- Gebruik van stuifschermen van bijvoorbeeld Riet of wilgentenen om duinen snel te laten groeien in gebieden met voldoende zandaanvoer.
- Opspuiten en opbrengen (met een bulldozer) van zand
- Strand- en megasuppleties.

De eerste manieren grijpen in op Helm zelf, de latere zorgen voor geschikt substraat en hoogte. In dat laatste geval heeft de duinvegetatie met name een vastleggende functie.



Figuur 9. Helmaanplant op Ameland (Foto: Alma de Groot).

#### Voorbeeldprojecten

Er is ruime ervaring met het sturen van duinen en duinvegetatie (zie hiervoor). In Zeeland zijn en worden op een aantal plaatsen nieuwe duinen aangelegd aan de randen van het estuarium en op de koppen van de eilanden. Vaak is dit in de eerste instantie via zandsuppleties gedaan, in combinatie met andere landschappelijke inrichtingsmaatregelen (<http://www.kustversterking.nl/projecten>). Ook wordt op een aantal plaatsen het dijk-in-duin principe toegepast: een harde kern van klei en stenen wordt ingepakt met zand. Doordat op de meeste plaatsen gekozen is voor het opbrengen van zand, is (nog) weinig direct gebruik gemaakt van biobouwers zelf.

Aan de Zuid-Hollandse kust is in 2011 de Zandmotor aangelegd (<http://www.dezandmotor.nl/>). Deze mega-suppletie zorgt voor een grote verbreding van het strand en daarmee potentieel voor een toename van zandtransport en dus duinvorming. Hier worden bewust natuurlijke processen (en daarmee biobouwers) ingezet voor duinvorming. Een uitgebreid monitoringsprogramma (Rijkswaterstaat) en twee onderzoeksprogramma's moeten uitwijzen hoe succesvol dit experiment is.

### 3.3 Zoetwatervegetatie

Zoetwatervegetatie op de grens van land en water kan van invloed zijn op waterbeweging en sedimentdynamiek. Daarnaast groeien zoetwater planten meestal sneller dan de zouttolerante planten die op brakke en zoute schorren voorkomen, zodat de vegetatie zich snel en over grote oppervlakten kan ontwikkelen. Zoetwatervegetatie kan voorkomen in zowel getijdengebieden als zoetwaterschorren (Zie paragraaf 3.1, Tabel 2) of wilgenvloedbossen, als in stagnante systemen bijvoorbeeld als oever- of ondiep water begroeiing. Afhankelijk van de dynamiek en het beheer treedt vegetatiesuccessie op. Frequente en langdurige overspoeling met rivierwater zorgt ervoor dat een deel van de vegetatie afsterft en alleen de overstromingstolerante soorten (zoals meerjarige wilgen) overblijven. Ook het beheer door bijvoorbeeld maaien of begrazen speelt een belangrijke rol in de vegetatiesuccessie. Hieronder worden verschillende typen zoetwater biobouwers besproken.

#### 3.3.1 Wilgen

Wilgen (*Salix spp.*) zijn pioniersoorten die van nature voorkomen op laaggelegen plekken langs rivieren waar ze kiemen op de kale delen op de grens tussen land en water. Ze groeien snel en zijn goed bestand tegen regelmatige en soms langdurige overstroming met rivierwater waardoor de vestiging van andere boomsoorten verhinderd wordt (Vreugdenhil *et al.* 2006). Halverwege de 20<sup>ste</sup> eeuw was er een grote vraag naar wilgenhout voor gebruik in onder andere manden, gereedschap en vlechten van matten die dienden als zinkstukken als bescherming van dijken. In die tijd zijn veel natuurlijke wilgenbossen omgezet tot akkerland voor productie van wilgenhout: de zogenaamde "grienden". Na 1960 nam de vraag naar wilgenhout sterk af waardoor deze akkers zijn ontwikkeld tot half natuurlijke bossen. Wilgen

zijn interessant als biobouwers juist omdat ze snel kunnen groeien onder natte omstandigheden en omdat ze een robuuste, groene zone kunnen vormen op oevers voor de dijken.

#### *Randvoorwaarden*

Wilgen behoren tot de zacht hout boomsoorten. Daarom worden wilgenbossen ook wel, zacht hout ooibossen genoemd. Ze groeien relatief snel ten opzichte van hardhout boomsoorten en kunnen in 20 jaar tot een volwassen bos ontwikkelen (Peters *et al.* 2002). In Nederland komen 12 wilgensoorten voor waarvan onder andere de Schietwilg (*Salix alba*) en de Katwilg (*Salix viminalis*) algemeen voorkomen in het rivierengebied. Schietwilgen kunnen goed tegen langdurige inundatie (tussen de 80 – 140 dagen/jaar) en kunnen daarom goed op laaggelegen, natte delen groeien (Duel & Specken 1994). Langdurige inundatie in het groeiseizoen (zomer) is echter nadelig, omdat de wortelzone dan te weinig zuurstof krijgt. In het zoetwatergetijdengebied kwamen voor de afsluiting van het Haringvliet wilgengrienden voor in de Biesbosch in de zone tussen 45 beneden tot 35 cm boven het gemiddeld hoogwater van 1.35 m NAP. De ontwikkeling was optimaal tot 1 m NAP (Zonneveld 1960). Met name de jonge wilgen zijn (0-3 jaar) zijn gevoelig voor begrazing door herbivoren. Wilgen komen dan ook alleen tot ontwikkeling als er geen of zeer extensieve begrazing plaatsvindt met een maximum van 20-50 grazers per 100 ha (Duel & Specken, 1994).

#### *Betekenis voor waterveiligheid*

Er is nog weinig ervaring met gerichte toepassing van wilgen als biobouwer voor de dijken. Mogelijk heeft dit te maken met het feit dat wilgen op sommige plekken in het rivierengebied juist niet gewenst zijn vanuit waterveiligheidsperspectief. Bij hoge rivierafvoer gaan de uiterwaarden mee stromen en kunnen aanwezige wilgenbossen de doorstroming van het water belemmeren. Juist bij hoge afvoeren is dit niet wenselijk omdat dit de waterveiligheid in gevaar kan brengen. Binnen het "Stroomlijn" programma inventariseert Rijkswaterstaat waar deze belemmeringen in doorstroming zich voordoen en worden gerichte delen van de uiterwaarden gekapt<sup>1</sup>.

Op plekken waar wilgen niet de doorstroming belemmeren kunnen ze juist interessant zijn vanuit waterveiligheidsperspectief. Wilgenbossen zijn in staat om golven te dempen waardoor een achterliggende dijk met een lagere kruinhoogte kan volstaan (Borsje *et al.*, 2011). Wilgen vormen stevige houten takken en stammen waardoor ze een hogere stormbestendigheid hebben dan andere planten zoals biez en riet. Een studie door De Vries en Dekker (2009) geeft aan dat een 100 meter brede griendzone van aangeplante wilgen in staat is om golfhoogtes met 75-93% te reduceren waardoor de achterliggende waterkering met een 0,5-1,0 meter lagere kruinhoogte kan worden aangelegd. Het beheer van deze griendzone is een belangrijk aandachtspunt, omdat dit van invloed kan zijn op de golf reducerende werking. Zo kan bijvoorbeeld begrazing of knaagactiviteit door bevers deze werking verminderen.

#### *Natuurwaarde*

Wilgen komen voor in natuurlijke vorm als wilgen(vloed)bos, voornamelijk langs rivieren en in gecultiveerde of half-natuurlijke vorm als aangeplante grienden. Beide typen wilgenbos zijn beschermd onder de Natura 2000 Habitatrictlijn onder zacht hout ooibossen vanwege hun zeldzame voorkomen in Europa. Zacht hout ooibossen vormen ook een belangrijke broedplaats voor o.a. Grote bonte spechten en een belangrijk habitat voor de Bever. De hoeveelheid soorten wilgen die worden aangeplant bepalen mede de diversiteit van grienden.

#### *Economische waarde*

Wilgen werden vroeger op grote schaal gecultiveerd in uiterwaarden, met het zwaartepunt in de Biesbosch. Het hout werd onder andere gebruikt voor het vlechten van manden of wilgentenenmatten. Deze grienden worden nu niet meer gebruikt omdat het werk erg arbeidsintensief was. De grienden

---

<sup>1</sup> [http://www.rijkswaterstaat.nl/water/veiligheid/bescherming\\_tegen\\_het\\_water/veiligheidsmaatregelen/stroomlijn/](http://www.rijkswaterstaat.nl/water/veiligheid/bescherming_tegen_het_water/veiligheidsmaatregelen/stroomlijn/)

hebben zich ontwikkeld tot half-natuurlijk bos. Teelt van wilgen gebeurt nu machinaal en binnendijks (zie [www.griendhouthandel.nl](http://www.griendhouthandel.nl)).

#### *Stuurbaarheid*

Wilgen kunnen gericht worden ingezet als golf reducerende zone voor de dijken. Daardoor is de directe golfaanval op de dijk minder groot en kan deze mogelijk volstaan met een lagere kruinhoogte. Dit kan men bereiken door het aanplanten van een griendbos of het benutten van bestaande wilgenbossen op de oevers. Er zijn verschillende manieren op wilgen aan te planten (zie voorbeeldprojecten). Een andere mogelijkheid is het gebruik van wilgenhout in gevochten constructies of aanplant als anti erosie maatregel langs oevers. Hieronder wordt ingegaan op voorbeelden uit de praktijk die inzicht geven in ervaring met verschillende technieken met levende wilgen zowel in Nederland als in het buitenland.

#### *Voorbeeldprojecten*

##### Realisatie Griendijk Fort Steurgat

De Noordwaard in de Biesbosch wordt in het kader van Ruimte voor de Rivier grotendeels ontpolderd. De dijk langs Fort Steurgat bij Werkendam moet daarom worden opgehoogd. Deze verhoging was niet wenselijk vanuit de achterliggende bewoners van het fort. Onderzoeksbureau Deltares heeft daartoe in opdracht van Projectbureau Ontpoldering Noordwaard en Rijkswaterstaat WINN een studie uitgevoerd naar gebruik van een golfdempend griendbos waardoor de dijk met een lagere kruinhoogte zou kunnen volstaan. De studie door De Vries en Dekker (2009) heeft uitgewezen dat een 100 meter brede griendzone van aangeplante wilgen in staat is om golfhoogtes met 75-93% te reduceren waardoor de achterliggende dijk met een 0,5-1,0 meter lagere kruinhoogte kan worden aangelegd (Figuur 10). Dit alternatieve ontwerp voor de dijk is opgenomen in het Rijksinpassingsplan Ontpoldering Noordwaard (Miniserie van Verkeer en Waterstaat 2010).



*Figuur 10. Schetsontwerp van de griendijk bij Fort Steurgat (bron: De Vries & Dekker (2009)).*

Op andere plekken in de wereld lijken wilgen vooral ingezet te worden als anti erosie maatregel en stabilisatie van rivieroevers zoals in onderstaande voorbeelden uit het Verenigd Koninkrijk en China.



### Verenigd Koninkrijk: ervaring levende wilgentenen schermen

In het Verenigd Koninkrijk is het gebruik van schermen gemaakt van gevlochten wilgentenen een veelgebruikte methode als anti-erosie maatregel van oevers in riviertjes, beken en kanalen. Volgens een studie van Anstead en Boar (2010) is in de afgelopen 20 jaar 47 kilometer oever met gebruik van wilgen beschermd, gebruik makend van verschillende methoden. Uit dezelfde studie komt naar voren dat het gebruik van levend materiaal van cruciaal belang is voor behoud van de verdediging en dat bij gebruik van dode taken de constructie al na 2-3 jaar kan vergaan (Figuur 11).



*Figuur 11. Ervaring met gebruik van levende wilgentenen schermen in het Verenigd Koninkrijk volgens een studie van Anstead en Boar (2010). a. Succesvolle toepassing van een levend wilgenscherm (15 jaar oud) b. recentelijk aangelegd wilgenscherm met groei van eerste uitlopers. c. Uit elkaar gevallen scherm van afgestorven takken twee jaar na aanleg.*

### China: gebruik van wilgen in het vastleggen van rivieroever

Een studie van Li et al. (2006) heeft het gebruik wilgen voor stabilisatie van rivieroever onderzocht in Airport Town in China. Hierbij zijn drie verschillende methoden getest op rivieroever: het rechtop planten van wilgen takken, het bevestigen van gebundelde wilgentakken bossen en gebruik van een kreupelhouten strooisellaag die met dwarstakken bevestigd is (Figuur 12). Deze studie wijst uit dat op de beplante locaties significant minder erosie optreedt ten opzichte van kale oevers.



*Figuur 12. Ervaring met gebruik van levende wilgen takken in China met gebruik van verschillende beplantingstechnieken. a. rechtop planten van wilgen taken b. bevestigen van gebundelde takkenbosjes op de oever c. gebruik van een wilgenhouten kreupelhouten laag gedeeltelijk bedekt met aarde (bron: (Li et al. 2006)).*

### 3.3.2 Helofyten: riet en biezen



Figuur 13. Rietranden langs de dijk op de zuidoever Hollandsch Diep nabij Moerdijk (foto's: Marijn Tangelder, IMARES).

Oevervegetatie langs zoete wateren kan een rol spelen in bescherming van de oevers. Met name helofyten zijn interessant, voornamelijk Riet (*Phragmites australis*) maar ook Mattenbies (*Scirpus lacustris*) en Grote en kleine Lisdodde (*Typha sp.*), omdat ze tot in het ondiepe water groeien. Riet is een interessante soort omdat het een robuuste plant is die relatief gemakkelijk kan worden aangeplant en zeer algemeen voorkomt. Rietontwikkeling is vaak gewenst vanuit natuuroogpunt, bijvoorbeeld ten behoeve van het ontwikkelen van natuurvriendelijke oevers, maar wordt nog weinig toegepast vanuit een waterveiligheidsperspectief.

#### Randvoorwaarden

Helofyten als Riet en biezensoorten groeien op de grens van land en water op natte, zoete tot brakke, meer of minder voedselrijke grond aan waterkanten en op hoge schorren. De maximale diepte waarop ze voorkomen ligt rond 1 meter diepte (Coops et al. 1999), en met name Riet groeit tot wel 3 meter hoog zoals langs de oevers van het Hollandsch Diep (Figuur 13). Hoge golfdynamiek of veel begrazing kan de groei van rietzones beperken. Een proef met rietontwikkeling in het Kammer-Volkerak liet zien dat de nieuw ontwikkelde vegetatie na een jaar volledig verdwenen was als gevolg van begrazing door ganzen (Vulink et al. 2010). Het beheer van begrazen en maaien is van belang voor de ontwikkeling van de rietzone. Ook komen ze het beste tot ontwikkeling bij stilstaand tot zwak stromend water.

### *Betekenis voor waterveiligheid*

Helofyten groeien op het grensvlak van land en water en zijn stevig gewortelde en hoog groeiende planten met flexibele stengels. Een studie van Möller et al. (Möller *et al.* 2011) in de Baltische Zee laat zien dat rietranden langs de oever zorgen voor ca. 3-12% golfhoogte reductie. Golven beperken echter ook de groei van Riet en Mattenbies (Coops *et al.* 1994). De vegetatie kan dus een bescheiden rol vervullen in golfreductie en de wortelen helpen het sediment vast te houden. De planten zijn echter niet bestand tegen hoge stroomsnelheden en kunnen dus voornamelijk van dienst zijn op stroom- en golfzuwe plekken langs de oevers.

### *Natuurwaarde*

In een rietzone van enkele meters breed komen relatief weinig plantensoorten voor, maar wel meer dan in een intensief grasland. In rietzones broeden vogels als Kleine karekiet, Rietzanger en Bruine kiekendief. Er nestelen ook watervogels, zoals Meerkoet, Wilde eend en Waterhoen. Bunzing en hermelijn zoeken in rietkragen graag naar voedsel en gebruiken deze als verplaatsingsroute. Een rietzone krijgt pas ecologische betekenis als deze minimaal een halve meter breed is (Van der Molen et al. 2000). Riet wordt ook gebruikt voor het verbeteren van de waterkwaliteit en gebruik voor natuurvriendelijke oevers binnen het beleid van de Kaderrichtlijn Water.

### *Economische waarde*

Van oudsher wordt Riet gesneden langs de oevers en gebruik voor verschillende doeleinden zoals het vlechten van manden of als dakbedekking. Zoals hiervoor besproken wordt Riet ook ingezet voor het verbeteren van de waterkwaliteit bijvoorbeeld als vloeiveld ("helofytenfilter") voor gezuiverd rioolwater (zie Nanninga, 2011). Riet neemt nutriënten op en door het riet te maaien worden deze nutriënten uit het watersysteem verwijderd.

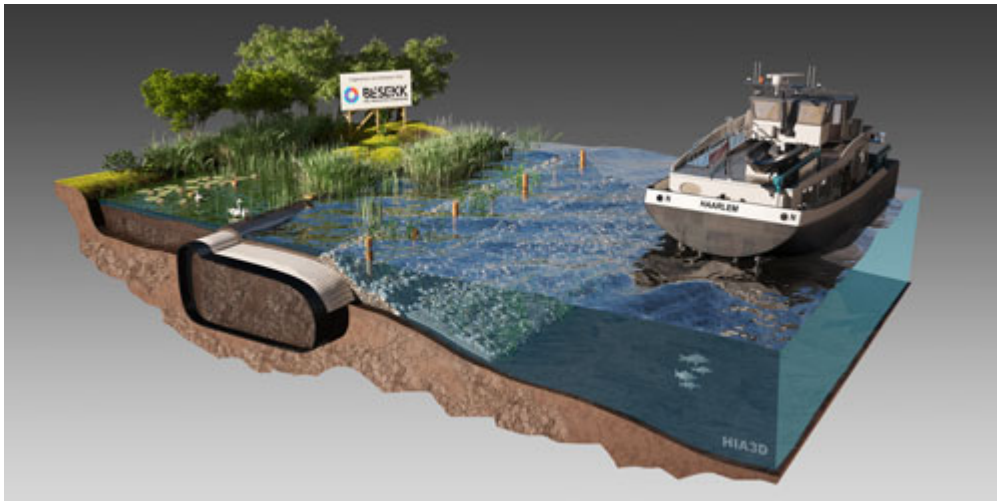
### *Stuurbaarheid*

Het ontwikkelen van riet is mogelijk door jonge rietstengels aan te planten of door het in te zaaien. Ook zijn er voorbeelden van aanplant en ontwikkeling van Riet op jutte matten op de oevers. Gerichte ontwikkeling van Riet in Nederland gebeurt vrijwel uitsluitend vanuit een natuurontwikkelingsperspectief, bijvoorbeeld voor de aanleg van natuurvriendelijke oevers. De "Handreiking Natuurvriendelijke Oevers" (STOWA 2011) biedt veel nuttige informatie in dit opzicht op het gebied van locatiekeuze, ontwerp en beheer aspecten voor natuurvriendelijke oevers waaronder helofyten. Hoewel rietzones een rol kunnen spelen in het beperken van erosie en golfslag, is hier vanuit een waterveiligheidsperspectief nog nauwelijks ervaring in de praktijk mee opgedaan.

### *Voorbeeldprojecten*

#### Baggertubes Oosteinderpoel

Langs de Oosteinderpoel vlakbij Aalsmeer is een nieuwe methode ontwikkeld voor bescherming van de oevers tegen golf- en zuigkracht van het scheepvaartverkeer in de Ringvaart. Dit initiatief is ontstaan onder leiding van provincie Noord-Holland waarbij oeverbescherming wordt gecombineerd met de aanleg van natuurvriendelijke oevers. Grote zakken van geotextiel worden gevuld met baggerspecie die vrijkomt uit de vaargeul (Figuur 14). Op de tubes laat men waterrietvegetatie ontwikkelen die zorgt voor golfdemping. De tubes zorgen voor de juiste hoogteligging van de oever zodat een rietzone kan ontwikkelen. De vraag blijft echter wel of Riet hier een significante rol speelt in golfdemping/erosie reductie.



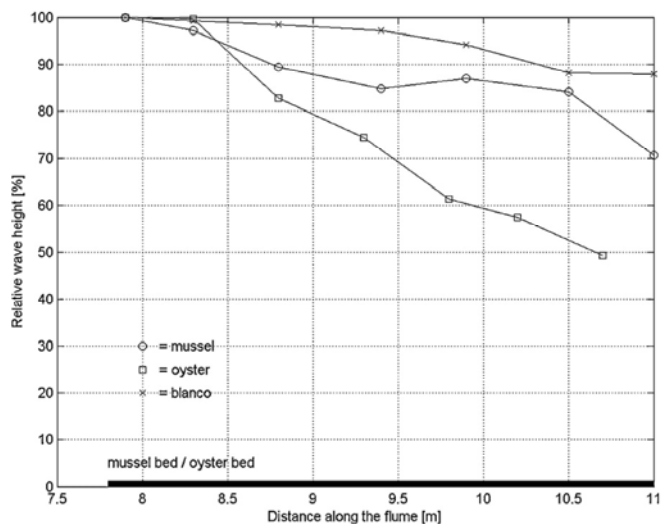
*Figuur 14. Oeverbescherming langs de Ringvaart bij Aalsmeer met geotextiel gevuld met baggerspecie waar rietvegetatie kan ontwikkelen ([www.noord-holland.nl](http://www.noord-holland.nl)).*

## 4 Schelpdierbanken

Schelpdierbanken van mosselen of oesters vormen vaak een karakteristiek onderdeel van estuaria en ondiepe kustgebieden. Ze komen zowel sublitoraal als litoraal voor; in deze studie ligt de aandacht op het voorkomen van schelpdierbanken op slikken voor de dijken. Mosselen en oesters zijn tweekleppige weekdieren die hun voedsel uit de waterkolom filteren door grote volumes water door hun kieuwen te stuwen (zogen. filteraars). Algen (fytoplankton) worden gedeeltelijk verteerd, terwijl onverteerde delen en opgenomen slib weer als faeces en pseudofaeces worden uitgescheiden.

Op slikken en zandplaten vormen schelpdierbanken een opvallend habitat op een anders zacht (sediment) en kaal substraat; het zijn structuurvormende organismen die een complexe, drie-dimensionale biogene structuur vormen op de bodem. Schelpdieren zoals mosselen en oesters zijn biobouwers met zowel autogene als allogene effecten (Gutiérrez et al. 2003, Bouma et al. 2009). De gevormde banken en riffen leggen het onderliggende sediment vast en beïnvloeden golven en stroomsnelheden omdat hun 3D-structuur de weerstand van de bodem tegen stroming verandert (Widdows and Brinsley 2002, Gutierrez et al. 2003). Borsje et al. (2011) beschrijven een experiment waarbij ze een mosselbed en een oesterrif plaatsten in een golfsimulator (Figuur 15). De mosselbank bestond uit 1400 mosselen/m<sup>2</sup> en was gemiddeld 7 cm hoog. Het oesterrif bestond uit 148 oesters/m<sup>2</sup> en was gemiddeld 7,1 cm hoog. Uit dit experiment bleek dat oesterbanken effectiever waren in het uitdoven van golven (3,34 cm hoog) dan mosselbanken.

Door hun invloed op golven en stromingen beïnvloeden schelpdierbanken ook het sedimenttransport. Doordat de stroomsnelheden in de banken veelal iets lager zijn, wordt sediment, zoals zand, slib en schelpen, afgezet in de banken. De schelpdierbanken dempen de golven (Borsje et al. 2011) en in de luwte achter de schelpdierbanken ontstaan rustigere omstandigheden waar sedimentatie kan plaatsvinden of erosie wordt tegengegaan (Wallis et al. Submitted), en waar fijner en organisch rijk sediment wordt afgezet (van der Zee et al. 2012, Donadi et al. 2013).



Figuur 15. Golfuitdoving over een 3,10 meter lange mosselbank en oesterrif, vergeleken met de golfuitdoving zonder deze structuren in een golfsimulator (uit Borsje et al. 2011).

Daarnaast filteren de schelpdieren zwevende deeltjes (algen, slib) uit de waterkolom en produceren daarbij grote hoeveelheden faeces en pseudofaeces, welke zich in en in de nabijheid van de schelpdierbanken afzetten (biodepositie). Hierdoor verandert het sediment onder de schelpdierbank en in de directe omgeving en ontstaat plaatselijk afzetting van fijne sedimenten (van der Zee et al. 2012). Door de structuur van de schelpdierbank wordt dit fijne sediment vastgehouden. Al naar gelang van de fysische omstandigheden kunnen faeces en pseudofaeces weer suspenderen, wegspoelen of blijven liggen. Schelpdierbanken kunnen enorme opeenhopingen van sediment vormen, ingevangen en vastgehouden door levende mosselen of oesters en dode schelpen.

Naast hun rol als biobouwer vormen schelpdierbanken een hard substraat voor heel wat andere soorten, en zijn het tevens belangrijke voedselbronnen voor heel wat andere soorten zoals krabben, vogels e.a. Ze vervullen dan ook een centrale rol in het mariene en estuariene ecosysteem. In de Groot et al. (2013, in prep.) wordt in detail ingegaan op de rol van schelpdierbanken als onderdeel van een kansrijke waterveiligheidsstrategie voor het Deltaprogramma Waddengebied, en we verwijzen voor meer details over schelpdierbanken naar dit rapport. Hieronder volgt een kortere beschrijving van het gebruik van schelpdierbanken in een veiligheidsstrategie voor de ZW Delta, grotendeels gebaseerd op de Groot et al. (2013, in prep).

#### 4.1 Mosselbanken

De gewone mossel (*Mytilus edulis*) komt voor langs de gehele Nederlandse kust, zowel in droogvallende gebieden als permanent onder water. Mosselen kennen een voortplanting via een pelagiaal larvenstadium. Miljoenen eieren en zaadcellen worden in de waterkolom gespoten en in het water bevrucht. Na bevruchting verblijven de larven een aantal weken in de waterkolom. Daarna hechten de mossellarven (het zogen. mosselbroed) zich op hard substraat zoals op rotsen en golfbrekers, maar ook op slikken en platen, indien geschikt substraat aanwezig is. Ze vestigen zich hier vooral op volwassen mosselen, kokkels, oesters, dode schelpenbanken, hydroidpoliepen, kokerwormen (*Lanice*), macro-algen of kaal zand of slib (Brinkman 2002), en vormen zo vaak uitgestrekte mosselbanken (Figuur 14). Een individuele mosselbank kan een oppervlakte hebben van enkele vierkante kilometers (Dijkema, 1989). Byssusdraden, stevige eiwitdraden geproduceerd door de mossel zelf, zorgen voor de verankering van het tweekleppige schelpdier aan het substraat.



Figuur 16 Mosselbank in de Waddenzee.

Fysische processen zoals golven en stroming hebben invloed op de overleving van mosselbanken doordat mosselen kunnen wegspoelen van het substraat of bedolven raken onder sediment. Mosselbanken zijn het meest stabiel in beschutte gebieden, terwijl mosselbanken in meer aan storm of stroming blootgestelde gebieden dynamischer zijn (Holt et al., 1998). Het is bekend dat in de Waddenzee stormvloed en sterke stroming (met name jonge) mosselbanken kunnen beschadigen of verwoesten, net als ijsvorming in de winter.

Brinkman et al. (2002) hebben de randvoorwaarden voor het voorkomen van mosselbanken in de Waddenzee op een rijtje gezet en geanalyseerd. De ZW Delta is een ander systeem als de Waddenzee maar de randvoorwaarden zijn min of meer vergelijkbaar. Uit de analyse van Brinkman et al. (2002) volgt dat, in volgorde van belangrijkheid:

- Mosselen een voorkeur hebben voor gebieden met een geringe golfactie (maximale orbitaalsnelheid  $< 0,5 \text{ m/s}^1$ ).
- Litorale mosselbanken komen nauwelijks voor in gebieden die langer dan 50% van de tijd droogvallen, maar ook gebieden die nauwelijks droogvallen lijken minder in trek. Dit heeft waarschijnlijk te maken met de predatiedruk in die gebieden.
- Hoe verder van de geul, hoe minder mosselbanken er voorkomen, op afstanden verder dan 1,5 km komen nauwelijks nog mosselbanken voor. Vermoedelijk is een belangrijke oorzaak hiervoor de relatie tussen afstand tot de geul enerzijds en stroomsnelheid en droogvalduur anderzijds.
- Mosselbanken komen vooral voor in gebieden met een mediane korrelgrootte van  $170 \mu\text{m}$  (voor alle deeltjes  $> 16 \mu\text{m}$ ; slibrijke gebieden of gebieden met grof zand lijken niet in trek.
- Een lage stroomsnelheid lijkt juist nadelig te zijn. Gebieden met stroming lager dan  $0,3 \text{ m/s}$  worden niet geprefereerd, maar mosselen komen ook nauwelijks voor in gebieden met snel stromend water ( $> 1,5 \text{ m/s}$ ).

#### *Randvoorwaarden voor voorkomen*

De vestiging en overleving van mossellarven en mosselbroed op de bodem hangt van een aantal factoren af: voldoende larven (larven en postlarven), voldoende geschikt substraat, weinig predatie door garnalen en krabben, geschikte fysische omstandigheden (stroming en golfslag) en voldoende voedsel. Een goede 'broedval' is dan ook een eerste belangrijke randvoorwaarde voor het voorkomen van mosselbanken. De larven kunnen maar zelf beperkt actief bepalen waar ze zich vestigen, en zijn vooral afhankelijk van de getijdestromingen waar ze terecht komen. De plaats van vestiging is daardoor dikwijls onvoorspelbaar (Brinkman et al. 2002).

#### *Betekenis voor waterveiligheid*

Mosselbanken komen in het intergetijdengebied tot gemiddeld zeeniveau voor. Mosselbanken geven stevigheid aan het sediment en beïnvloeden het sedimentdelend systeem en de morfologie van het intergetijdengebied. Mosselbanken dragen bij aan sedimentatie en het vasthouden van sediment in intergetijdengebieden. Daarmee dragen ze bij aan het in stand houden van de slikken en vooroevers, en dragen ze indirect bij aan de waterveiligheid. De golfreductie door mosselen zal onder maatgevende omstandigheden echter vrijwel verwaarloosbaar zijn. Deze effecten zijn niet groot genoeg om ze als significant onderdeel van een waterveiligheidsstrategie op te nemen en daarnaast zijn de stuurbaarheid en voorspelbaarheid van mosselbanken (nog) gering. Mosselbanken zijn waarschijnlijk ook minder robuust dan oesterriffen. Bij sterke uitbreiding van het areaal mosselbanken (door bijv. aanleg) moet ook rekening gehouden worden met het effect op de draagkracht van het ecosysteem. Of het aanleggen van mosselbanken schorren tegen afslag kan beschermen is nog niet duidelijk.

#### *Natuurwaarde*

Mosselbanken hebben een grote natuurwaarde. De banken vormen hard substraat voor andere soorten om zich op te vestigen en de ruimtes tussen de mosselen en mosselklompen bieden bescherming tegen predatie. De diversiteit op mosselbanken is daardoor hoger dan in het omliggende kale slik (Gosling 1992; Nehls et al. 1997; Buschbaum en Saier, 2003). Steltlopers zoals de Scholekster eten mosselen of de dieren die zich op of tussen de mosselen hebben gevestigd. Omdat zowel de faeces als de pseudofaeces rijk zijn aan organisch materiaal kan zich binnen een mosselbank (of gemengde oester/mosselbank) en in de directe omgeving een geassocieerde levensgemeenschap ontwikkelen van micro-organismen en bodemdieren zoals kokkels (Donadi et al. 2013), welke op hun beurt weer een belangrijke voedselbron zijn voor allerlei steltlopers zoals de rosse grutto en wulp (van der Zee et al. 2012).

#### *Stuurbaarheid*

Om meer inzicht te krijgen in de daadwerkelijke mogelijkheden met betrekking tot een mogelijke invloed op waterveiligheid zou meer kwantitatieve informatie nodig zijn over de stabiliteit van mosselbanken en vooral over de factoren die daarop van invloed zijn en meer kennis moeten worden ontwikkeld in welke mate en onder welke omstandigheden golfremming of remming van stroming plaatsvindt, en tot welke



afstand dit meetbaar is. Gerichte proeven met het aanleggen van mosselbanken in bijv. Westerschelde en Oosterschelde kunnen hierin meer inzicht verschaffen. Een belangrijke vraag hierbij is of deze aangelegde mosselbanken stabiele structuren vormen, of ze overwoekerd raken met oesters of gemengde mossel/oesterbanken ontstaan, etc.

Projecten in de Waddenzee (Mosselwad, Waddensleutels) onderzoeken de mogelijkheden om vestiging van litorale mosselbanken te stimuleren of litorale mosselbanken terug aan te leggen. Mosselen worden ook gekweekt op bodempercelen; dit kan zowel in het litoraal als sublitoraal. De kennis die voortkomt uit deze onderzoeken kan ook relevant zijn voor de ZW Delta.

## 4.2 Oesterbanken

In Nederland komen twee soorten oesters voor: de inheemse Platte oester (*Ostrea edulis*) en de Japanse oester (*Crassostrea gigas*). De Platte oester kwam vroeger in grote aantallen voor in de Waddenzee en Noordzee, maar is nu nagenoeg verdwenen door overbevisning, ziektes en de afname van geschikt habitat (Smaal et al., 2009a). De Japanse oester is in 1964 in Zeeland geïntroduceerd om de oesterkweek nieuw leven inblazen (Troost, 2010). De lage watertemperatuur had de voortplanting en verspreiding van de exoot moeten voorkomen, maar desondanks heeft hij zich kunnen verspreiden in de Oosterschelde en langs de Nederlandse kust (Smaal et al. 2009b).

Larven van de Japanse oester worden door stroming en golven meegevoerd, en vestigen zich op allerlei geschikt substraat, waarna zij uitgroeien tot volwassen oesters. Volwassen oesters vormen op hun beurt hard substraat voor nieuwe oesterlarven, waardoor er over de jaren oesterriffen ontstaan die zich verticaal en horizontaal uitbreiden (Powers et al., 2009) (Figuur 17). Door de goede voortplanting, snelle groei (tot 75 mm per jaar) en goede overleving heeft de Japanse oester zich snel weten te verspreiden. Vooral in de getijdenzone, maar ook in diepere delen, vormt de Japanse oester uitgestrekte oesterriffen. De driedimensionale structuur van oesterriffen beïnvloedt het sedimenttransport door het remmen van stroming en golven (de Vries et al., 2007; Borsje et al., 2011; Scyphers et al., 2011). Oesters produceren in grote hoeveelheden kalksediment in de vorm van schelpen, die na afsterven grotendeels intact blijven en bijdragen aan het in standhouden van het oesterrif. Een oud oesterrif bestaat dan ook voor het overgrote deel uit dode schelpen. In de Oosterschelde komen oesterriffen voor van 30 jaar oud die uit een kern van 70 cm schelpen en sediment bestaan (B. Walles, unpub. Data).



Figuur 17. Oesterrif in de Oosterschelde.

#### *Randvoorwaarden voor voorkomen*

Oesters hebben net als mosselen pelagiale larven welke enkele weken in de waterkolom verblijven, waarna ze zich vestigen op verschillende ondergronden: harde substraten zoals stortstenen onderaan dijken, maar ze ontwikkelen zich ook tot uitgestrekte banken op zandige en slikkige ondergrond. Daarbij vestigen ze zich eerst op kleine stukjes hard substraat zoals schelpresten (Troost, 2009, 2010). Vervolgens vestigen ze zich op elkaar en zo kan zich snel een hele oesterbank ontwikkelen. Dit proces wordt versneld doordat ze zich bij voorkeur vestigen op en nabij soortgenoten. Verder is de Japanse oester tolerant voor een grote variatie aan abiotische condities (Troost, 2009): Japanse oesters kunnen watertemperaturen tot 40°C overleven en luchttemperaturen (tijdens droogvallen bij laagwater) tot -5°C of zelfs lager. Groei vindt plaats bij temperaturen tussen 10 en 40°C en bij zoutgehaltes tussen 10 en 30‰, voortplanting bij temperaturen tussen 16 en 30°C en zoutgehaltes tussen 10 en 30‰ en larven kunnen overleven bij temperaturen tussen 18 en 35°C en zoutgehaltes tussen 19 en 35‰. Door grote oppervlaktes schelpstructuur te bouwen leggen oesters geschikt habitat voor soortgenoten (Troost, 2009). Als plaatselijk oesters doodgaan, bijvoorbeeld door extreme hitte, blijft het rif als structuur toch intact. In het volgende jaar kan het rif bij een goede broedval van larven afkomstig uit andere oesterbanken alweer gekoloniseerd worden. Dit wordt vergemakkelijkt doordat de Japanse oester zich snel over grote afstanden kan verspreiden middels het larvale stadium en doordat de larven zich bij voorkeur vestigen op of nabij soortgenoten.

De ontwikkeling van riffen is afhankelijk van de lokale droogvalduur, bodemschuifspanning, golfdynamiek en stroomsnelheden (Lenihan, 1999; Schellekens et al., 2012). De noodzaak van een stabiele ondergrond houdt in dat op beschutte plekken meer substraten geschikt zijn als ondergrond voor oesterriffen dan op geëxponeerde plekken (Brumbaugh & Coen, 2009), mits slibbedekking niet overheerst. Door omhoog te groeien kunnen oesterriffen meegroeien met sedimentatie en zeespiegelstijging. De plasticiteit van de Japanse oester stelt de soort in staat om zelfs bij hoge sedimentatiesnelheden te overleven door langgerekt uit te groeien. Echter, wanneer sedimentatiesnelheden te groot zijn, zullen de oesters bedolven worden en sterven (Powers *et al.*, 2009). Stormen leiden soms tot verplaatsing van grote hoeveelheden sediment en hebben daardoor indirect invloed op de overleving van de oesterriffen. Vooral riffen die weinig boven de bodem uitsteken, zijn gevoelig voor bedelving (Lenihan, 1999; Piazza et al., 2005). Oesters gedijen minder goed in erg rustige, sterk sedimenterende milieus. De reden daarvoor is dat oesters, in tegenstelling tot mosselen, niet het vermogen hebben zich uit de grond omhoog te werken bij een sterke opslibbing. Middelhoge sedimentatiesnelheden verslechteren de conditie van oesterriffen door de vestiging van oesterlarven en de verticale groei te verminderen (Schulte et al., 2009). In het algemeen geldt dat hoe hoger een rif boven het zachte sediment uitsteekt, hoe hoger de oesterdichtheden, vestiging van oesterlarven en overleving van oesters (Schulte et al., 2009). Erosie heeft minder invloed op de overleving van oesters dan sedimentatie.

In de Oosterschelde is voor de Japanse oester een optimale droogvalduur op de slikken en platen vastgesteld bij 30-40%, en boven 60% wordt het habitat ongeschikt (Schellekens et al., 2012; Walles, unpubl. Data). Oesters kunnen ook overleven bij een lagere overstromingsduur, en dus hoger op het wad, maar dit gaat ten koste van hun ontwikkeling.

#### *Betekenis voor waterveiligheid*

De bijdrage van oesters aan de waterveiligheid in de ZW Delta is vergelijkbaar aan die van mosselen, en betreft eerder een indirect effect. Dit gebeurt door het vasthouden van sediment, het faciliteren van sedimentatie en het tegengaan van erosie via het lokaal reduceren van golven en stroming, en door het veranderen van de sedimenteigenschappen (biodepositie, aanmaak van kalksediment). Metingen aan riffen van 1-60 m lang in de Oosterschelde laten bijvoorbeeld zien dat de lengte (dwars op de dominante golfrichting), en in mindere mate de hoogte en breedte, van het rif bepalend lijkt te zijn voor de grootte van het beïnvloede gebied achter het rif (Walles, subm.). Van der Zee et al. (2012) laten in de Waddenzee een duidelijk effect zien van gemengde oester/mosselbanken op de sedimenteigenschappen in de omgeving van deze banken, tot honderden meters ver, met een toename in organische stofgehalte en slibgehalte in de richting van de riffen. Effecten van oesterriffen manifesteren zich dus tot ver buiten de riffen zelf. Daarmee dragen ze bij aan het in stand houden van de slikken en vooroevers, en dragen ze indirect bij aan de waterveiligheid. De golfreductie door oesterriffen zal onder maatgevende omstandigheden echter klein zijn, omdat oesterriffen redelijk laag in het intergetijdengebied voorkomen. Deze effecten zijn waarschijnlijk niet groot genoeg om ze als significant onderdeel van een

waterveiligheidsstrategie op te nemen. Dit kan onder situaties van een gedempt getij (bijv. in Grevelingen) echter anders liggen en kan de bijdrage tot golfdemping nabij de dijk mogelijk wel van betekenis zijn. De stuurbaarheid en voorspelbaarheid van oesterriffen zijn waarschijnlijk wel groter dan mosselbanken. Bij sterke uitbreiding van het areaal oesterriffen (door bijv. aanleg) moet ook rekening gehouden worden met het effect op de draagkracht van het ecosysteem. Of het aanleggen van oesterriffen schorren tegen afslag kan beschermen is nog niet duidelijk.

#### *Natuurwaarde*

Oesterriffen bieden een scala van ecosysteemdiensten zoals erosiebescherming, broedkamerfunctie, visserij en aquacultuur, CO<sub>2</sub>-opslag, waterfiltratie en de regeneratie van nutriënten (Grabowski et al., 2007; Forrest et al., 2009; Scyphers et al., 2011). In Amerika worden oesterriffen op grote schaal aangelegd om deze ecosysteemdiensten te herstellen of stimuleren.

Effecten van oesterriffen op natuurwaarden zijn niet eenduidig. In zandige habitats bieden oesterriffen extra hard substraat, voedsel en schuilplaatsen (Piazza et al., 2005; Grabowski et al., 2007; Scyphers et al., 2011). Dit leidt tot een verhoging van de plaatselijke biodiversiteit (Coen et al., 2007; Borsje et al., 2011). Japanse oesterriffen leveren eenzelfde type leefgebied voor geassocieerde fauna als mosselen (bijv. Büttger et al., 2008). In de Waddenzee was de Scholekster voor zijn voedsel altijd in grote mate afhankelijk van mosselen en kokkels maar leert intussen ook Japanse oesters eten (Markert et al., 2013). Andere vogelsoorten zoals wulp foerageren voornamelijk op geassocieerde fauna (bijv. krabben) rondom mosselbanken en oesterriffen (Markert et al., 2013). In de Oosterschelde benutten steltlopers oesterbanken (Wijsman et al. 2008), maar enkel scholekster en meeuwen foerageren daadwerkelijk op Japanse oesters, weliswaar in beperkte mate (Zwarts et al. 2011). Elders is ook waargenomen dat Scholeksters in beperkte mate foerageren op Japanse oesters (referenties in Troost 2010).

Voor gemengde oester/mosselbanken in de Waddenzee is door Van der Zee et al. (2012) een effect aangetoond op de omringende (a)biotische omgeving (honderden meters), met hogere aantallen van bijvoorbeeld kokkels, kokerwormen en zeeduizendpoten in vergelijking tot kaal zand. Deze toename aan bodemdieren had ook een positief effect op een aantal vogelsoorten, waaronder Scholekster, Rosse grutto en Wulp.

#### *Stuurbaarheid*

Herstel en aanleg van oesterriffen gebeurt wereldwijd voor verschillende redenen en doelen (bijv. Powers et al. 2009, Scyphers et al. 2011). In de Oosterschelde worden in het kader van het Building with Nature innovatieprogramma proeven gedaan met kunstmatige oesterriffen om na te gaan of hiermee de erosie van platen en slikken in de Oosterschelde kan worden tegengegaan ([www.ecoshape.nl](http://www.ecoshape.nl)). Het concept bestaat er in om op plekken die te leiden hebben van erosie, kunstmatige riffen aan te leggen die de basis vormen voor de ontwikkeling van een levend oesterrif. Deze riffen bestaan uit schanskorven gevuld met oesterschelpen (Figuur 18). De schanskorven dienen om de schelpen vast te houden, en de schelpen vormen een uiterst geschikt substraat voor oesterlarven om zich op te vestigen. In het kader van Building with Nature zijn in 2010 drie grote riffen (200x10\*0.2 m) neergelegd bij Viane en De Val (Figuur 19). Het effect van de riffen op de omringende morfologie is verschillend van rif tot rif en hangt af van de lokale condities. Op Viane, waar erosie het grootst is, zien we een duidelijk positief effect met een verminderde erosie achter de riffen, en wordt veel zand ingevangen door het rif. Op de Val wordt nauwelijks een effect op de morfologie aangetoond. De ontwikkeling van de riffen zelf verschilt ook sterk. Op één van de riffen in Viane is veel oesterbroed aanwezig en ontwikkelt het rif zich tot een levend rif (Figuur 20), terwijl het andere rif door een overmaat aan sediment dat ingevangen wordt, slechts weinig levende oesters bevat. De proeven tonen aan dat het inzetten van oesterriffen als erosie-beperkende maatregel potenties biedt, maar dat kennis over de leef condities van de oester en van de lokale omstandigheden noodzakelijk is voor een goede werking. Met andere woorden, oesterriffen zullen niet overal kunnen ingezet worden. Om het gebruik van oesterriffen als erosie remmende maatregel nader te bestuderen wordt in de Veiligheidsbuffer Oesterdam geëxperimenteerd met de aanleg van oesterriffen in combinatie met een suppletie.



*Figuur 18. Aanleg van kunstmatige oesterriffen in de Oosterschelde in het kader van Building with Nature.*



*Figuur 19. Kunstmatige oesterriffen bij De Val (links) en Viane (rechts) in de Oosterschelde. Op de foto rechts is duidelijk sedimentatie te zien achter het rif.*



*Figuur 20. Ontwikkeling van een kunstmatig oesterrif tot een levend rif bij Viane (rechts) in de Oosterschelde. Oesterbroed vestigt zich op de schelpen in de schanskorven en groeien door het gaas van de schanskorven heen.*

De Japanse oester komt in het litoraal voornamelijk in de Oosterschelde voor. In 1985 werd het areaal aan banken in het litoraal nog geschat op 50 hectare, maar dit groeide snel tot 300 hectare in 1990, 600 hectare in 2001, en 949 ha in 2012 (Brummelhuis et al., 2012). In de Westerschelde komt de soort veel minder voor.

Om meer inzicht te krijgen in de daadwerkelijke mogelijkheden met betrekking tot een mogelijke invloed op waterveiligheid zou meer kwantitatieve informatie nodig zijn over de stabiliteit van oesterriffen en vooral over de factoren die daarop van invloed zijn. Inzicht is nodig in welke mate en onder welke omstandigheden golfremming of remming van stroming plaatsvindt, en tot welke afstand dit meetbaar is. De proeven met het aanleggen van oesterriffen in de Oosterschelde kunnen hierin meer inzicht verschaffen. Een belangrijke vraag hierbij is of deze aangelegde oesterriffen stabiele structuren vormen; hiervoor is meerjarige monitoring noodzakelijk. Hierbij dient tevens rekening gehouden te worden met de rol van ziektes (bijv. herpes virus) en predatie (bijv. oesterboorders zoals *Ocenebrellus inornatus* en *Urosalpinx cinerea*).

## 5 Toepassingsmogelijkheden biobouwers in de ZWD

In het voorgaande hoofdstuk zijn biobouwers behandeld die potentieel interessant zijn als aanvulling op de dijken in de ZW Delta. Ook is aangegeven hoe ze direct danwel indirect kunnen bijdragen aan waterveiligheid en onder welke randvoorwaarden ze voorkomen. In dit hoofdstuk wordt de vertaalslag naar de ZW Delta gemaakt. Hier wordt ingegaan op waar de biobouwers potentieel kunnen voorkomen op basis van fysische/chemische randvoorwaarden van getij, zoutgehalte, sedimentlading en hoogteligging en wat interessante toepassingsmogelijkheden zijn op basis van expert oordeel.

### 5.1 Potentieel voorkomen van biobouwers in de bekkens

De bekkens van de ZW Delta vertegenwoordigen zeer verschillende systeemtypen, uiteenlopend van (gedempte) getijdesystemen tot zoute, brakke en zoete meren. Tabel 3 geeft een overzicht van de fysisch-chemische eigenschappen van de verschillende bekkens die in grote mate het voorkomen van de verschillende biobouwers bepalen. Zo is zoutgehalte bepalend voor het voorkomen van zout- of zoetwatersoorten en aanwezigheid van getij en voldoende sediment in het water cruciaal voor schorvorming. In Tabel 3 wordt op basis van deze randvoorwaarden een inschatting gemaakt van het potentieel voorkomen van verschillende soorten biobouwers. Tevens is ook een mogelijke toekomstige situatie met 50 cm getij op Grevelingen en Volkerak-Zoommeer beoordeelt. Schorren en schelpdierbanken zijn voor hun voorkomen afhankelijk van een bepaalde droogvalduur (Figuur 21). De droogvalduur is de tijd dat een gebied droogvalt met laagwater. Scheldierbanken (oesters en mosselen) mogen niet te lang droogvallen, omdat ze dan te weinig tijd hebben om voldoende voedsel te filteren voor hun overleving. Schorvegetatie daarentegen moet juist niet te lang onder water staan, en komt daarom vanaf de hoogwaterlijn en hoger voor. De hoogste delen van het schor lopen alleen nog incidenteel onder. In de zoete systemen komt de zoetwatervegetatie welke als biobouwer fungeert voor op de oevers en eilanden. Hierbij gaat het vooral om het voorkomen van struwelen en in mindere mate helofyten. In Bijlage A zijn van ieder bekken kaarten opgenomen van het huidige voorkomen van biobouwers op basis van droogvalduur en ecotopen-gegevens.

Tabel 3. Fysische eigenschappen van de bekkens in de ZW Delta voor wat betreft getij, zoutgehalte en sedimentlading gebaseerd op Tangelder et al. (2013).

Dijkconcept	Fysisch-chemische eigenschappen				
	Getij	Zoutgehalte <sup>1</sup>			Sedimentlading <sup>2</sup>
		zoet	brak	zout	
Oosterschelde	•			•	? <sup>4</sup>
Veerse Meer	• <sup>3</sup>			•	
Westerschelde	•		•	•	•
Haringvliet /Hollandsch Diep		•			
Grevelingen				•	
Volkerak-Zoommeer		•			
Markiezaat			•		

1=Zoutgehalte (g/l): zoetwater, < 0,5 , brakwater 0.5-18, zoutwater >18.

2=Sedimentlading voor groei van schorren: 10 mg/l overleving, >10mg/l groei (Temmerman, Govers et al. 2004; Li and Yang 2009; Borsje, Van Wesenbeeck et al. 2011).

3=Gedempt getij

4=De sedimentlading in de Oosterschelde is waarschijnlijk te laag om schorren te laten meegroeien met zeespiegelstijging.

Tabel 4. Mogelijkheden voor voorkomen van verschillende soorten biobouwers (aangegeven door blauwe arcering) op basis van de fysische en chemische randvoorwaarden (zoutgehalte, getij, sedimentbeschikbaarheid) in de verschillende bekkens van de ZW Delta in de huidige situatie, en in een mogelijke toekomstige situatie met 50 cm getij op het Grevelingenmeer en een zout Volkerak-Zoommeer.

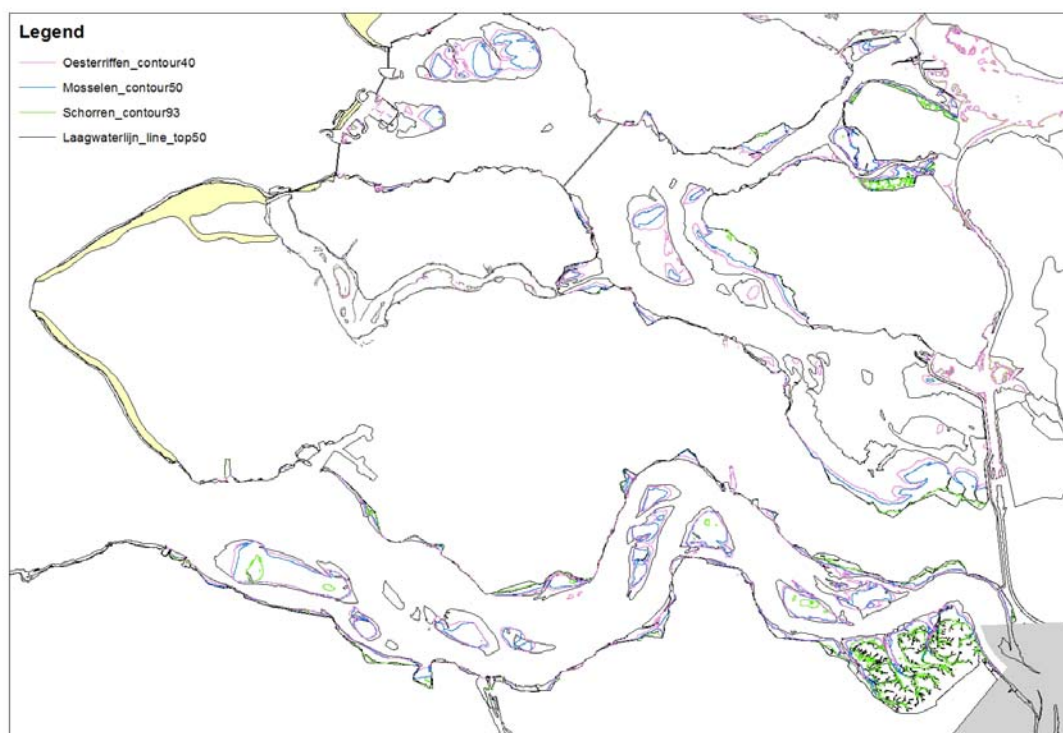
	Zoute/brakke schorren	Duinvegetatie	Helofyten	Wilgen	Oesterbanken	Mosselbanken
<b>Huidige situatie</b>						
Westerschelde		2	3			
Oosterschelde	1	2	3			
Veerse Meer	4	2	3	3		
Grevelingenmeer	4	2	3	3		
Volkerak-Zoommeer						
Markiezaat						
Haringvliet						
Hollandsch Diep						
Biesbosch						
<b>Mogelijke toekomstige situatie 50 cm gedempt getij</b>						
Grevelingenmeer		2	3	3		
Volkerak-Zoommeer		2	3	3		

1= De sedimentlading in de Oosterschelde is waarschijnlijk te laag om schorren te laten meegroeien met zeespiegelstijging.

2= Er zijn geen natuurlijke duinen in dit bekken, duinvegetatie kan wel voorkomen op stuifzand op de dijken en langs (kunstmatige) strandjes.

3= het voorkomen van helofyten/wilgen wordt beperkt tot bepaalde delen (eilanden, oevers en hoge schorren) door de aanwezigheid van zout water in het bekken.

4= schorvegetatie kan lokaal wel voorkomen in deze zoute bekkens, maar door de afwezigheid van getij zullen zich geen schorren vormen.



Figuur 21. Zones waar de droogvalduur (dus de tijd dat het gebied droogvalt met laagwater) geschikt is voor ontwikkeling van oesterbanken (<40%), mosselbanken (<50%) en schorren (vanaf de hoogwaterlijn en hoger).

## 5.2 Toepassingsmogelijkheden

In de vorige paragraaf is aangegeven waar soorten biobouwers in theorie kunnen voorkomen op basis van de belangrijkste fysisch-chemische randvoorwaarden. De volgende stap is om na te gaan op welke plekken voor de dijken het interessant is om deze biobouwers gericht te ontwikkelen, omdat ze van betekenis kunnen zijn in bijvoorbeeld golfreductie of stabilisatie van de oever. Op 24 oktober 2013 is hiervoor een expertsessie georganiseerd met verschillende deskundigen om dit te kunnen beoordelen. Het verslag van deze bijeenkomst is opgenomen in Bijlage B. De belangrijkste uitkomsten van de discussie zijn uitgewerkt op kaartbeeld voor verschillende bekkens in Figuur 22 t/m 25. Hieronder wordt de inzet van verschillende typen biobouwers in de ZW Delta besproken. Deze bevindingen zijn gebaseerd op de uitkomsten van de expertsessie. Tabel 4 geeft een samenvattend overzicht van de mogelijke inzet van biobouwers per bekken als aanvulling op de dijken.

### Schorren

Zoute en brakke schorren komen op dit moment voor in de Westerschelde (met een gradiënt van zout naar brak richting de Belgische/Nederlandse grens) en in de Oosterschelde (zout) (zie kaart Bijlage A). Vrijwel al deze schorren slaan af aan de zeezijde. In de andere zoute en brakke bekkens komen wel schorvegetaties voor, maar door afwezigheid van voldoende getij en/of fijn sediment in het water vormen zich geen echte schorren waarbij kreekvorming en opslibbing plaatsvindt.

De schorren in de Westerschelde zijn allen van eenzelfde leeftijd doordat ze begin vorige eeuw zijn aangeplant met Engels slijkgras (*Spartina anglica*). In de huidige situatie zijn het dan ook in hoofdzaak volgroeide schorren. Er zijn klifranden ontstaan die eroderen door golfslag en stroming. Deze erosie wordt versterkt door het ruimtegebrek als gevolg van het baggerbeleid en inpolderingen en de kracht waarmee de getijgolf binnendringt in het trechtervormige estuarium (Westerschelde). De schorren staan daardoor onder druk en het ontwikkelen van nieuwe schorren lijkt om verschillende moeilijk.

Mogelijkheden voor het benutten van schorren voor de dijken zijn:

- Behouden van bestaande schorren, bijvoorbeeld door een klifrandsuppletie al dan niet in combinatie met aanplant van Engels slijkgras (in kokosmatten).
- Ophogen en uitbreiden voorliggend slik (Figuur 22)
- Het slik voor het Schor van Waarde is mogelijk hoog genoeg opgeslibd voor het ontstaan van pionier schor voor de klif.
- Ontwikkeling van nieuwe schorren is alleen mogelijk daar waar nieuw gebied wordt uitgedijkt (bijvoorbeeld bij de Hedwigepolder of bij Perkpolder in de Westerschelde (Figuur 22), of bij Rammegors (Oosterschelde)).

De schorren in de Oosterschelde staan onder druk als gevolg van de zandhonger. Ook wordt er door de aanwezigheid van de stormvloedkering te weinig sediment aangevoerd vanaf de Noordzee om de schorren te voeden. Daardoor kunnen de schorren in de Oosterschelde de zeespiegelstijging mogelijk niet bijhouden. Bestaande schorren kunnen mogelijk behouden blijven door klifrandsuppleties met klei, eventueel in combinatie met aanplant van Engels slijkgras.

Door de introductie van een gedempt getij in Grevelingen en Volkerak-Zoommeer kan (zout tot brakke) schorvegetatie ontwikkelen. Het zal gaan om randen van pioniervegetatie langs de oevers. De getijslag en aanvoer van sediment is te beperkt om een volwaardig schor te laten ontstaan waarbij een krekensysteem ontwikkelt en de vegetatie sediment kan vastleggen.

### Zoetwatervegetatie

Inzet van zoetwatervegetatie als biobouwer is voornamelijk mogelijk in de noordoostelijke, zoete wateren van de ZW Delta. Volgens de indeling Ecotopenstelsel Rijkswateren (Van der Molen, Aarts *et al.* 2000) behoren Haringvliet, Hollandsch Diep en Biesbosch tot de zwak brakke/zoete getijdenwateren door een lichte getijden invloed (30 cm getijslag) en rivierdynamiek. De getijslag is hier niet zodanig dat hier uitgebreide zoetwaterschorren voorkomen. Wel komen er wilgenvloedbossen voor in de Biesbosch die periodiek overstromen met rivierwater als gevolg van de opstuwing door hoogtij op de Noordzee. De



oevers van het Haringvliet en Hollandsch Diep waren na afsluiting onderwerp van snelle erosie (Visser *et al.* 1983), waarna de oevers grotendeels verdedigd zijn met stenen randen. Door de erosieve kracht van stroming en golven kunnen helofyten en wilgen/grienden alleen dienst doen in combinatie met een harde structuur (bv. dammetje) of op luwe plekken waar weinig erosie optreedt. De ervaring met inzet van deze soorten is nog zeer beperkt. Met de inzet van grienden op de vooroever wordt nu ervaring opgedaan na ontpoldering van de Noordwaard.

De Korendijkse slikken ten westen van Tiengemeten zijn een interessante locatie. Hier is het dijkvak afgekeurd. Er is een breed voorland aanwezig maar hier vindt ook golfaanval plaats (Figuur 24). Hier zou men kunnen kiezen voor het ontwikkelen van een brede oeverzone met vegetatie zoals de Oeverdijk in het Markermeer met het aanbrengen van zand. In het verleden is hier echter ook geëxperimenteerd met natuurbouw met wisselend resultaat omdat de golfaanval aanzienlijk is op de Korendijkse Slikken. Het Krammer-Volkerak, Zoommeer (beiden zoet) en Markiezaat (brak) behoren tot de meren met een overwegend stagnant waterpeil. Het Krammer-Volkerak kent relatief steile oevers waardoor de mogelijkheden voor inzet van zoetwatervegetatie beperkt zijn. Mogelijk is het ontwikkelen van rietvegetatie interessant. Een proef met aanplant van riet bleek echter niet succesvol als gevolg van intensieve begrazing door Grauwe ganzen (Vulink, Tosserams *et al.* 2010).

### **Duinvegetatie**

In de huidige situatie zijn er geen specifieke kansen voor vorming van duinen in de bekkens zelf, wel op de overgangen van koppen van de eilanden naar de bekkens. Duinvegetatie kan wel voorkomen in pollen of randen van stuifzand langs de dijken, daar waar stranden aanwezig zijn die zorgen voor aanvoer van zand. Ook kan gedacht worden aan het inpakken van een dijk met zand zoals nu gebeurt bij het Sophiastrand in de Oosterschelde. Men kan hier Helm aanplanten om het zand vast te houden.

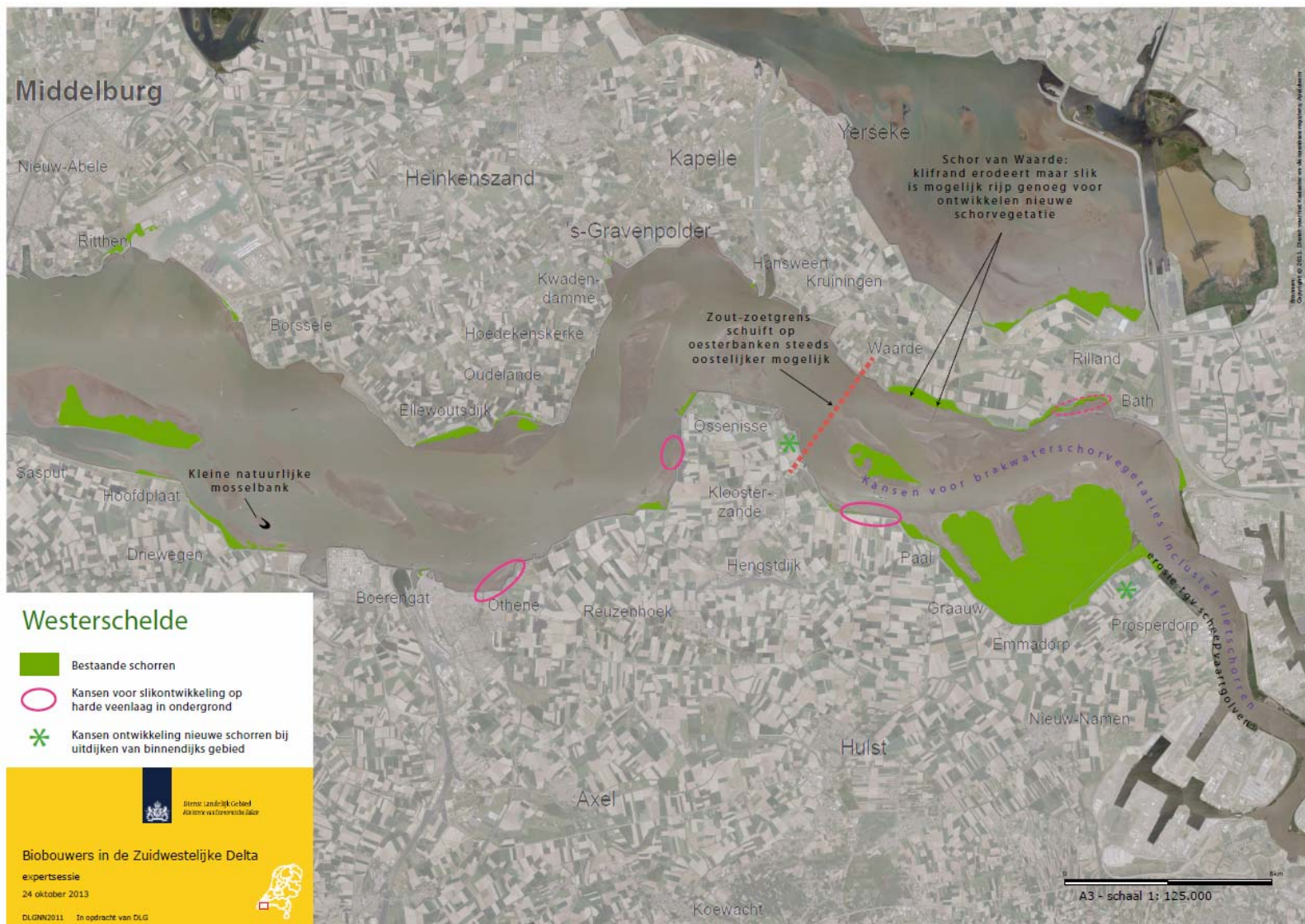
### **Schelpdierriffen**

Schelpdierriffen (mosselen, oesters) komen relatief laag voor in het intergetijdengebied en vormen de onderste "bouwsteen" op de voorlanden en kunnen vooral van betekenis zijn voor het verminderen van erosie van het voorland en door reductie van golven en stroming.

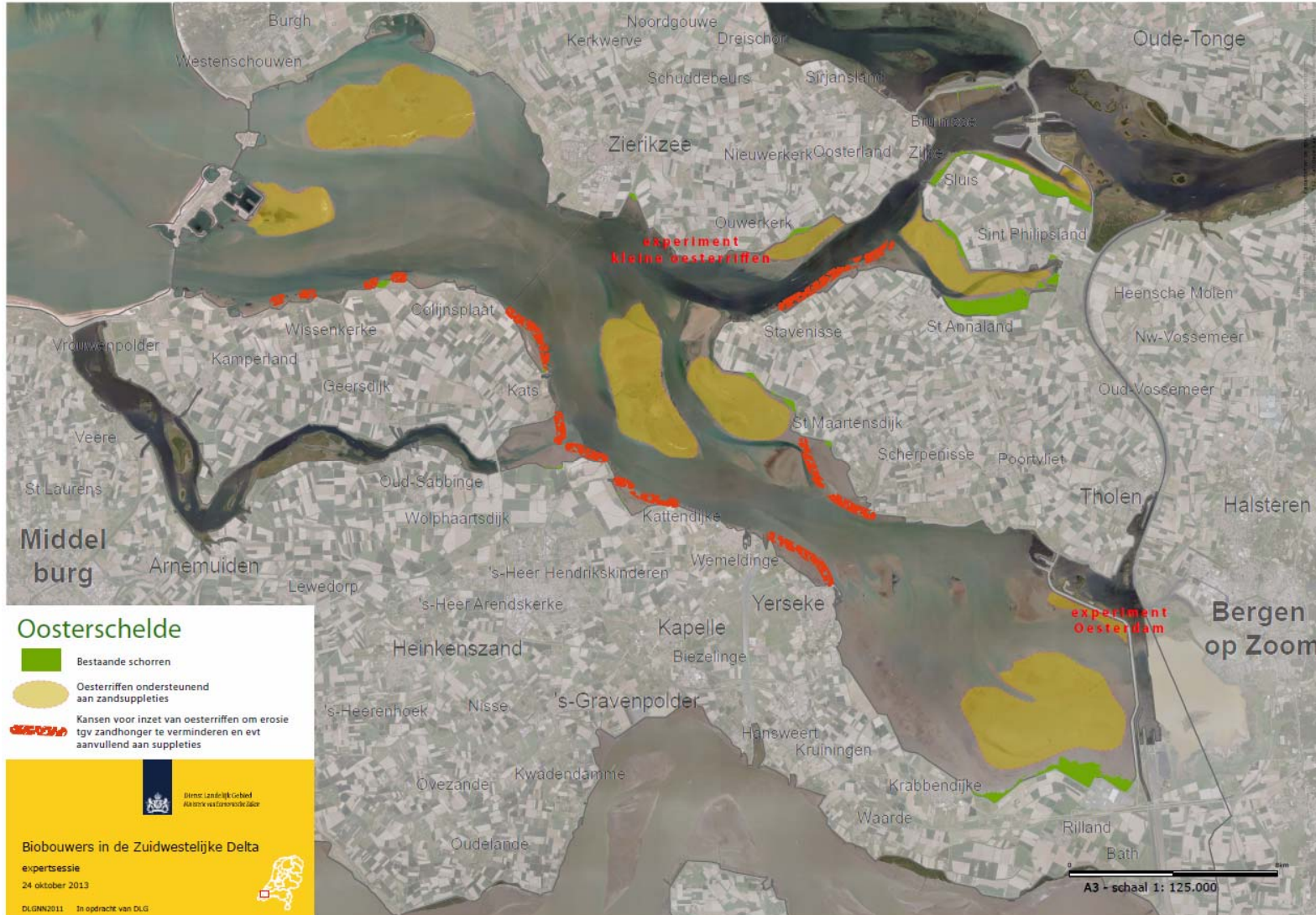
Natuurlijke litorale mosselbanken komen in de ZW Delta nog nauwelijks voor ook al kunnen ze in potentie wel voorkomen. Ook de kweek van mosselen in de Oosterschelde gebeurt sinds de jaren 90 bijna uitsluitend sublitoraal. Recent is in de Westerschelde wel een mosselbank van 4,5 ha ontstaan (Figuur 22). In de Oosterschelde zijn al vele jaren geen natuurlijke mosselbanken meer aanwezig maar komen mosselen plaatselijk wel in redelijk hoge dichtheden in oesterriffen voor (Troost 2009; Brummelhuis *et al.* 2012). Door het beperkte voorkomen en ook geringe stuurbaarheid en voorspelbaarheid van mosselbanken is de inzet hiervan mogelijk minder interessant. De ervaring met inzet van mosselbanken is echter te gering om dit goed te kunnen beoordelen.

De Japanse oester komt in het litoraal voornamelijk in de Oosterschelde voor. In 1985 werd het areaal aan banken in het litoraal nog geschat op 50 hectare, maar dit groeide snel tot 300 hectare in 1990, 600 hectare in 2001, en 949 ha in 2012 (Brummelhuis *et al.*, 2012). In de Westerschelde komt de soort veel minder voor vanwege de hoge dynamiek. Dankzij de proeven met oesterriffen in de Oosterschelde is enige ervaring opgedaan met inzet van oesterriffen slikranden. Bij de suppletie bij de Oesterdam worden nu ook oesterriffen aangelegd waarmee ervaring opgedaan kan worden als anti erosie maatregel tegen de zandhonger (Figuur 23). Oesterbanken zijn persistenter dan mosselbanken doordat de schelpen aan elkaar vastgroeien. In Figuur 23 staan globale kansen voor toepassing van oesterbanken in de Oosterschelde aangegeven. De kansen voor ontwikkeling van oesterbanken op de voorlanden in de Westerschelden lijken zeer beperkt door de hoge dynamiek die in het bekken aanwezig is. Mogelijk kunnen oesterbanken van betekenis zijn in een situatie met gedempt getij (Veerse Meer, Grevelingen en Volkerak-Zoommeer) voor bescherming van de oevers. Bij een kleinere getijslag kan een oesterbank een grotere invloed hebben op de demping van golven.

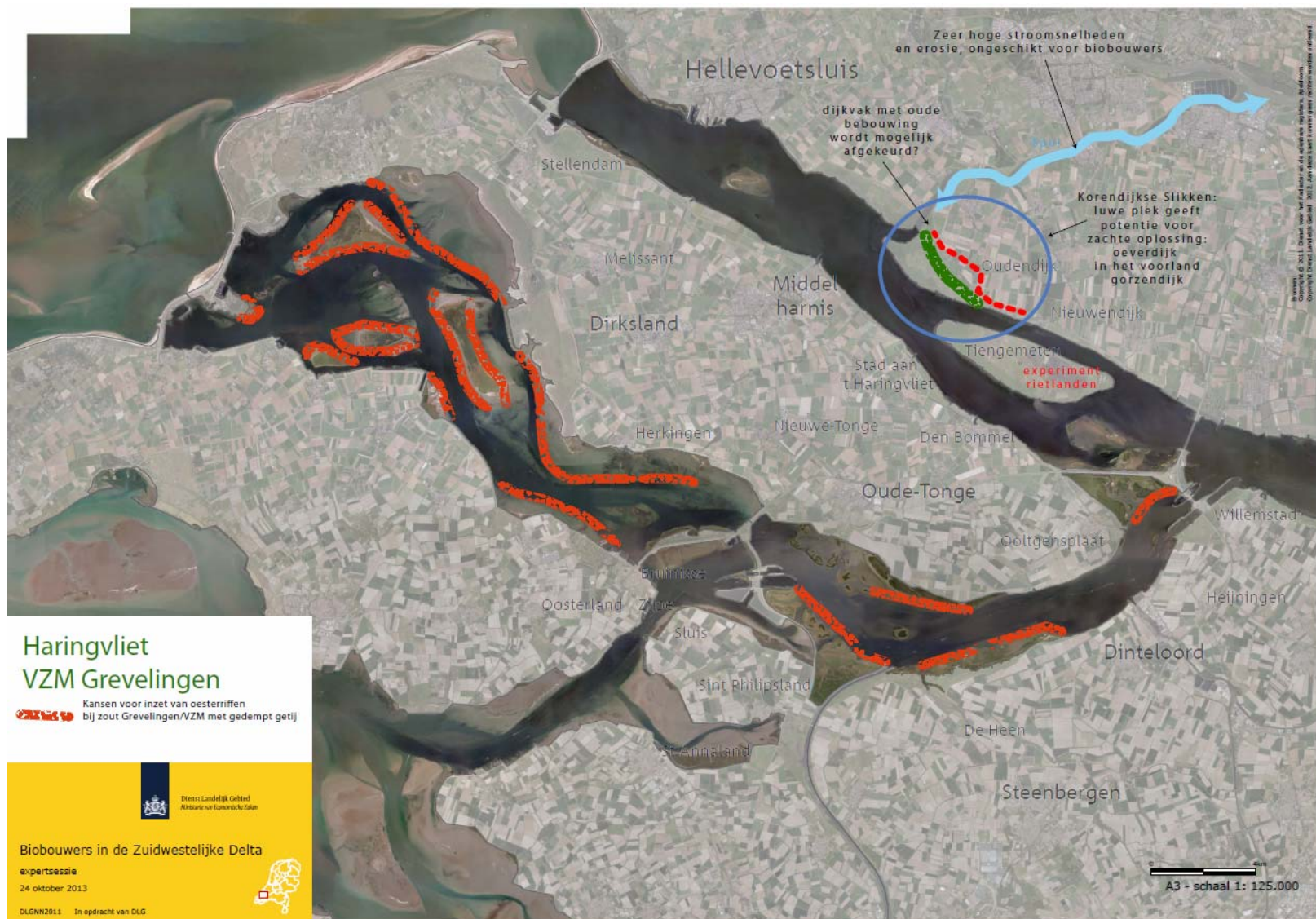




Figuur 22. Verbeelding van de kansen voor toepassing van biobouwers in de Westerschelde op basis van de expertsessie (bron: Dienst Landelijk Gebied).



Figuur 23. Verbeelding van de kansen voor toepassing van biobouwers in de Oosterschelde op basis van de expertsessie (bron: Dienst Landelijk Gebied).

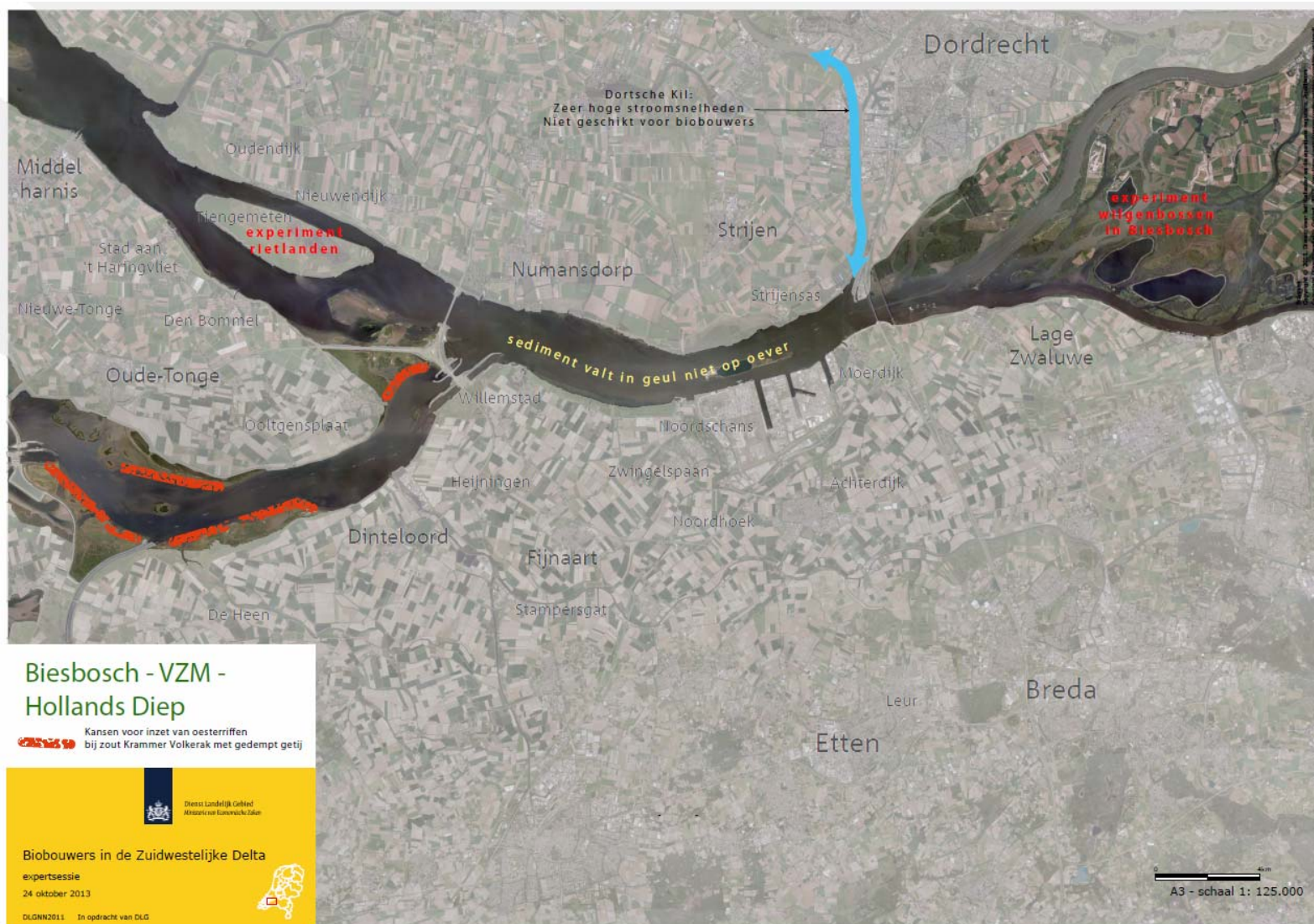


**Haringvliet**  
**VZM Grevelingen**  
 Kansen voor inzet van oesterriffen bij zout Grevelingen/VZM met gedempt getij

**Dienst Landelijk Gebied**  
 Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit

**Biobouwers in de Zuidwestelijke Delta**  
 expertsessie  
 24 oktober 2013  
 DLGN2011 In opdracht van DLG

Figuur 24. Verbeelding van kansen voor toepassing van biobouwers in het Grevelingenmeer, Krammer-Volkerak en Haringvliet op basis van de expertsessie (bron: Dienst Landelijk Gebied).





















































Figuur 25. Verbeelding van kansen voor toepassing van biobouwers in het Krammer-Volkerak, Hollandsch Diep en Biesbosch op basis van de expertsessie (bron: Dienst Landelijk Gebied).

Tabel 5. Toepassingsmogelijkheden van soorten biobouwers voor waterveiligheid op basis van expert-oordeel in de ZW Delta in de huidige situatie en in een mogelijke toekomstige situatie met 50 cm getij op het Grevelingenmeer en een zout Volkerak-Zoommeer.

 = biobouwer kan voorkomen en is mogelijk interessant om toe te passen voor waterveiligheid.

 = biobouwer kan (beperkt) voorkomen maar is niet interessant om toe te passen voor waterveiligheid.

 = biobouwer kan niet voorkomen en/of is niet interessant om toe te passen voor waterveiligheid.

	Zoute/brakke schorren	Duinvegetatie	Helofyten	Wilgen	Oesterbanken	Mosselbanken
<b>Huidige situatie</b>						
Westerschelde	 <sup>1</sup>	 <sup>3</sup>	 <sup>5</sup>		 <sup>7</sup>	 <sup>9</sup>
Oosterschelde	 <sup>1</sup>	 <sup>3</sup>	 <sup>5</sup>		 <sup>8</sup>	 <sup>9</sup>
Veerse Meer	 <sup>2</sup>	 <sup>3</sup>	 <sup>5</sup>	 <sup>5</sup>	 <sup>8</sup>	 <sup>9</sup>
Grevelingenmeer		 <sup>3</sup>	 <sup>5</sup>	 <sup>5</sup>	 <sup>7</sup>	 <sup>9</sup>
Volkerak-Zoommeer		 <sup>4</sup>	 <sup>6</sup>	 <sup>6</sup>		
Markiezaat		 <sup>4</sup>	 <sup>6</sup>	 <sup>6</sup>		
Haringvliet		 <sup>4</sup>	 <sup>6</sup>	 <sup>6</sup>		
Hollandsch Diep		 <sup>4</sup>	 <sup>6</sup>	 <sup>6</sup>		
Biesbosch		 <sup>4</sup>	 <sup>6</sup>	 <sup>6</sup>		
<b>Mogelijke toekomstige situatie 50 cm gedempt getij</b>						
Grevelingenmeer	 <sup>2</sup>	 <sup>3</sup>	 <sup>5</sup>	 <sup>5</sup>	 <sup>8</sup>	 <sup>9</sup>
Volkerak-Zoommeer (zout)	 <sup>2</sup>	 <sup>3</sup>	 <sup>5</sup>	 <sup>5</sup>	 <sup>8</sup>	 <sup>9</sup>

1=Mogelijkheden liggen vooral bij behoud van bestaande schorren in Oosterschelde en Westerschelde als aanvulling op de dijk.

2=Door gedempt getij is geen volwaardige schorontwikkeling mogelijk en is daardoor minder interessant als onderdeel van de waterveiligheid. Er kunnen wel zones van zilte pioniervegetatie voorkomen.

3= Duinvegetatie kan voorkomen in stuifzand op de dijken langs stranden, maar er is geen volwaardig duingebied aanwezig doordat het bekken begrensd wordt door dijken.

4= Door afwezigheid van stuifzand en het voorkomen van begroeide oevers in deze zoetwater bekkens zal duinvegetatie hier niet tot ontwikkelen komen.

5= Helofyten/wilgen kunnen voorkomen op de oevers en eilanden maar zullen niet in het zoute water van dit bekken groeien en zijn daardoor niet interessant om toe te passen.

6= Helofyten/wilgen kunnen voorkomen op de oevers en eilanden in deze zoete bekkens en kunnen gericht worden ontwikkeld op luwe plekken, mogelijk als oeverversteving of om golfaanval op de dijk te beperken. In het Mariezaat is het mogelijk te brak voor groei van wilgen.

7= In de Westerschelde is de dynamiek te groot voor het ontwikkelen van oesterriffen. In het Grevelingenmeer met een stagnant waterpeil is de mate van golfaanval, die in een vaste zone plaatsvindt, mogelijk te hoog voor het gericht ontwikkelen van oesterriffen.

8= Mogelijk kunnen oesterbanken van betekenis zijn voor het beperken van erosie in de Oosterschelde en in een situatie met gedempt getij (Veerse Meer, Grevelingen en Volkerak-Zoommeer) voor bescherming van de oevers.

9= Door het beperkte voorkomen van mosselbanken en ook geringe stuurbaarheid en voorspelbaarheid van mosselbanken is de inzet hiervan mogelijk minder interessant. De ervaring met inzet van mosselbanken is echter te gering om dit goed te kunnen beoordelen.

## 6 Conclusie

Biobouwers kunnen bijdragen aan het waterkerend vermogen van de kust. Voor de bekkens van de ZW Delta geldt dat biobouwers alléén niet voldoende zijn om de waterveiligheidsnorm te waarborgen. Wel kunnen biobouwers een waardevolle aanvulling vormen op het waterkerend vermogen van een dijk. Ten eerste door onderdeel van de fysieke waterkering te vormen en direct bij te dragen aan vermindering van de golfaanval op de dijk, ook onder maatgevende omstandigheden (schorren, zoetwatervegetatie). Dit kan de robuustheid van de dijken vergroten en daarmee bijv. de onderhoudskosten reduceren. Ten tweede kunnen biobouwers de erosie- en sedimentatieprocessen en de sedimentbeschikbaarheid beïnvloeden, en daarmee op lange termijn het "sedimentdelend" systeem en de morfologie beïnvloeden. Op plekken waar geulen dicht tegen de dijken aankomen zullen biobouwers zich moeilijk kunnen handhaven. Minder geëxponeerde plekken waar het niet te hard stroomt vormen over het algemeen een geschiktere leefomgeving.

Vegetatie is de meest interessante biobouwer. Het kan op de voorlanden/oevers voor de dijken voorkomen, waarmee het de directe golfaanval op de dijk kan verminderen, erosie kan beperken en/of sedimentatie bevorderen. Interessante vegetatietypen zijn schorvegetatie, duinvegetatie, helofyten en wilgen. In de tweede plaats zijn schelpdierbanken van oesters of mosselen interessant. Schelpdierbanken liggen relatief laag in het intergetijdengebied en vormen de onderste "bouwsteen" op de voorlanden. Ze kunnen vooral van betekenis zijn voor het verminderen van erosie van het voorland en door reductie van golven en stroming. Als de schelpdieren sterven wordt schelpmateriaal als kalkgruis opgenomen in het systeem.

Uit deze studie is gebleken dat de belangrijkste kansen voor toepassing van deze biobouwers als aanvulling op de dijken in de ZW Delta liggen in:

- behoud en mogelijk gericht uitbreiden van bestaande schorren in de Westerschelde en Oosterschelde. Mogelijkheden zijn het beschermen van klifranden door bijv. een kleisuppletie tegen de klifrand in combinatie met aanplant van Engels slijkgras. Daarbij moet ook aandacht zijn voor de stabilisatie van het voorliggende slik. Nieuw schor kan allen ontwikkelt worden door het uitdijken van binnendijks gebied (zoals bijv. bij Perkpolder).
- verder ontwikkelen van toepassing van het concept kunstmatige oesterriffen van Japanse Oesters ([www.ecoshape.nl](http://www.ecoshape.nl)) om gericht erosie te verminderen in de Oosterschelde en in de bekkens met gedempt getij (Veerse Meer en in de toekomst mogelijk Grevelingenmeer en Volkerak-Zoommeer) (Figuur 22-25). Onderzoeken naar mogelijkheden voor herstel litorale mosselbanken in de getijdebekken, gebruikmakend van de ervaringen in de Waddenzee (Waddensleutels ([www.waddensleutels.nl](http://www.waddensleutels.nl)), Mosselwad ([www.mosselwad.nl](http://www.mosselwad.nl))).
- ervaring opdoen met de mogelijkheden voor inzet van riet als biobouwers in de luwe delen van de zoete/brakke wateren in de ZW Delta (Haringvliet, Hollandsch Diep, Biesbosch, Volkerak-Zoommeer en Markiezaat), bijvoorbeeld door aanplanten van riet.
- Verder ontwikkelen van de inzet van wilgen of wilgengrienden als golfdempende zone op de oever van zoetwatersystemen (Haringvliet, Hollandsch Diep, Biesbosch, Volkerak-Zoommeer en mogelijk Markiezaat), waarbij wilgen worden aangeplant.
- De mogelijkheden voor inzet van duinvegetatie zijn beperkt. Duinvegetatie kan voorkomen in stuifzand op de dijken langs stranden, maar er is geen volwaardig duingebied aanwezig doordat het bekken begrensd wordt door dijken.



## 7 Discussie en aanbevelingen

### 7.1.1 *Biobouwers als optimalisatie van waterveiligheid*

Biobouwers kunnen ingezet worden als ondersteuning van waterveiligheid. Anders dan de traditionele waterbouw vraagt het benutten en laten ontwikkelen van biobouwers in kustverdediging om een meer flexibele en een op de lange termijn gerichte aanpak, omdat biobouwers een bepaalde groeiperiode nodig hebben om tot volle potentie te kunnen ontwikkelen. Deze groeiperiode kan sterk verschillen per soort. Bij aanplant van grienden kunnen effecten zich mogelijk binnen enkele jaren voordoen. Het ontwikkelen van een nieuw en volwaardig schor daarentegen duurt zeker 20-40 jaar. Biobouwers hebben in de vestigingsfase (1 tot 5 jaar) beschermde condities nodig, na enige tijd kunnen ze meer dynamiek aan en beginnen ze ook betekenis voor waterveiligheid te krijgen. Schorren zouden kunnen zorgen voor een continu lagere golfbelasting op de achterliggende dijk, waardoor onderhoud mogelijk minder vaak nodig is (zie Byers et al. 2006).

De bekkens van de ZW Delta kennen een grote onderlinge diversiteit en wijken, door de vele ingrepen in het watersysteem (dammen, inpolderingen, vooroeververdedigingen), af van natuurlijke meren of estuaria. Grote delen van de oevers van de voormalige estuaria zijn vastgelegd met harde oeververdedigingen. Daarnaast speelt in de getijdensystemen erosie van voorlanden door zandhonger (Oosterschelde) of ruimtegebrek (Westerschelde) waardoor nieuw schor niet snel zal ontwikkelen. Ook in de zoete systemen is er beperkte ruimte voor ontwikkeling van pionierstadia, bijvoorbeeld het ontbreken van kale oevers waar wilgen kunnen kiemen. Dit beperkt de mogelijkheden voor het toepassen van biobouwers op grote schaal, omdat deze zachte oplossingen ruimte nodig hebben om te groeien en het beste tot ontwikkeling komen in luwe delen, al dan niet met een geschikte sedimentlading en volwaardig getij (vooral schorren). De kansen voor biobouwer-oplossingen liggen daarom veelal op specifieke locaties of op gebieden die op de schop gaan, bijvoorbeeld bij dijkverbeteringswerkzaamheden. Voorlopig is de waterveiligheid in de ZW Delta redelijk op orde. Binnen de lopende trajecten Zwakke Schakels, HWBP II en vernieuwen van de steenbekleding door Projectbureau Zeeweringen worden zwakke dijkvakken aangepakt. Deze werkzaamheden worden in 2015 afgerond. Vervolgens worden binnen het nieuwe hoogwaterbeschermingsprogramma (nHWBP) de overige dijktrajecten opgepakt die naar voren kwamen uit de derde toetsingsronde waterkeringen. Voor de ZW Delta worden in de periode 2014-2019 drie dijktrajecten langs de zuidkust van Schouwen-Duiveland en twee dijktrajecten langs de Westerschelde aangepakt (zie Bijlage C). Het dijktraject bij het Schor van Waarde zal ook aangepakt worden. Momenteel worden plannen uitgewerkt om het voorliggende schor te betrekken bij de dijkverbetering.

### 7.1.2 *Aanbevelingen aan het Deltaprogramma Zuidwestelijke Delta*

- Gebruik van biobouwers vraagt om een lange-termijn aanpak waarbij men zich moet realiseren dat een oplossing met biobouwers zich vaak pas na langere tijd zal terug betalen. Dit strookt niet met de huidige waterveiligheidsaanpak en toetsingscycli (elke 6 jaar). De baten van biobouwers vertaalt zich niet alleen in waterveiligheid maar ook in andere ecosysteemdiensten (recreatie, natuur, landschap, waterzuivering etc.) die in een kosten-baten analyse moeten worden meegenomen. Een ontwikkelkader voor biobouwers dat is uitgewerkt in ruimte en tijd zou helpen om meer inzicht te krijgen in de mogelijkheden en om besluitvorming te ondersteunen.
- Biobouwers kunnen zich alleen vestigen door het gericht stimuleren, aanplanten of beschermen op specifieke plekken. Daarbij moet een afweging worden gemaakt tussen de mate van ingrijpen die nodig is (kosten) en het gewenste resultaat (baten). Dit vraagt kennis van de biobouwer én het systeem.

- Op dit moment is er beperkte kwantitatieve kennis beschikbaar over de bijdragen van verschillende vegetatietypen aan golfreductie, vermindering naar effecten op piping en vergroten van de macrostabiliteit van de dijk. Het kwantificeren van de bijdrage van zowel schorren, wilgen en helofyten tijdens normale en maatgevende omstandigheden zal meer inzicht verschaffen in de toepasbaarheid van deze biobouwers in de waterveiligheid.
- Specifieke aanbevelingen per biobouwer:
  - o Schorren: kunnen mogelijk als formeel onderdeel van de waterkering worden opgenomen. Daarvoor moeten in ieder geval de volgende leemtes in regelgeving en kennis worden ingevuld:
    - Opnemen in toetsinstrumentarium, waarbij ecologische kwaliteit en dynamiek meegenomen moeten worden.
    - Verbeteren van de inschattingen van meegroeivermogen van schorren met verschillende scenario's van zeespiegelstijging in een ruimtelijke context.
  - o Wilgen: voor zowel wilgen als helofyten geldt dat er nog weinig ervaring is met toepassing van deze biobouwers in relatie tot waterveiligheid. Ervaring met toepassing van wilgen in het buitenland (Anstead & Boar, 2010; Li et al., 2006) zijn vooral gericht op het verminderen van oevererosie. Deze voorbeelden laten zien dat gebruik van levend materiaal, wat zichzelf kan herstellen, een succesvolle bijdrage kan leveren in het vastleggen van de oever. De proef met de "Grienddijk" in Noordwaard zal meer kennis en inzicht opleveren in de golfdempende capaciteiten en benodigd beheer van wilgen als onderdeel van de waterkering. Met inzet van helofyten als oeververdediging is nog minder ervaring. Voor zowel wilgen als helofyten geldt dat voorbeeldprojecten en onderzoek nodig zijn om de potentie van deze biobouwers voor waterveiligheid concreet te kunnen maken.
  - o Duinvegetatie: op zandige kusten zoals de koppen van de eilanden is de betekenis groot. De laatste jaren zijn op verschillende locaties hybride concepten zoals dijk-in-duin aangelegd aan de randen van estuaria (bijvoorbeeld Westerschelde en Oosterschelde). Het succes daarvan zal de komende tijd duidelijk worden.
  - o Schelpdieren: kunnen gezien de huidige kennis en stuurbaarheid niet als formeel onderdeel van de waterkering worden opgenomen. Ze kunnen echter wel een rol spelen in het behoud van slikken en voorlanden. Vanwege het beperkte voorkomen van mosselbanken en de beperkte kennis over gerichte toepassing, is de betekenis van mosselbanken in de ZW Delta voor waterveiligheid nog onzeker. Dit moet nader worden onderzocht. Riffen van Japanse oesters lijken echter wel een duidelijke potentie te vertegenwoordigen. Het is van belang dat experimenten met de aanleg en inzet van oesterriffen (als onderdeel van kleinschalige pilots, dijkconcepten en in relatie tot schorontwikkeling) goed gemonitord en geëvalueerd worden, en dat daarbij ook aandacht wordt besteed aan de opschaalbaarheid.
  - o Het toelaten van meer estuariene dynamiek in de Zuidwestelijke Delta is ook van invloed op de mogelijkheden van biobouwers. Bijvoorbeeld de introductie van volwaardig getij en daarmee transport van sediment naar de oevers zorgt ervoor dat biobouwers mee kunnen "bouwen" aan de kust. Dit geldt voornamelijk schorvegetatie, zoetwatervegetatie maar mogelijk ook schelpdierbanken. Daarnaast zorgt het introduceren van zout in zoete systemen voor een omslag naar een ander systeemtype. De met zoetwater begroeide oevers zullen ontwikkelen tot kaal slik met zilte pionier begroeiing.

## **8 Dankwoord**

Deze studie was mogelijk door BO financiering door het Ministerie van Economische Zaken. Graag bedanken we alle aanwezigen op de expertsessie van 24 oktober 2013 voor hun komst en vooral hun bijdragen. Deze bijdragen maken immers een belangrijk onderdeel uit van de bevindingen in dit rapport. Verder willen we graag Hans van Engen van Dienst Landelijk Gebied hartelijk danken voor zijn bijdragen aan de workshop en het visualiseren van de resultaten in kaartbeeld. Bij het opstellen van de teksten in deze rapportage heeft afstemming plaatsgevonden met het BO Deltaprogramma Wadden onderzoek naar biobouwers. Daarbij is gebruik gemaakt van delen uit De Groot et al. (2013a, in prep), met daarin bijdragen van Albert Oost, Bert Brinkman, Frouke Fey en Christiaan van Sluis.

## **9 Kwaliteitsborging**

IMARES beschikt over een ISO 9001:2008 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem (certificaatnummer: 124296-2012-AQ-NLD-RvA). Dit certificaat is geldig tot 15 december 2015. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV Certification B.V.

## Referenties

- Allen, J.R.L., 2000. Morphodynamics of Holocene salt marshes: a review sketch from the Atlantic and Southern North Sea coasts of Europe. *Quaternary Science Reviews* 19, 1155-1231.
- Anstead, L. & R. R. Boar (2010). "Willow spiling: review of streambank stabilisation projects in the UK." *Freshwater Reviews* 3(1).
- Arens, S.M., Van Puijvelde, S.P., Brière, C., 2010. Effecten van suppleties op duinontwikkeling; rapportage geomorfologie. Directie Kennis en Innovatie, Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie, Den Haag.
- Armonies, W., Reise, K., 1998. On the population development of the introduced razor clam *Ensis americanus* near the island of Sylt (North Sea). *Helgolander Meeresuntersuchungen*, 52(3-4): 291-300,
- Bakker, J.P., 1976. Phytogeographical aspects of the vegetation of the outer dunes in the Atlantic province of Europe. *Journal of Biogeography* 3, 85-104.
- Bochev-van der Burgh, L.M., 2012. Decadal-scale morphologic variability of foredunes subject to human interventions. University of Twente, Enschede, p. 137.
- Borsje, B. W., B. K. Van Wesenbeeck, F. Dekker, P. Paalvast, T. J. Bouwma, M. M. Van Katwijk & M. B. De Vries (2011). "How ecological engineering can serve in coastal protection." *Ecological Engineering* 37: 122.
- Bos, A. R., T. J. Bouma, G. L. J. de Kort & M. M. van Katwijk (2007). "Ecosystem engineering by annual intertidal seagrass beds: Sediment accretion and modification." *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 74(1-2): 344-348.
- Bouma, T. J., M. B. De Vries, E. Low, G. Peralta, I. C. Tánčzos, J. Van de Koppel & P. M. J. Herman (2005). "Trade-offs related to ecosystem -engineering: a case study on stiffness of emerging macrophytes." *Ecology* 86: 2187-2199.
- Bouma, T. J., M. Friedrichs, B. Van Weesenbeeck, F. G. Brun, S. Temmerman, M. B. De Vries, G. Graf & P. M. J. Herman (2008). "Plant growth strategies directly affect biogeomorphology of estuaries." *River, Coastal and Estuarine Morphodynamics* 1-2: 285-292.
- Byers, J. E., K. Cuddington, C. G. Jones, T. S. Talley, A. Hastings, J. G. Lambrinos, J. A. Crooks & W. G. Wilson (2006). "Using ecosystem engineers to restore ecological systems." *Trends in Ecological Evolution* 21: 493-500.
- Carter, R.W.G., 1980. Vegetation stabilisation and slope failure of eroding sand dunes. *Biological Conservation* 18, 117-122.
- Chang, E.R., 2006. The role of dispersal constraints in the assembly of salt-marsh communities. University of Groningen, Groningen.
- Coops, H., E. F. M. Geilen & G. Van der Velde (1999). "Helophyte zonation in two regulated estuarine arias in the Netherlands: vegetation analysis and relationships with hydrological factors." *Estuaries* 22(3a): 657-668.
- Coops, H., N. Geilen & G. Van der Velde (1994). "Distribution and growth of the helophyte species *Phragmites australis* and *Scirpus lacustris* in water depth gradients in relation to wave exposure." *Aquatic Botany* 48: 273-284.
- Dausse, A., Merot, P., Bouzille, J.B., Bonis, A., Lefeuvre, J.C., 2005. Variability of nutrient and particulate matter fluxes between the sea and a polder after partial tidal restoration, Northwestern France. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 64, 295-306.
- De Deckere, E., 2003. Faunal influence on sediment stability in intertidal mudflats. PhD Thesis, University of Groningen, Groningen.
- De Groot, A.V., Brinkman, A.G., Van Sluis, C.J., Fey, F.E., Oost, A.P., Dijkman, E.M., 2013a, in prep.. Biobouwers als onderdeel van een kansrijke waterveiligheidsstrategie voor Deltaprogramma Waddengebied. IMARES Wageningen UR, IJmuiden, p. 81.
- De Groot, A.V., van Wesenbeeck, B.K., Van Loon-Steensma, J.M., 2013b. Stuurbaarheid van kwelders. Rapport / IMARES Wageningen UR C004/13. IMARES Wageningen UR, IMARES report C004/13, IJmuiden etc., p. 49.
- De Leeuw, J., De Munck, W., Oloff, H., Bakker, J.P., 1993. Does Zonation Reflect the Succession of Salt-Marsh Vegetation - A Comparison of An Estuarine and A Coastal Bar Island Marsh in the Netherlands. *Acta Botanica Neerlandica* 42, 435-445.

- De Vries, M. & F. Dekker (2009). Optwerp groene golfremmende dijk. Fort Steurgat bij Werkendam. Verkennende studie. Delft, Deltares.
- De Vries, M. B., T. J. Bouma, M. M. van Katwijk, B. W. Borsje & B. van Wesenbeeck (2007). "Biobouwers van de kust. Rapport haalbaarheidstudie."
- Deltaprogramma Zuidwestelijke Delta (2013 in voorbereiding). Op weg naar kansrijke strategieën. Rapportage voor het Deltaprogramma 2014. Concept 1.0 voor regionale consultatie 14 januari 2013. Middelburg.
- Duel, H. & B. Specken (1994). Standplaatsmodel Wilgen-populierenbos: een model voor het analyseren van de standplaatskwaliteit van rivieroeveren voor wilgen-populierenbossen (*Salicion alba*). , RIZA.
- Esselink, P., Petersen, J., Arens, S., Bakker, J.P., Bunje, J., Dijkema, K.S., Hecker, N., Hellwig, U., Jensen, A.-V., Kers, A.S., Körber, P., Lammerts, E.J., Stock, M., Veeneklaas, R.M., Vreeken, M., Wolters, M., 2009. Salt Marshes. In: Marencic, H., De Vlas, J. (Eds.), Quality Status Report 2009. Common Wadden Sea Secretariat (CWSS), Wilhelmshaven, Germany; Trilateral Monitoring and Assessment Group (TMAG), Wilhelmshaven, p. 54.
- Everard, M., Jones, L., Watts, B., 2010. Have we neglected the societal importance of sand dunes? An ecosystem services perspective. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 20, 476-487.
- 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.
- Friedrichs, C.T., Perry, J.E., 2001. Tidal salt marsh morphodynamics: a synthesis. *Journal of Coastal Research SI*, No. 27, 7-37.
- Gacia, E., C. M. Duarte, N. Marba, J. Terrados, H. Kennedy, M. D. Fortes & N. H. Tri (2003). "Sediment deposition and production in SE-Asia seagrass meadows." *Estuarine Coastal and Shelf Science* 56: 909-919.
- 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.
- Grontmij, 2007. MER Gebiedsontwikkeling Perkpolder. Eindhoven. 193311. P219.
- Hastings, A., J. E. Byers, J. A. Crooks, K. Cuddington, C. G. Jones, J. G. Lambrinos, T. S. Talley & W. G. Wilson (2007). "Ecosystem engineering in space and time." *Ecology Letters* 10: 153-164.
- Hoogwaterbeschermingsprogramma (2013). Projectboek 2014, de waterschappen en Rijkswaterstaat gaan van start. P.83Verantwoording
- Huiskes, A.H.L., Koutstaal, B.P., Herman, P.M.J., Beeftink, W.G., Markusse, M.M., Munck, W.D., 1995. Seed Dispersal of Halophytes in Tidal Salt Marshes. *Journal of Ecology* 83, 559-567.
- Jones, C. G., J. H. Lawton & M. Shachak (1994). "Organisms as Ecosystem Engineers." *Oikos* 69(3): 373-386.
- Jones, C. G., J. H. Lawton & M. Shachak (1997). "POSITIVE AND NEGATIVE EFFECTS OF ORGANISMS AS PHYSICAL ECOSYSTEM ENGINEERS." *Ecology* 78(7): 1946-1957.
- Li, X., L. Zhang & Z. Zhang (2006). "Soil bioengineering and the ecological restoration of riverbanks at the Airport Town, Shanghai." *China Ecological Engineering* 26(3): 304-314.
- Koch, E.W., Barbier, E.B., Silliman, B.R., Reed, D.J., Perillo, G.M.E., Hacker, S.D., Granek, E.F., Primavera, J.H., Muthiga, N., Polasky, S., Halpern, B.S., Kennedy, C.J., Kappel, C.V., Wolanski, E., 2009. Non-linearity in ecosystem services: temporal and spatial variability in coastal protection. *Front. Ecol. Environ.* 7, 29-37.
- Markert, A., A. Wehrmann & I. Kröncke (2009). "Recently established *Crassostrea*-reefs versus native *Mytilus*-beds: differences in ecosystem engineering affects the macrofaunal communities (Wadden Sea of Lower Saxony southern German Bight)." Biological Invasions.
- Maun, M.A., 2009. The biology of coastal sand dunes. Oxford University Press, Oxford [etc.].
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2000. Traditie, trends en toekomst : 3e kustnota. [Rijkswaterstaat], [S.l.].
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2010). Programmadirectie Ruimte voor de Rivier: Toelichting Rijksinpassingsplan ontpoldering Noordwaard.
- Mitsch, W.J., (1994). Global wetlands: old world and new. Elsevier, Amsterdam.
- Möller, I., (2006). Quantifying saltmarsh vegetation and its effect on wave height dissipation: Results from a UK East coast saltmarsh. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 69, 337-351.
- Möller, I., Spencer, T. (2002). Wave dissipation over macro-tidal saltmarshes: Effects of marsh edge typology and vegetation change. *Journal of Coastal Research SI* 36, 506-521.

- Möller, I. I., J. Mantilla-Contereras, T. Spencer & A. Hayes (2011). "Micro-tidal coastal reed beds: Hydro-morphological insights and observations on wave transformation from the southern Baltic Sea." *Estuarine Coastal and Shelf Science* 92: 424-436.
- Möller, I. I., T. Spencer, J. R. French, D. J. Leggett & M. Dixon (2001). "The sea defence value of salt marshes: field evidence from north Norfolk." *Water and Environmental Management* 15(2): 109-116.
- Nanninga, T. A. (2011). Helophyte filters: Sense or Non-Sense? A study on experiences with helophyte filters treating grey wastewater in the Netherlands. MSc Thesis Wageningen Universiteit. P220.
- Norling, P. & N. Kautsky (2007). "Structural and functional effects of *Mytilus edulis* on diversity of associated species and ecosystem functioning." *Marine Ecology Progress Series* 351(163-175).
- Powers, S., C. Peterson, J. Grabowski & H. Lenihan (2009). "Success of constructed oyster reefs in no-harvest sanctuaries: implications for restoration." *Marine Ecology Progress Series* 389: 159-170.
- Peters, B., G. Geerling & A. Smits (2002). Successie van natuurlijke uiterwaardlandschappen. Werkdocument in het kader van het onderzoek "Cyclische verjonging van uiterwaarden" op basis van empirische kennis. Berg en Dal, Bureau Drif en Radboud Universiteit Nijmegen.
- Reise, K. (2002). "Sediment mediated species interactions in coastal waters." *Journal of Sea Research* 48(2): 127-141.
- Storm, K., 1999. Slinkend onland : over de omvang van Zeeuwse schorren; ontwikkelingen, oorzaken en mogelijke beheersmaatregelen. Rijkswaterstaat Zeeland, Middelburg.
- STOWA (2011). Handreiking Natuurvriendelijke Oevers, een standplaatsbenadering. Amersfoort, STOWA.
- Tangelder, M., A. Groot, C. Van Sluis, J. Van Loon-Steensma, G. Van Meurs, H. Schelfhout, T. Ysebaert, J. Luttik, Ellen, G. & N. Eernink (2013). Innovatieve dijkconcepten in de Zuidwestelijke Delta. Kansen voor toepassing en meerwaarde ten opzichte van traditionele dijken in het kader van Beleidsondersteuning voor het Deltaprogramma Zuidwestelijke Delta. Yerseke, IMARES.
- Tangelder, M. & T. Ysebaert (2012). Alternatieve waterkeringen: een verkenning naar nieuwe concepten voor kustverdediging in het kader van Beleid Ondersteuning Programmabureau Zuidwestelijke Delta. Yerseke, IMARES Wageningen UR: 51.
- Temmerman, S., Bouma, T.J., Van de Koppel, J., Van der Wal, D.D., De Vries, M.B., Herman, P.M.J., 2007. Vegetation causes channel erosion in a tidal landscape. *Geology* 35, 631-634.
- Temmerman, S., Govers, G., Meire, P., Wartel, S., 2003. Modelling long-term tidal marsh growth under changing tidal conditions and suspended sediment concentrations, Scheldt estuary, Belgium. *Marine Geology* 193, 151-169.
- Van de Koppel, J., Van der Wal, D., Bakker, J.P., Herman, P.M.J., 2005. Self-organization and vegetation collapse in salt marsh ecosystems. *The American Naturalist* 165, E1-E12.
- Van der Molen, D. T., H. P. A. Aarts, J. J. G. M. Backx, E. F. M. Geilen & M. Platteeuw (2000). RWES aquatisch. Lelystad, RIZA: 114.
- Van der Putten, W.H., 1990. Establishment of *Ammophila arenaria* (marram grass) from culms, seeds and rhizomes. *Journal of Applied Ecology* 27, 188-199.
- Van der Wal, D., Wielemaker-Van den Dool, A., Herman, P.M.J., 2008. Spatial patterns, rates and mechanisms of saltmarsh cycles (Westererschelde, The Netherlands). *Estuarine Coastal and Shelf Science* 76, 357-368.
- Van Dieren, J.W., 1934. Organogene Dünenbildung; Eine Geomorphologische Analyse der Dünenlandschaft der West-Friesischen Insel Terschelling mit pflanzensoziologischen Methoden. Universiteit van Amsterdam, 's-Gravenhage, p. 304.
- Van Haperen, A.M.M., 2009. Een wereld van verschil : landschap en plantengroei van de duinen op de Zeeuwse en Zuid-Hollandse Eilanden. Wageningen University, Wageningen, p. 273.
- Van Loon-Steensma, J.M., Meeuwssen, H.A.M., Groot, A.V., van Duin, W.E., van Wesenbeeck, B.K., Smale, A.J., Wegman, R.M.A., 2012. Zoekkaart kwelders en waterveiligheid Waddengebied: een verkenning naar locaties in het Waddengebied waar bestaande kwelders of kwelderontwikkeling mogelijk kunnen bijdragen aan waterveiligheid. Alterra Wageningen UR, Wageningen.
- Van Loon-Steensma, J. & H. Schelfhout (2012). Pilotstudie Innovatieve dijken Lauwersoog. Wageningen, Wageningen UR & Deltares: 59.
- Van Loon-Steensma, J., H. Schelfhout, N. M. L. Eernink & M. P. C. P. Paulissen (2012). Verkenning innovatieve dijken in het Waddengebied: een verkenning naar mogelijkheden voor innovatieve dijken in het Waddengebied. Wageningen, Alterra.

- Van Weesenbeeck, B., J. Van de Koppel, P. M. J. Herman, J. P. Bakker & T. J. Bouma (2007). "Biomechanical warfare in ecology; negative interactions between species by habitat modification." *Oikos* 116(5): 742-750.
- Visser, C. A., L. A. Adriaanse & P. F. Lindenberg (1983). Advies oeververdedigingen Korendijkse Slikken. Middelburg, Rijkswaterstaat Deltadienst: 43.
- Vreugdenhil, S. J., K. Kramer & T. Pelsma (2006). "Effects of flooding duration, -frequency and -depth on the presence of saplings of six woody species in north-west Europe." *Forest Ecology and Management* 236(1): 47-55.
- Vulink, T., M. Tosserams, J. Daling, H. Van Manen & M. Zijlstra (2010). "Begrazing door Grauwe ganzen is een bepalende factor voor ontwikkeling van oevervegetatie in Nederlandse wetlands." *De Levende Natuur* 111(1).
- Widdows, J. & M. Brinsley (2002). "Impact of biotic and abiotic processes on sediment dynamics and the consequences to the structure and functioning of the intertidal zone." *Journal of Sea Research* 48(2): 143-156.
- Witbaard, R., Kamermans, P., 2010. De bruikbaarheid van de klepstandmonitor op *Ensis directus* ten behoeve van de monitoring van aan zandwinning gerelateerde effecten., NOZ, den Burg Texel.
- Wolters, H.E., 2006. Restoration of salt marshes. University of Groningen, Groningen.
- Yang, S.L., Shi, B.W., Bouma, T.J., Ysebaert, T., Luo, X.X., 2012. Wave Attenuation at a Salt Marsh Margin: A Case Study of an Exposed Coast on the Yangtze Estuary. *Estuaries and Coasts* 35, 169-182.
- Yapp, R.H., Johns, D., Jones, O.T., 1917. The salt marshes of the Dovey Estuary. Part II. The salt marshes. *Journal of Ecology* 5, 65-103.
- Ysebaert, T.J.M., Van Dalen, J., IJzerloo, L., Tangelder, M. (2013). Proef schorherstel: Tussentijds verslag betreffende Fase 1: Kweek Spartina op Aqua-Flora kokosmatten. IMARES Wageningen UR. Yerseke. P14.
- Zonneveld, I. S. (1960). De Brabantse Biesbosch: een studie van bodem en vegetatie van een zoetwatergetijdengebied.

## Verantwoording

Rapportnummer: C198/13

Projectnummer: 4308301024

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

Akkoord: Dr. Frouke Fey-Hofstede  
Ecologisch onderzoeker

Handtekening:



Datum: 10 december 2013

Akkoord: Dr. Birgit Dauwe  
Afdelingshoofd Delta

Handtekening:

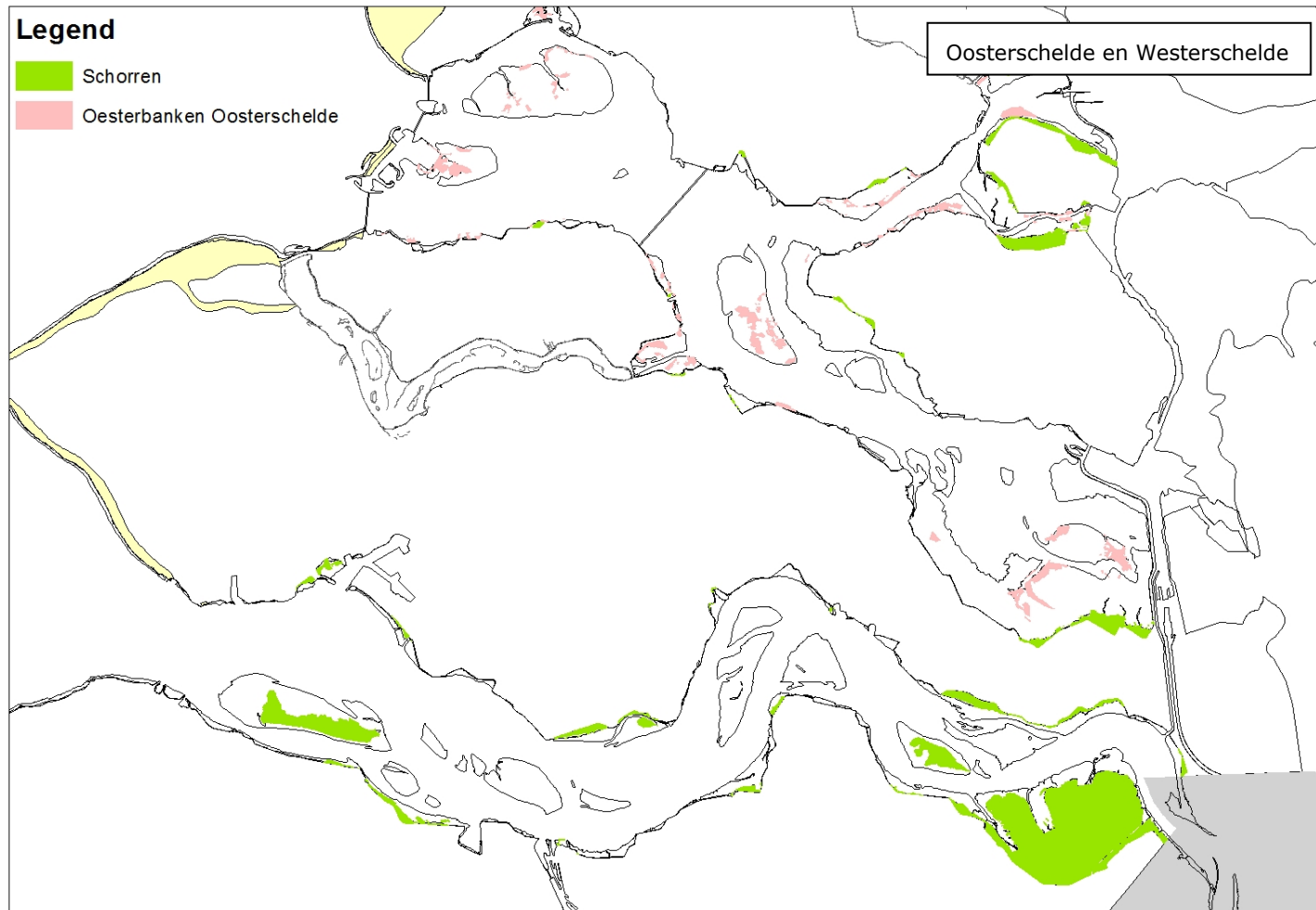


Datum: 10 december 2013

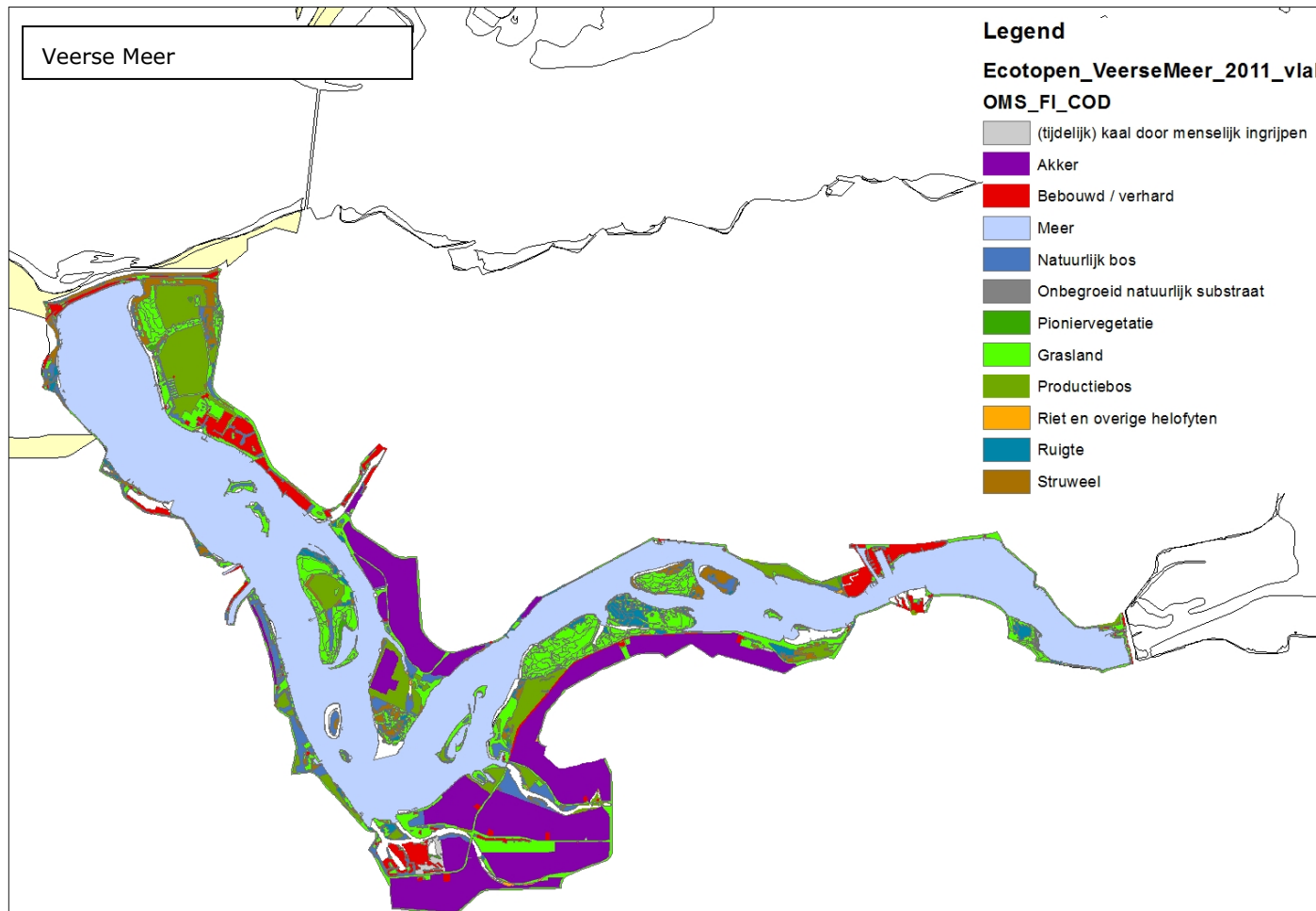


## Bijlage A. Detail informatie bekken

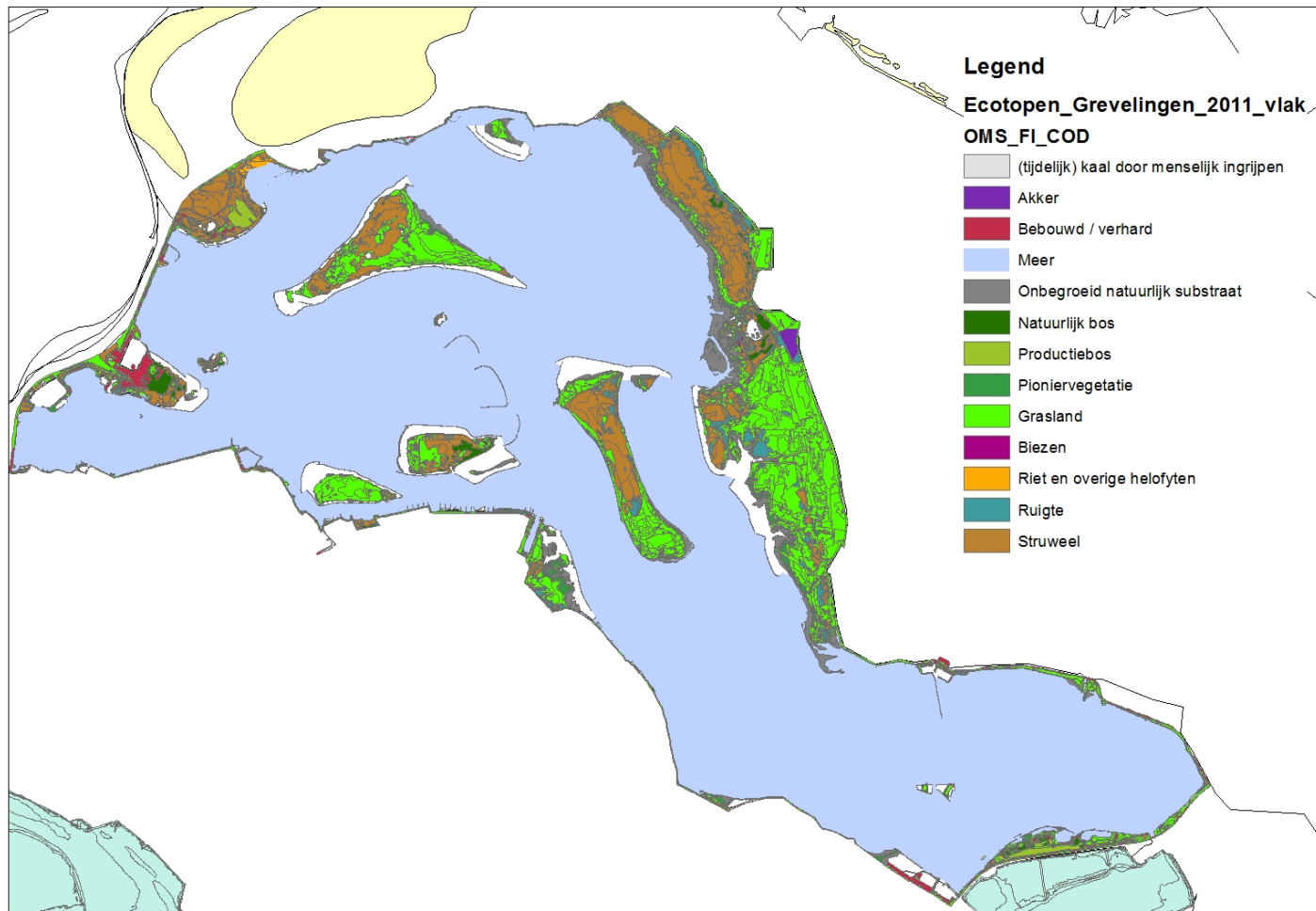
Oosterschelde en Westerschelde: huidige voorkomen van schorren oesterbanken (bron: IMARES)



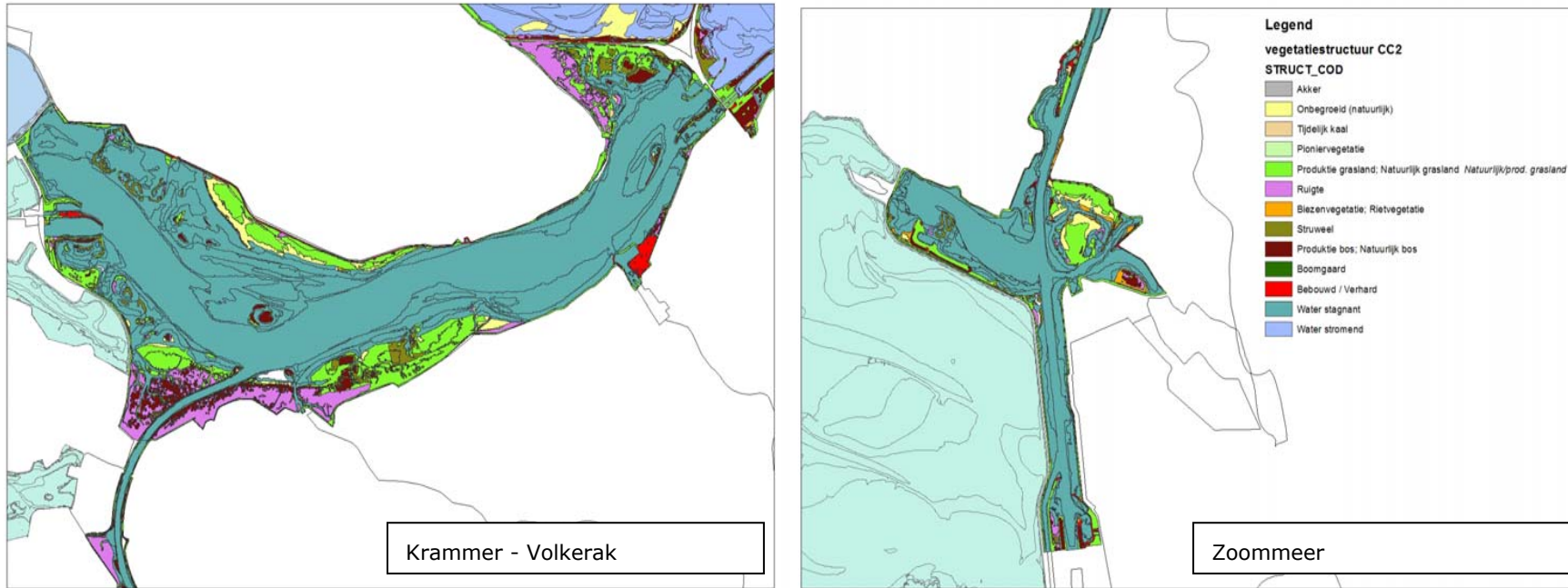
Veerse Meer: ecotopenkaart (bron: Rijkswaterstaat).



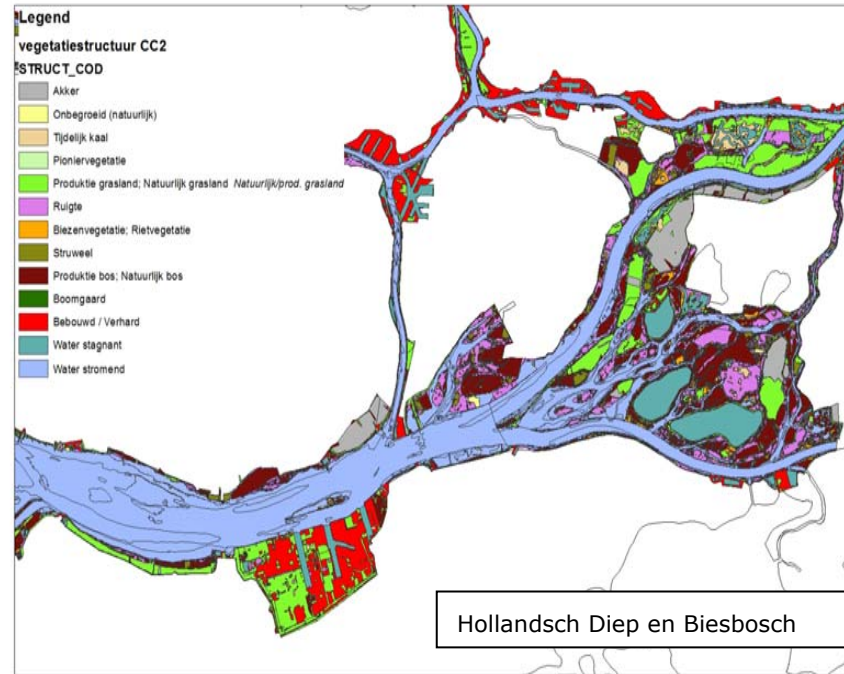
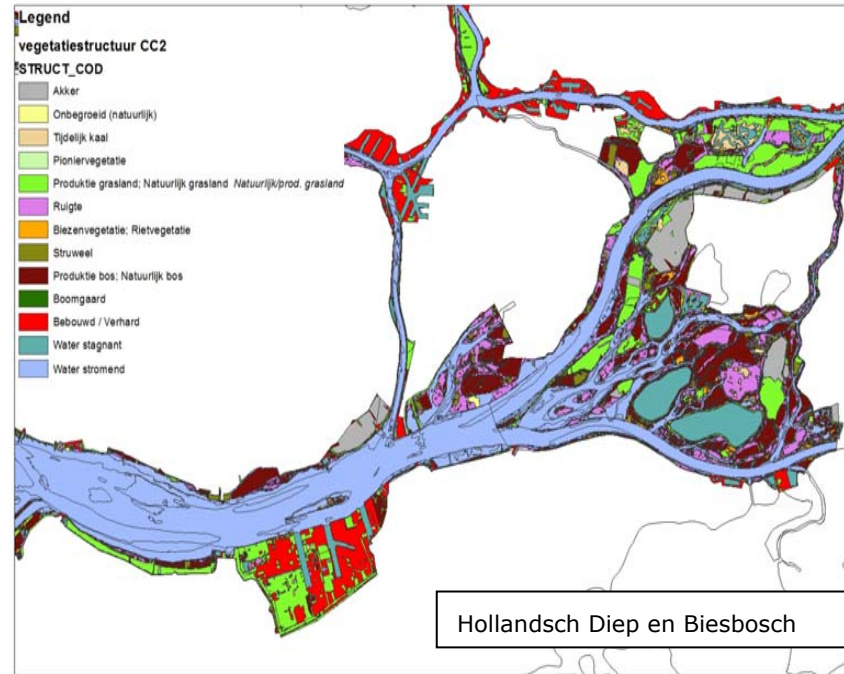
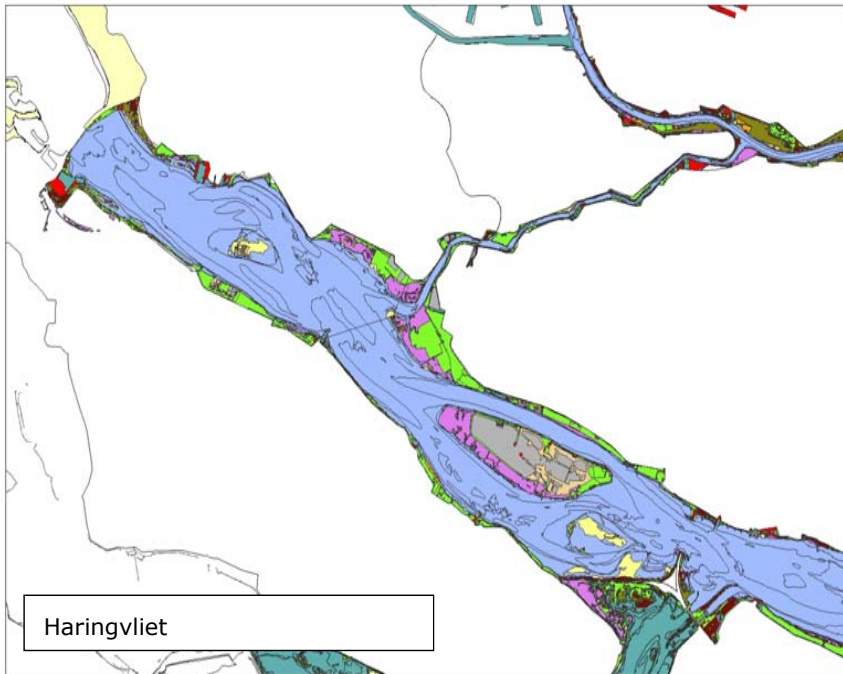
Grevelingenmeer: ecotopenkaart (bron: Rijkswaterstaat).



Krammer-Volkerak en Zoommeer: ecotopenkaart (bron: Rijkswaterstaat).



Haringvliet en Hollandsch Diep/Biesbosch: ecotopenkaart (bron: Rijkswaterstaat).



## **Bijlage B. Verslag expertsessie biobouwers 24 oktober 2013**

AAN

Deelnemers expertsessie

VAN

Marijn Tangelder

**Verslag expertsessie:**

**“Biobouwers in de Zuidwestelijke Delta”**

**Op donderdag 24 oktober 2013 heeft een expertsessie over biobouwers in de Zuidwestelijke Delta (ZW Delta) plaatsgevonden in de Werkplaats van het Programmabureau Zuidwestelijke Delta te Goes. Doel van deze expertsessie was om de toepassingsmogelijkheden van biobouwers als aanvulling op de dijken in de ZW Delta te verkennen. Dit verslag geeft een beknopt overzicht van de uitkomsten die per bekken worden besproken. Ook wordt een mogelijke toekomstige situatie besproken met gedempt getij op het Grevelingenmeer en Volkerak-Zoommeer.**

Aanwezigen:

Peter Meininger	Projectbureau Zeeweringen \ Rijkswaterstaat Zee en Delta
Dick de Jong	Rijkswaterstaat Zee en Delta
Theo Vulink	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Tjeerd Bouma	NIOZ
Mindert de Vries	Hogeschool Zeeland / Deltares
Stijn Koole	Bosch Slabbers
Loes de Jong	Deltaprogramma Zuidwestelijke Delta
Erik Jan van der Meer	Deltaprogramma Zuidwestelijke Delta
Hans van Engen	Dienst Landelijk Gebied
Tom Ysebaert	IMARES Wageningen UR
Alma de Groot	IMARES Wageningen UR
Marijn Tangelder	IMARES Wageningen UR (Verslag)

## *Westerschelde*

### **Schorren**

Schorren ontwikkelen zich nadat pioniervegetatie zich heeft gevestigd. De vegetatie vangt sediment in waardoor het schor geleidelijk ophooft en uitgroeit. Aan de zeekant zorgt erosie als gevolg van golfslag voor klifvorming waardoor (een deel van) het schor erodeert. De cyclus is rond als zich hierna weer pioniervegetatie vestigt voor het schor, waardoor opnieuw schorontwikkeling optreedt. Schorren en slikken kunnen niet los van elkaar gezien worden. Schorren zijn afhankelijk van een (breed) slik om te kunnen ontwikkelen. Op delen waar het slik smal is en de geul dichtbij de dijk ligt zal zich geen schorvegetatie kunnen vestigen.

De schorren in de Westerschelde zijn allemaal ongeveer even oud doordat ze in de jaren 30 van de vorige eeuw op grote schaal zijn aangeplant met Engels Slijkgras (*Spartina anglica*). De schorren in de Westerschelde zijn verouderd. Ook staan ze onder druk door de ruimtegebrek in het bekken. Dit heeft te maken met de inpolderingen van de afgelopen eeuw(en) en het baggerbeleid. Een nieuwe ontwikkeling is dat door deze onbalans de platen geleidelijk ophogen en daar pioniervegetatie aan het ontstaan is. Dit gaat overigens ten koste van de onbegroeide delen die foerageergebieden zijn voor steltlopers. Daarnaast is de Westerschelde zeer dynamisch door de “trompetvorm” en de manier waarop het getij naar binnen komt en samen wordt gedrukt. De schorranden langs de randen van het bekken zijn onderwerp van erosie. Vrijwel alle schorren eroderen, maar niet altijd over de hele lengte van de schorrand. Bij het Schor van Waarde zijn twee strekdammen aangelegd om het schor te behouden en

om de restanten van het verdrongen dorp "Valkenisse" te beschermen. Er vindt tot op heden geen schorherstel plaats maar het voorliggende slik is enorm opgeslibd en de golfaanval op het schor is sterk gereduceerd. Bij het Zuidgors (Ellewoutsdijk) is het slik sterk verbreed en omhoog gekomen waardoor in het oosten wel weer aangroei optreedt. In de Waddenzee zijn de vastelandskwelders kunnen ontstaan door de aanleg van kwelderwerken. Hier is men er wel in geslaagd om schorren te laten ontstaan en te behouden, maar dit heeft wel geleid tot het verstarren van de schordynamiek en verminderen van de biologische variatie.

Door het ruimtegebrek en de hoge dynamiek is het ontwikkelen van nieuwe schorren binnen het Westerscheldebekken moeilijk. De focus zou dan vooral moeten liggen op behoud en eventueel uitbreiden van bestaande schorren (bv. door een klifrand suppletie met klei). Op sommige plekken komen veenbanken voor waardoor schorontwikkeling niet mogelijk is. Op een aantal plekken (drie plekken aangegeven op de kaart) bestaan nog mogelijkheden om het slik op te hogen en uit te breiden m.b.v. dammetjes. Aanleg van harde structuren die de Westerschelde nog verder vernauwen zijn echter niet wenselijk. De ophoging van het slik bij het Schor van Waarde is mogelijk ver genoeg om schorontwikkeling mogelijk te maken. (Dit proces heeft tijd nodig. Je zou het kunnen versnellen door het aanplanten van Engels Slijkgras (evt. voorgegroeid in matten). Ook is de inzet van baggermateriaal een interessante stuurknop. Door gericht slikken op te hogen en breder te maken kun je omstandigheden voor schorontwikkeling geschikt maken. Er is steeds meer ervaring met stortbeleid. De vraag is hoe snel je schorontwikkeling kan versnellen door ophogen van het slik, mogelijk 10 jaar? Daarbij moet wel de afweging gemaakt worden dat waardevol slikgebied verloren gaat ten koste van schorontwikkeling. Het uitdijken van binnendijks gebied, zoals dit gaat gebeuren bij de Hedwigepolder en bij Perkpolder, biedt een goede mogelijkheid om nieuw schor te laten ontstaan (je zou dit zelfs kunnen zien als een begin van wisselpolders). Dit is buiten de scope van het nieuwe Hoogwater Beschermings Programma (nHWBP). Met de inrichting van de open polder (hoogteligging, geulpatronen) en de grootte/vorm van de dijkopening kun je sturen in opslibselnelheid: snel of langzaam. Het water van de Westerschelde heeft een relatief hoge sliplading wat gunstig is voor schorontwikkeling.

### ***Schelpdierriffen***

De Japanse Oester rukt op in de Westerschelde. De riffen komen nu ook al voor bij het Verdrongen Land van Saefthinghe. Riffen van oesters zijn niet opgewassen tegen te sterke stroming en golfslag van schepen in de Westerschelde. De omstandigheden zijn vaak te ruig om deze riffen in te zetten tegen erosie van slikken.

In de Westerschelde komt op slechts één plek nabij de Hooge Platen een natuurlijke mosselbank voor. Kansen op verdere uitbreiding lijken zeer beperkt.

### ***Overig***

Richting de Belgische grens wordt het water van de Westerschelde brakker en zou ook gedacht kunnen worden aan het benutten van brakwatervegetatie (Zeebies associaties). Het schor nabij Rilland-Bath bestaat uit een goed ontwikkeld schor met rietvegetatie, evenals langs de Hedwigepolder en in het Sieperdaschor. Bij de schorren van Waarde en Bath vind je Zeebies vegetaties naast rietvelden.

## ***Oosterschelde***

### ***Schorren***

De Oosterschelde is, vergeleken met de Westerschelde, een minder dynamisch bekken (i.p.v. een trompetvorm een "kralensnoer" van brede en smalle deelgebieden). De schorren in de Oosterschelde staan echter onder druk als gevolg van de erosie door zandhonger. Ook wordt er door de aanwezigheid van de stormvloedkering te weinig sediment vanaf de Noordzee aangevoerd om de schorren voldoende te voeden met sediment. Daardoor kunnen de schorren in de Oosterschelde de zeespiegelstijging



waarschijnlijk net niet bijhouden.

De mogelijkheden voor schorren in de Oosterschelde liggen daarom vooral bij het behoud van de bestaande schorren. Men kan denken aan een kleisuppletie tegen de rand en het aanplanten van Engels Slijkgras om het hoge slik te behouden.

### **Schelpdierriffen**

De Japanse oester is sterk uitgebreid in de Oosterschelde. Een oesterbank is veel persistenter dan een mosselbank omdat de schelpen aan elkaar vastgroeien. Oesterriffen kunnen een rol spelen in behoud van het slik en het verminderen van erosie. Ze liggen relatief laag in het intergetijdengebied en vormen daarmee de onderste "bouwsteen" op de voorlanden voor de dijken. Een aandachtspunt is de draagkracht van de Oosterschelde voor schelpdieren. Als er te veel oesterriffen worden aangelegd dan ontstaat voedselconcurrentie met kweekschelpen. Op het niveau van één rif is dit effect echter marginaal. Je kunt Oesterriffen aanleggen, zoals nu ook gebeurt met experimenten die uitgevoerd worden op de Slikken van Viane met riffen van dode schelpen in schanskorven die op het slik geplaatst worden. In het kader van de uitvoering van de Veiligheidsbuffer Oesterdam wordt ongeveer 500-600 meter oesterrif aangelegd van 8 meter breed om te zien of hiermee het rondom gesuppleerde zand (500.000m<sup>3</sup>) langer op de plaat kan worden gehouden. Deze experimenten vormen een leertraject voor toepassing van oesterriffen.

Mosselen hechten zich vast met byssusdraden en kunnen banken vormen op de bodem. In de Oosterschelde komen geen natuurlijke banken meer voor, wel in de vorm van kweekpercelen. In de Waddenzee hechten mosselen zich ook op oesterbanken en ontstaan gemengde banken), maar in de Oosterschelde is hier geen sprake van. Mosselen hebben vestigingssubstraat nodig op de juiste diepte. De mosselzaadinvanginstallaties (MZI's) (drijvende constructies waarmee mosselzaad wordt ingevangen) kunnen een effect hebben op remming van stroming. Ze worden echter verwijderd zodra het stormseizoen begint, maar het zou interessant zijn om te bekijken wat er gebeurt als je ze laat liggen.

### **Overig**

In de Oosterschelde komt ook Klein zee gras voor, maar dit is geen interessante biobouwer. Deze soort overwintert ondergronds met rhizomen. Het heeft daarmee enig effect op het vasthouden van de bodem; maar omdat die rhizomen veel door rotganzen worden gegeten is het sedimentvasthoudend effect beperkt. Daarnaast komt het eigenlijk alleen voor op plekken waar de bodem van nature al stevig is en weinig erosie optreedt. Ook heeft het een beperkte invloed op golfreductie. In de tropen is zee gras wel interessant als biobouwer. Hier vormen ze dichtbegroeide velden met ontwikkelde wortelstelsels die het sediment vasthouden.

Riet en biezengras komen niet voor in de Oosterschelde, daarvoor is het water te zout.

### ***Veerse Meer***

In het Veerse Meer speelt geen veiligheidsvraag of problemen met erosie of robuustheid van dijken. Ongeveer 90% van de oevers is beschermd met oeververdediging. Op de oevers van de eilanden en vooroevers komt op sommige plekken veelvuldig riet voor. De aanwezigheid van een brede zoetwaterbel zorgt ervoor dat riet tot ver in het zoute water kunnen groeien.

### ***Grevelingenmeer***

De oevers van het Grevelingenmeer zijn grotendeels verdedigd. Ook speelt er voor de huidige situatie geen urgente veiligheidsvraag m.b.t. de dijken. De huidige mogelijkheden voor biobouwers zijn hier ook zeer beperkt. Gedacht kan worden aan oesterriffen. Door afwezigheid van getij zal geen schorontwikkeling mogelijk zijn. Daarnaast is het water te zout voor grootschalige rietontwikkeling. Riet staat wel lokaal langs oevers van eilanden.

### *Volkerak-Zoommeer*

Het Volkerak-Zoommeer kent relatief steile oevers waardoor de mogelijkheden voor inzet van biobouwers beperkt zijn. De archipel die is aangelegd in het Krammer-Volkerak is bedoeld als een natuurlijke oeververdediging en als paaiplaats voor vissen. De Hellegatplaten staan onder invloed van golfwerking. Het ontwikkelen van rietvegetatie is mogelijk interessant. Er is een proef uitgevoerd met het ontwikkelen van riet door middel van aanplanten. Deze vegetatie is echter door overbegrazing van ganzen niet tot ontwikkeling kunnen komen. Aangezien ganzenpopulaties sindsdien alleen maar zijn toegenomen, ook in de zomer, is aanplant van riet vrijwel kansloos. Vraat en peilbeheer zijn belangrijke factoren voor ontwikkeling van helofyten.

### *Markiezaat en Binnenschelde*

Het Markiezaat is een stagnant, verzoetend brak watersysteem. Er spelen hier geen urgente veiligheidsvraagstukken. Mogelijk dat deze in de toekomst wel ontstaan en dat inzet van biobouwers kan helpen om deze problemen te vertragen.

### *Haringvliet, Hollandsch Diep en Biesbosch*

Het Haringvliet, het Hollandsch Diep en de Biesbosch zijn vergelijkbare en met elkaar verbonden systemen. De mogelijkheden voor inzet van biobouwers zijn dan ook van soortgelijke aard. De getijslag op deze bekkens varieert tussen de 30 en 70 cm. Mogelijk dat er meer dynamiek en getij optreedt bij inwerking stellen van het Kierbesluit (ca. 2016). Langs de oevers van de Dordtse Kil en het Spui vindt ernstige erosie plaats doordat het getij vanuit het Noorden via deze relatief smalle wateren naar het Haringvliet en Hollandsch Diep stroomt wat voor zeer hoge stroomsnelheden zorgt. Inzet van biobouwers is geen mogelijkheid om dit probleem op te lossen. De mogelijkheden moeten daarom vooral gezocht worden op de brede oevers waar de geulen niet dicht tegen de dijk liggen. Het Haringvliet heeft oevers met hoofdzakelijk grasgorzen die worden beheerd door maaien en begrazing. Als je dit niet doet zal successie plaatsvinden en dit is vaak niet wenselijk omdat men een open landschap wil behouden. Op een grote deel van de oevers zijn door de aanwezigheid van vegetatie als het ware al biobouwers aanwezig. Deze oevers zijn echter grotendeels verdedigd met stenen verdedigingen om erosie te beperken. Men kan het ook gericht ontwikkelen en inzetten daar waar problemen zich voordoen. Hier kan gedacht worden aan het benutten van helofyten of wilgen/grienden. De golfslag die hier op kan treden moet echter niet onderschat worden, een helofyten zone is hier waarschijnlijk niet tegen bestand en kan mogelijk alleen dienst doen in luwe zones. Met inzet van grienden als golfremmende zone voor de dijk wordt nu ervaring opgedaan in de Noordwaard. Grienden kunnen ook laag worden geknot/gesnoeid om toch een open landschap te kunnen behouden. Met toepassing van wilgen en andere boomsoorten als Elzen, Essen etc. is nog beperkte ervaring opgedaan. De Korendijkse slikken ten westen van Tiengemeten zijn een interessante locatie. Hier is het dijkvak afgekeurd. Er is een breed voorland aanwezig maar hier vindt ook golfaanval plaats. Hier zou men kunnen kiezen voor het ontwikkelen van een brede oeverzone met vegetatie zoals de Oeverdijk in het Markermeer met het aanbrengen van zand. In het verleden is hier echter ook geëxperimenteerd met natuurbouw met wisselend resultaat omdat de golfaanval aanzienlijk is op de Korendijkse Slikken.

### *Toekomst scenario: gedempt getij Grevelingenmeer en Volkerak-Zoommeer*

Tijdens de expertsessie is ook een toekomstscenario voor het Grevelingenmeer en Volkerak-Zoommeer kort besproken en de rol die biobouwers hierin kunnen spelen als aanvulling op de dijken. Hierbij is uitgegaan van een gedempt getij op de Grevelingen van 50 cm en 30 cm op het Volkerak-Zoommeer.

### *Grevelingenmeer*

Bij een gedempt getij zal er meer oevererosie optreden omdat bij hoogtij het water over de oeververdedigingen heen zal stromen. De oevers zullen daardoor verder verdiepen en ontwikkelen naar een nieuw dynamisch evenwicht. Ook zal net als in de Oosterschelde een soortgelijk proces van

zandhonger optreden. Door het toelaten van een gedempt getij ontstaat een nieuw getijdsysteem wat relatief weinig dynamiek kent. Dit geeft een interessant perspectief voor het ontwikkelen van biobouwers die beter gedijen onder minder dynamische omstandigheden.

Door de introductie van een beperkt getij kan schorvegetatie ontwikkelen (*Spartina* en zeekraal). Het zal gaan om randen van pioniervegetatie langs de oevers. De getijslag is te beperkt om een volwaardig schor te laten ontstaan (krekken).

Door aanwezigheid van getij maar een geringe dynamiek ontstaan kansen voor toepassing van oesterriffen als erosie remmende maatregel langs slikranden. Indien aanwezig op de juist hoogte kunnen riffen zorgen voor een bepaalde ruwheid die zorgt voor golfdemping. Dit moet echter nader worden onderzocht.

Voor de afsluiting van de Grevelingen en in de periode daarna kwam Groot zee gras veelvuldig voor. Dit is geleidelijk uit de Grevelingen verdwenen na de afsluiting. Daarom is het interessant om te onderzoeken of zee gras opnieuw kan ontwikkelen. Men zal het opnieuw moeten introduceren in het systeem. Het effect wat zee gras kan hebben op golfdemping zal beperkt zijn.

#### ***Volkerak-Zoommeer***

De mogelijkheden voor het Volkerak-Zoommeer zijn min of meer gelijk aan die van het Grevelingenmeer. Er zal een brakwaterzone ontwikkelen door de invloed van de Brabantse rivieren die in het meer uitmonden en spuiwater vanuit het Haringvliet.

Ook hier kunnen randen van zowel zoute als brakke schorvegetatie ontwikkelen. Men zou dit mogelijk kunnen bevorderen door het aanplanten van Engels Slijkgras. Er moet rekening gehouden worden met de zoetwaterinvloed en in sommige zones is de zoutconcentratie mogelijk te laag om oesterriffen te ontwikkelen.

#### **Algemeen**

Biobouwers kunnen ingezet worden als ondersteuning van waterveiligheid. Anders dan de traditionele waterbouw vraagt het benutten en ontwikkelen van biobouwers in kustverdediging om een meer flexibele en geduldige aanpak, omdat ze een bepaalde groeiperiode nodig hebben om tot volle potentie te kunnen ontwikkelen (20-40 jaar). Biobouwers hebben in de vestigingsfase beschermde condities nodig, na 5-10 jaar kunnen ze meer dynamiek aan en beginnen ze ook betekenis voor waterveiligheid te krijgen. Gebruik van biobouwers vraagt dus om een lange termijn aanpak waarbij men zich moet realiseren dat een oplossing met biobouwers zich vaak dus pas na decennia zal terug betalen. Dit strookt niet met de huidige waterveiligheidsaanpak. Een ontwikkelkader voor biobouwers uitgewerkt in ruimte en tijd zal helpen om meer inzicht te krijgen in de mogelijkheden en besluitvorming te ondersteunen.

## Bijlage C. Opgaven nHWBP

Binnen het nieuwe hoogwaterbeschermingsprogramma (nHWBP) worden de overige dijktrajecten die naar voren kwamen uit de derde toetsingsronde waterkeringen opgepakt. Voor de ZW Delta worden de trajecten Burghsluis-Schelphoek, Boerderij de Ruyter/Flaauwershaven, Zierikzee/Bruinisse, Zuid-Beveland West en Emanuelpolder worden opgepakt in de periode 2014-2019 (Figuur 26).



Figuur 26. Opgaven in het nieuwe hoogwaterbeschermingsprogramma (nHWBP) voor de ZW Delta (Hoogwaterbeschermingsprogramma, 2013). POV betekent, project overstijgende verkenning.