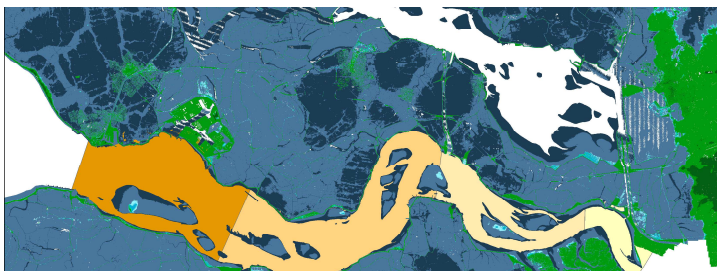


Klimaatbestendige dijken

Het concept wisselpolders

Ilse De Mesel, Tom Ysebaert, Pauline Kamermans

Rapport C072/13



IMARES Wageningen UR

(IMARES - Institute for Marine Resources & Ecosystem Studies)

Publicatiedatum:

september 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).

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken (voorheen Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie) binnen het Kennisbasis Onderzoek in het kader van het programma Duurzaam ruimtegebruik in mariene ecosystemen (KB-01-002-019)

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 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 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 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 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. Introductie.....	5
2. Opzet rapport.....	9
3. Randvoorwaarden wisselpolders.....	10
3.1. Introductie.....	10
3.2. Randvoorwaarden.....	11
3.2.1. Sedimentbeschikbaarheid.....	11
3.2.2. Morfologie van de polder.....	11
3.2.3. Begroeiing.....	13
3.2.4. Beheer.....	14
3.2.5. Andere aspecten.....	15
4. Kernaspecten.....	16
4.1. Veiligheid.....	16
4.2. Natuur.....	17
4.3. Aquacultuur.....	21
4.4. Andere functies.....	23
5. Toepasbaarheid in de Zuidwestelijke Delta.....	24
5.1. Introductie.....	24
5.2. De Westerschelde.....	24
5.2.1. Sedimentbeschikbaarheid.....	24
5.2.2. Natuur.....	26
5.2.3. Aquacultuur.....	27
5.2.3.1. Gekweekte soorten die in aanmerking komen voor teelt in de Zeeuwse delta.....	27
5.2.3.2. Conclusie.....	30
5.2.3.3. Effect extensieve aquacultuur op functioneren wisselpolder ...	32
5.2.4. Kansen in de Westerschelde.....	32
5.2.4.1. Natuur.....	33
5.2.4.2. Aquacultuur.....	33
6. Draagvlak voor het concept wisselpolders.....	34
Dankwoord.....	34
Referenties.....	35
Verantwoording.....	40
Bijlage A. Soorten die geschikt zijn voor aquacultuur in de Westerschelde.....	41

Samenvatting

Kustgebieden, met name delta's en estuaria, zijn dichtbevolkte gebieden. Ruim 9 miljoen Nederlanders wonen onder NAP. Een deugdelijke en duurzame kustverdediging is dan ook onontbeerlijk.

De zeespiegel stijgt, wat om een verzwaring en verhoging van de dijken vraagt. Dit brengt grote kosten met zich mee. Tevens kan bij voortdurende inklinking van het achterliggende land ophoging van de dijken met hun huidige vorm ontoereikend worden. Het concept wisselpolders is een vorm van alternatieve kustverdediging die in aanleg en beheer goedkoper kan zijn. Naast veiligheid biedt het concept mogelijkheden voor natuurontwikkeling en recreatie. In deze studie wordt het concept wisselpolder nader uitgewerkt. Tevens zijn de kansen onderzocht om een economisch rendabele vorm van aquacultuur in het gebied te ontwikkelen.

Het concept wisselpolder gaat uit van een cyclisch opslibben van laaggelegen, ingeklonken binnendijkse gebieden en tegelijkertijd indijken van hooggelegen buitendijkse gebieden en deze zo beschikbaar te stellen voor traditionele landbouw. Het verwachte resultaat is een brede relatief hoog gelegen bufferrand langs estuaria, dat het achterliggende land beter helpt beschermen tegen calamiteiten dan de huidige strategie van steeds verder verhogen van de dijken. Het ontstaan van schorren in de wisselpolder is cruciaal voor het proces van opslibben. Randvoorwaarden die mee helpen te bepalen of een wisselpolder succesvol wordt, zijn geformuleerd op basis van studies aan natuurlijke dijkdoorbraken en doelbewuste ontpoldering. Hoe natuurlijker de regeneratie van schorren in termen van sedimentatie en kolonisatie gebeurt, hoe groter de kans op opslibbing in het gebied. Na kolonisatie door schorplanten zorgt de vegetatie voor sediment invang, dempen ze de golfenergie en vormen een zeer waardevolle habitat.

In de Zuidwestelijke Delta is de getijdendynamiek, de motor voor schorontwikkeling, enkel nog aanwezig in de Oosterschelde en de Westerschelde. Langs de huidige Oosterschelde is het wisselpolder idee minder toepasbaar omdat de algemene slibbeschikbaarheid in het systeem waarschijnlijk te klein is om polders op grote schaal te laten opslibben. In de Westerschelde is de situatie veel gunstiger en bevinden geschikte locaties voor snelle opslibbing zich vooral tussen Terneuzen en Belgische grens.

Uitgangspunten bij rendabel geachte aquacultuur in een wisselpolder zijn dat de natuurlijke sedimentatie en natuurontwikkeling in het gebied wordt niet belemmerd. De te kweken soorten moeten van nature in het gebied voorkomen, en hebben, evenals het oogsten, minimaal effect op het ecosysteem. De meest geschikte soorten voor teelt in een wisselpolder zijn zeekraal, lamsoor, zagers, mosselen, Japanse oesters en platte oesters. Het meest oostelijke gedeelte van de Westerschelde (ten oosten van Hansweert) is door het lage zoutgehalte is minder geschikt voor marine culturen.

Gedurende het project is samenwerking ontstaan met CSO Adviesbureau die een haalbaarheidsstudie hebben uitgevoerd naar het concept van de wisselpolders. Om draagvlak voor wisselpolders te creëren is het concept voorgesteld en getoetst bij beheerders en belanghebbenden. Het is noodzakelijk dat alle betrokken partijen voldoende van informatie worden voorzien en dus voldoende kennis hebben. De gepresenteerde ideeën sluiten heel goed aan bij de langetermijnvisie die in het kader van het Deltaprogramma Zuidwestelijke Delta wordt ontwikkeld en het onderzoek naar "Innovatieve Dijkconcepten" dat binnen dit kader wordt uitgevoerd.

1. Introductie

Achtergrond

Kustgebieden, met name delta's en estuaria, zijn dichtbevolkte gebieden. De landbouwgrond is er vaak zeer vruchtbaar, de visserij is een belangrijke economische component, en havens zorgen voor verbinding met de rest van de wereld. Toch houdt het leven langs de kust ook risico's in. Bij extreme weersomstandigheden dreigen overstromingen. Reeds sinds menseneugenis worden dijken ingezet om bescherming te bieden tegen overstromingsrampen. Dit is ook zo in Nederland, waar de kustlijn bestaat uit dijken en duinenrijen. Zowat 60% van het Nederlandse grondgebied ligt onder het zeeniveau, en ruim 9 miljoen Nederlanders wonen onder NAP. Een deugdelijke en duurzame kustverdediging is dan ook onontbeerlijk.

Reeds vele eeuwen heeft het bouwen van dijken langs rivieren naast de beschermende rol, ook een functie bij het winnen van land op de rivier. In de Middeleeuwen werden opgeslibde schorren primair ingedijkt om als landbouwgrond gebruikt te worden. Dit waren erg vruchtbare gronden. Landwinning is een algemeen fenomeen langs de kusten van Nederland Frankrijk, Groot-Brittannië, Spanje, het Noordwesten van de Verenigde Staten, Californië en in Quebec (Byers en Chmura, 2007). In Nederland is dit proces duidelijk zichtbaar in het noorden en in de zuidwestelijke Delta. De Zeeuwse eilanden zijn door doorgedreven inpoldering door de eeuwen heen ontstaan en met elkaar verbonden geraakt (figuur 1). De eerste inpolderingen dateren van halverwege de Middeleeuwen. Sindsdien is het gebied al vele malen geconfronteerd met dijkdoorbraken ten gevolge van extreme weersomstandigheden, met grote overstromingen tot gevolg. De meest recente watersnood ramp van 1953 heeft geleid tot de uitvoering van de Deltawerken. Dit leidde tot compartimentering van de Delta door de aanleg van dammen, sluizen en stormvloedkeringen, en de verhoging en versteviging van dijken, onder andere langs de Westerschelde. De ingedijkte gebieden klinken in waardoor bij overstroming het effect steeds groter wordt. Daarnaast stijgt de zeespiegel wat om een verzwaring en verhoging van de dijken vraagt. Dit brengt grote kosten met zich mee. Tevens kan bij voortdurende inklinking van het achterliggende land ophoging van de dijken met hun huidige vorm ontoereikend worden.

Terwijl de Deltawerken de veiligheid in het gebied waarborgen, hebben ze ook grote implicaties gehad voor andere aspecten in de regio. Zo zijn de ruimtelijke kwaliteit en de natuurwaarden van het Deltagebied sterk achteruit gegaan. Heel wat estuariene intergetijden-natuur is verloren gegaan, ondermeer door de creatie van stagnante meren (Veerse Meer en Grevelingenmeer), de reductie van de getijhoogte en verandering van de hydrodynamiek (Oosterschelde) en de harde grens tussen water en land door de aanleg van de dijken. Binnendijks zijn er problemen met verzilting en neemt de kwaliteit van de landbouwgrond op heel wat plaatsen af.



Figuur 1: Nederland ten opzichte van 0 NAP.

Klimaatverandering en kustveiligheid

Wereldwijd neemt de bevolkingsgroei in de reeds dichtbevolkte Delta's toe en dit zal zich naar verwachting ook de komende decennia doorzetten. Zo woont mondiaal gezien ca. 80% van de stedelijke bevolking in Delta's en langs estuaria. In deze gebieden wordt de ruimte voor wonen, werken, reizen en recreatie steeds schaarser. Mede door klimaatverandering wordt in deze Delta's veiligheid van mensen en van het door mensen geïnvesteerde vermogen een steeds belangrijker issue. Klimaatverandering bedreigt miljoenen inwoners van deltagebieden over de hele wereld. Naast bodemdaling kunnen zeespiegelstijging en een toenemende variatie van rivierafvoer en neerslag leiden tot ernstige wateroverlast en watertekorten. Zo ook in de Zuidwestelijke Delta. Om Nederland voor volgende generaties veilig en leefbaar te houden en de kansen die water biedt optimaal te benutten, werken het Rijk en regionale overheden aan het Nationaal Deltaprogramma. De opdracht vanuit dit Nationaal Deltaprogramma voor de Zuidwestelijke Delta luidt "Het op een zodanige wijze borgen van de lange termijn waterveiligheid / klimaatbestendigheid en het scheppen van de randvoorwaarden voor duurzame watervoorziening in Zuidwest-Nederland dat dit op een integrale wijze bijdraagt aan een ecologische en economische versterking van dit gebied." Het Rijk en de regionale overheden in Noord-Brabant, Zeeland en Zuid-Holland werken momenteel aan een Uitvoeringsprogramma voor de periode 2010-2015 om tot een klimaatbestendig veilige, ecologisch veerkrachtige en economisch vitale delta te komen. Dit plan verbindt regionale ambities en projecten voor de nabije toekomst van de Zuidwestelijke Delta met de landelijke opgaven uit het Nationaal Waterplan. Het Deltaprogramma Zuidwestelijke Delta ziet nieuwe typen kustverdediging ("Innovatieve Dijkconcepten") als een mogelijke maatregel voor het optimaliseren van de huidige veiligheidsstrategie (Deltaprogramma Zuidwestelijke Delta, 2013). Daarnaast is het Deltaprogramma benieuwd welke meerwaarde deze nieuwe typen kustverdediging naast waterveiligheid kunnen bieden. Afgelopen jaar zijn verschillende verkenningen uitgevoerd die de mogelijkheden voor meer natuurlijke, of technisch en ruimtelijk innovatieve concepten verkenning (Tangelder, de Groot et al., 2013; Tangelder en Ysebaert, 2012). Deze studie sluit goed aan bij deze verkenningen.

Het concept 'Wisselpolders'

Hoe het klimaat verandert op de middellange en lange termijn is nog onzeker, maar de gevolgen voor waterbeheer en daaraan gekoppelde functies zijn groot. De grens tussen land en zee staat onder druk, zowel van de landkant als de zee kant. Er wordt tegenwoordig nagedacht over alternatieve inrichtingen van de kustgebieden, waarbij de veiligheid wordt gewaarborgd en versterkt, maar ook oog is voor de ontwikkeling van natuurwaarden vaak gecombineerd met economisch rendabele projecten. Dit soort innovatieve oplossingen dringen zich op, enerzijds om de ruimtelijke kwaliteit te versterken en de ecologische waarden te herstellen, maar ook omdat de klassieke dijken vaak niet zullen volstaan om de veiligheid te waarborgen bij de voorspelde zeespiegelstijging. De druk op de dijken zal hierdoor toenemen en zal nog groter worden door de inklinking van het achterliggende land. Om te kunnen voldoen aan de nodige eisen en voldoende veiligheid te kunnen verzekeren, zouden in de toekomst bestaande dijken moeten worden verhoogd en verbreed, maar vaak zijn er ook beperkingen aan de verdere uitbouw van de dijken. Zo is onder meer de ondergrond niet overal geschikt om de dijken te verzwaren voor de toekomstige noden. Dit is onder andere ook het geval in de Zuidwestelijke Delta. Ook hangt een hoog kostenplaatje aan de verzwaring van dijken en het verdere onderhoud ervan.

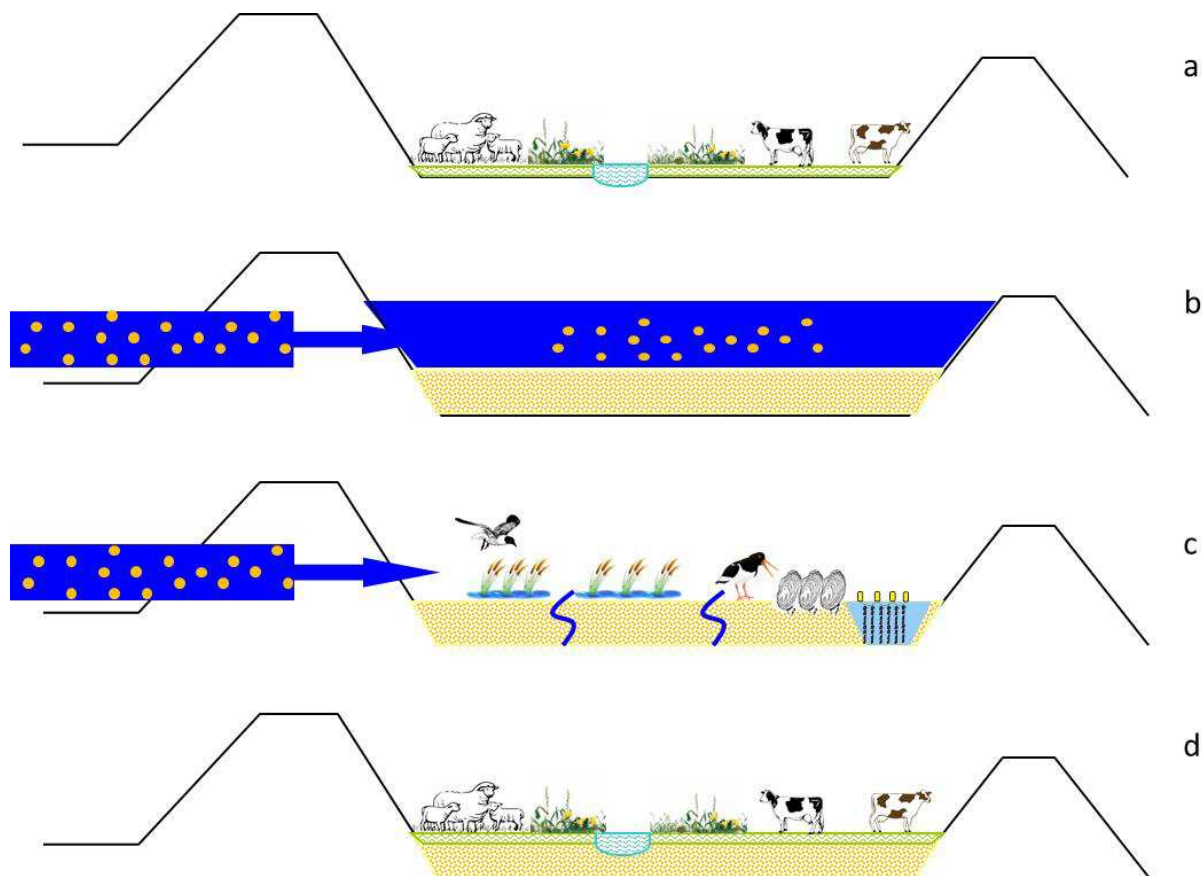
Het concept wisselpolders wordt in dit rapport verder uitgewerkt. Het is een specifieke uitwerking van het concept groeilanden. Een groeiland is een vorm van alternatieve kustverdediging die gebruik maakt van de natuurlijke getijdendynamiek en bijhorende morfologische processen. Naast veiligheid biedt het concept mogelijkheden voor natuurontwikkeling en recreatie, en mogelijk ook kansen om een economische rendabele vorm van aquacultuur te ontwikkelen. Veiligheid samen met ruimtelijke kwaliteit. Het concept van de wisselpolders gaat uit van een cyclisch opslibben van laaggelegen, ingeklonken binnendijkse gebieden en tegelijkertijd indijken van hooggelegen buitendijkse gebieden en deze zo beschikbaar te stellen voor traditionele landbouw (figuur 2). Estuaria worden vaak gekenmerkt door grote concentraties sediment in de waterkolom. Dit wordt enerzijds aangevoerd uit de bovenloop van rivieren en vanuit de zee, en wordt anderzijds lokaal gesuspenseerd door de grote dynamiek veroorzaakt door de getijdenwerking. Daar waar zoet en zout water zich mengen, in de brakwaterzone, ontstaat een troebelheidsmaximum, dit is een zone met een verhoogde troebelheid die wordt veroorzaakt door hoge concentraties aan sediment en vlokvorming. De opslibbing gebeurt via natuurlijke processen. Tijdens het opslibbingsproces ontstaat er in het gebied intergetijdennatuur: slikken zullen evolueren naar laag en hoog schor. Wanneer het bodemoppervlak voldoende is opgehoogd door deze natuurlijke aanslibbing, kan het gebied opnieuw worden ingepolderd en beschikbaar gemaakt als landbouwgrond. Tegelijkertijd wordt op een andere locatie een aanslibbingsgebied vrijgesteld. Zo ontstaat er een win-win situatie voor de landbouw en de natuur en is de veiligheid gewaarborgd. Het verwachte resultaat van een dergelijke cyclische in- en ontpoldering is een brede relatief hoog gelegen bufferrand langs estuaria, dat het achterliggende land beter helpt beschermen tegen calamiteiten dan de huidige strategie van verhogen van de dijken. De landbouwgrond die opnieuw beschikbaar wordt zou uit vruchtbare grond bestaan, waar, gezien de hoogteligging geen verzilting optreedt.

Het concept kan ook breder toegepast worden waarbij de nadruk niet noodzakelijk op veiligheid ligt maar wel op andere functies. Zo kan door verzilting ongeschikt geraakte landbouwgrond door verbinding met het estuarium mogelijkheden bieden voor een economisch rendabele aquacultuur.

Het is belangrijk te benadrukken dat het concept van de wisselpolders afwijkt van vele ontpolderingen die wereldwijd zijn uitgevoerd. Het betreft niet een restauratie- of compensatiemaatregel, maar het concept probeert op een innovatieve, adaptieve en duurzame manier om te gaan met een veranderende Delta. Het concept geeft invulling aan een klimaatbestendige ruimteontwikkeling langs estuaria, en beoogt de ruimtelijke kwaliteit te versterken door meerdere functies te koppelen waardoor een win-win situatie ontstaat.

In het buitenland, met name in Groot-Brittannië, wordt er al langer nagedacht over het inrichten van kustlijnen op een andere manier dan het louter verhogen en verbreden van harde structuren zoals

dijken. Oplossingen zoals “managed realignment”, dit is het doelbewust doorbreken van dijken of andere harde structuren waardoor nieuw intergetijdengebied ontstaat, is een typisch voorbeeld van deze nieuwe benadering (e.g. French, 2006; Garbutt et al. 2006; Turner et al., 2007; Spencer et al. 2008; Hughes et al., 2009). Ondanks het groeiend aantal “realignment-projecten” is de heroriëntatie naar een meer flexibel beheer een moeizaam proces (zie verder). “Managed realignment” vertoont gelijkenissen met het wisselpolder concept, maar het wisselpolder concept voorziet expliciet het terug inpolderen van een gebied wanneer het een bepaalde hoogte heeft bereikt. Daaraan koppelen we de mogelijke inpasbaarheid van meerdere functies in een wisselpolder, waarbij naast veiligheid en natuur ook plaats is voor aquacultuur en recreatie.



Figuur 2: Het wisselpolder concept bestaat uit verschillende fasen. Eerst wordt een aan een estuarium grenzende laaggelegen polder (a) in contact gebracht met sediment rijk water (b). Door getijdewerking bezinkt sediment in de polder en ontstaan kansen voor natuur en aquacultuur (c). Deze activiteiten kunnen bijdragen aan het invangen van sediment. Na verloop van tijd kan de opgehoogde polder weer in gebruik worden genomen voor landbouw (d).

2. Opzet rapport

Bij het concept wisselpolders staat de ontwikkeling van het ontpolderde gebied centraal. Het succes van het concept staat of valt met de gebiedsontwikkeling van de polder nadat de dijk wordt doorgebroken. De studie is in 2010 uitgevoerd en spitst zich toe op de ontwikkeling van ontpolderde gebieden en de randvoorwaarden die de ontwikkeling kunnen bepalen. In het binnen- en buitenland zijn recente voorbeelden te vinden van veelal natuurlijke dijkdoorbraken, ten gevolge van stormen, die niet meer zijn hersteld. Daarnaast zijn er ook een groeiend aantal projecten waarbij doelbewust gebieden ontpolderd worden ("realignment") voor kustveiligheid, natuurbehoudsdoeleinden of mitigatie van infrastructuurwerken zoals uitbreiding van havens. Een aantal van deze polders is bestudeerd, voornamelijk in termen van opslibbing en natuurontwikkeling, en deze kunnen bijdragen tot onze kennis om tot een succesvolle ontpoldering te komen. In dit rapport is op basis van deze studies een overzicht gegeven van de randvoorwaarden die mee helpen bepalen of een ontpoldering succesvol wordt (hoofdstuk 3). Vervolgens is per functie, met name veiligheid, natuur en aquacultuur, beschreven hoe een polder optimaal moet worden ingericht om aan deze functie te voldoen (hoofdstuk 4). In hoofdstuk 5 wordt een eerste screening uitgevoerd naar de toepasbaarheid van het concept in de Zuidwestelijk Delta. Tot slot worden in hoofdstuk 6 de activiteiten toegelicht die zijn uitgevoerd om het concept voor te stellen en te toetsen bij beheerders en belanghebbenden. Gedurende het project is samenwerking ontstaan met CSO Adviesbureau die een haalbaarheidsstudie hebben uitgevoerd naar het concept van de wisselpolders.

3. Randvoorwaarden wisselpolders

3.1. Introductie

De randvoorwaarden die het succes van ontpolderingen bepalen kunnen worden afgeleid uit studies uit het buitenland. Wolters et al. (2005) melden 89 dijkdoorbraken in Noordwest Europa sinds 1802, waarvan 48 in Groot-Brittannië. De meeste hiervan komen voor in het zuidoosten van het land. Het gaat vaak om kleine sites met een oppervlakte van minder dan 100 ha. De totale oppervlakte van de 48 sites in Groot-Brittannië is 2.007 ha. In Duitsland zijn slechts 10 gebieden ontpolderd, maar wel met grotere oppervlaktes. De totale oppervlakte van de ontpolderingen bedraagt er 2.590 ha.

In de helft van de plaatsen uit de studie van Wolters et al. (2005) waren de dijken op natuurlijke manier doorgebroken. De eerste opzettelijke ontpoldering in NW Europa dateert van 1991 in Northey Island in het Zuidoosten van Groot-Brittannië. Na die tijd zijn jaarlijks 1 tot 7 nieuwe opzettelijke ontpolderingen uitgevoerd in Noordwest Europa, vaak in het kader van de Habitat Richtlijn (Pethick, 2002) of voor de veiligheid. De heraanleg van schorren voor de dijk wordt gezien als een kost-efficiënte manier om de veiligheid van het achterliggende land te waarborgen (Wolters et al., 2005).

Ook in Nederland is een aantal polders opnieuw omgevormd tot intergetijdennatuur nadat dijken doorbraken ten gevolge van stormen (Bakker et al., 2002). Peazemerlannen langs de Waddenzee werd ingepolderd in 1930. Door twee opeenvolgende dijkdoorbraken, in 1973 en in 1979, is een opening van zo'n 500 meter ontstaan in de dijk en is een oppervlakte van zo'n 100 ha overspoeld. Het Sieperdaschor in de Westerschelde is ontstaan uit de Selenapolder nadat een 500m lange bres in de dijk werd geslagen tijdens een storm in 1990. De Selenapolder was ingepolderd sinds 1966. Het gebied van 100 ha is 3500 m lang en smal (200-500 m), waardoor het westelijk deel initieel niet goed gedraineerd werd. Er ontstond een groot gebied met stilstaand water. Geleidelijk aan hebben nieuwe kreken zich gevormd en in 1993 werd een geul gegraven. Het gebied met stilstaand water is afgenomen. In 1990 bestond 70% van het gebied uit kale grond, in 1995 was dat nog 30% en dan vooral de plaatsen met stilstaand water. Langs de Zeeschelde in Vlaanderen worden polders omgevormd tot overstromingsgebied ten behoeve van de veiligheid maar waarbinnen ook zoetwater intergetijdennatuur een kans krijgt door het toelaten van een gecontroleerd gereduceerd getij (Jacobs et al., 2009; Maris et al., 2007).

Ook in de Verenigde Staten zijn er voorbeelden van natuurlijke dijkdoorbraken waarna gebieden zich terug ontwikkelen tot getijdenatuur en schorren (bijv. Byers & Chmura 2007). Tevens worden grote ontpolderingen gepland en uitgevoerd. Zo bestaan er plannen om in San Francisco estuary een grootschalig herstel uit te voeren waarbij tussen de 13.000 en 26.000 ha schor wordt hersteld in de San Francisco Bay en 10.000 tot 20.000 ha in de Delta (Orr et al., 2003 en daarin vermelde referenties). De aanpak in de Verenigde Staten wijkt vaak af van de Europese aanpak. Gebieden worden er in vele gevallen opgespoten met gebaggerd materiaal al dan niet in combinatie met aanplanting van *Spartina* om het sediment te stabiliseren (o.a. Havens et al., 1995; Craft en Sacco, 2003; Orr et al, 2003). Ook uit deze aanpak kunnen belangrijke lessen worden getrokken omtrent de randvoorwaarden die tot het succes van een ontpoldering bijdragen.

3.2. Randvoorwaarden

Om ontpolderde gebieden te laten ontwikkelen tot schorren en vervolgens tot bruikbare landbouwgronden moet er in eerste instantie voldoende sedimentatie optreden. Randvoorwaarde hiervoor is dat er **voldoende sediment (slib) beschikbaar** moet zijn in de omgeving en de waterkolom om op de polder neer te slaan. Sedimentatie en opslibbing wordt echter niet enkel beïnvloed door de beschikbaarheid van sediment, maar ook door de **morfologie** van het ontpolderde gebied, hetgeen de overstromingsfrequentie, overstromingsduur en hydrodynamica van het gebied bepaalt, de **begroeiing** en het **beheer**.

3.2.1. Sedimentbeschikbaarheid

De sedimentconcentratie in estuaria varieert vaak sterk in ruimte en tijd. De temporele variatie treedt op over de getijcyclus, tussen dood en springtij en op seizoenale schaal en is vaak gerelateerd aan de getijdwerking en de zoetwaterafvoer. Bij de seizoenale variatie heeft verder ook biologische activiteit, wind regime en erosie op het land een invloed (Temmerman et al., 2003). Het troebelheidsmaximum kan zich over de tijd verplaatsen naargelang de hydrologische condities. Zowel stroomopwaarts als stroomafwaarts neemt de concentratie aan sediment doorgaans af.

Het sediment wordt gesuspendeerd in de waterkolom de polders binnengebracht, waar het vervolgens kan sedimenteren. Een inschatting of voldoende sediment in het systeem aanwezig is om de opslibbing succesvol te laten verlopen, is moeilijk (Van Oevelen et al., 2000). Indien onvoldoende sediment aanwezig is, kan erosie optreden.

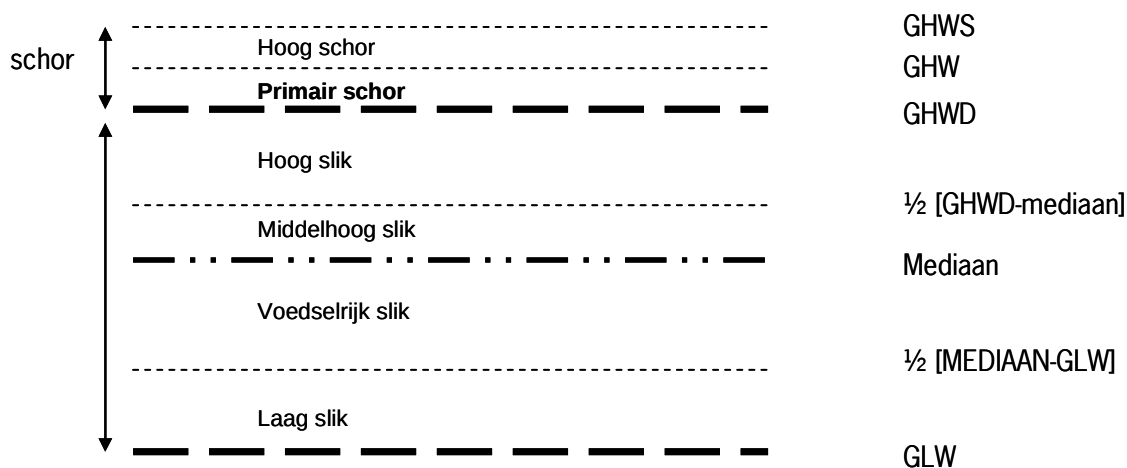
3.2.2. Morfologie van de polder

Hoogteligging

De hoogteligging ten opzichte van gemiddeld hoog water (GHW) blijkt een cruciale factor te zijn in de ontwikkeling van een polder. Het bepaalt de overstromingsfrequentie, -duur en -hoogte en zodoende ook de hoeveelheid gesuspendeerd materiaal dat de polder kan bereiken en er kan sedimenteren (van Oevelen et al., 2000).

Op jonge, laaggelegen slikken is de sedimentatiesnelheid meestal hoog. Er lijkt een optimale hoogteligging ten opzichte van GHW voor opslibbing, waarbij de overstromingsfrequentie, -hoogte en -duur voor voldoende sedimentaanvoer zorgen en de stroomsnelheid voldoende laag is voor sedimentatie (van Oevelen et al. 2000). Er wordt aangenomen dat de schorontwikkeling het best verloopt op hoogtes tussen gemiddeld hoog water bij doottij en gemiddeld hoog water bij springtij, wat 450 tot 500 keer wordt overspoeld per jaar (Toft en Maddrell, 1995). Wanneer de polder erg laag ligt in het getijdekader kan erosie optreden ten gevolge van een te hoge stroomsnelheid (van Oevelen et al., 2000). Gedurende de sedimentatiecyclus ontwikkelt een slik tot jong schor, dat wordt gekoloniseerd door pioniersplanten, en vervolgens tot hoog schor (figuur 3). De hoogte van oude schorren is vaak vergelijkbaar met het GHW. Ze overstromen minder frequent en de overstromingshoogte is lager, waardoor er minder sediment wordt aangevoerd. Ze accumuleren vaak met een snelheid die iets boven de GHW-stijging ligt.

Naast de sedimentatiesnelheid bepaalt de uitgangshoogte ook de vorm en de functionaliteit van de kreken (van Oevelen et al., 2000). Wanneer de uitgangshoogte subtidaal is, gebeurt de evolutie naar intergetijdengebied erg traag en blijft het krekenspatroon lange tijd embryonaal. Bij laag tot gemiddeld slikniveau evolueren de gebieden relatief sneller naar een jong schor met een dendritisch krekensysteem met vooral kleine kreekjes. De aanwezige draineringskanalen kunnen zich ontwikkelen tot hogere orde kreken. Nieuwe kreekjes ontstaan, maar bereiken vaak niet die dichtheid van een natuurlijk krekensysteem. Indien de restanten van vroegere kreken aanwezig zijn, zal zich een redelijk 'natuurlijk' krekensysteem ontwikkelen.



Figuur 3: Habitattypes ten opzichte van de gemiddelde hoogwaterlijn (GHW) (Soresma, 2009)

Helling

De helling bepaalt mede het aantal keer een gebied wordt overspoeld en dus ook de hoeveelheid sediment dat het zal ontvangen. Op een minder steile helling zal de toevoer van sediment hoger liggen en zal de ophoging sneller gebeuren (French 2006): de overspoeling duurt langer, de stroomsnelheden liggen er lager en hetgeen sedimentatie ten goede komt (Esselink et al. 1998)

Geulen en krekken

De aanwezigheid van geulen en krekken zorgt ervoor dat het water verder in de polder kan binnendringen en sediment de dieper gelegen delen van het schor kan bereiken (Reed et al., 1999; French, 1996). Eerder onderzoek toonde aan dat op 75m van de krekken meer dan 90% van het gesuspendeerde sediment wordt afgezet (Van Oevelen et al., 2000 en daarin vermelde referenties). Het meeste en zwaarste sediment wordt afgezet aan de schorrand en de op de rand van de krekken. Slib en klei blijven langer in suspensie en worden op een grotere afstand tot de krekken afgezet (Timmerman et al., 2003, 2005). Indien het krekkenstelsel zorgt voor voldoende drainage, kan het sediment consolideren, en is de kans op resuspensie bij de volgende overstroming kleiner (Wolters et al 1995, Eertman et al 2002, Van Oevelen et al., 2000). Een goede drainage van de bodem is verder ook belangrijk voor de vestiging van planten (zie verder).

Kreekvorming is een dynamisch proces dat wordt gestuurd door de sedimentatie en de erosieve kracht van het wegtrekkende water. De kreekvorming begint onder natuurlijke omstandigheden bij de overgang van subtidaal naar intertidaal. Naarmate het gebied hoger komt te liggen in het getijvenster, neemt de sedimentatie af en wordt erosie het belangrijkste kreekvormend proces. De hoogteligging van de polder op het moment van de doorbraak bepaalt of sedimentatie of erosie de belangrijkste rol spelen bij de kreekvorming en het bepaalt de functionaliteit van het krekkenstelsel.

Indien er nog relictten van krekken aanwezig zijn kunnen deze na de dijkdoorbraak opnieuw uitschuren en verder ontwikkelen tot een volwaardig stelsel. Vaak worden ook geulen uitgegraven om de water toe- en afvoer te optimaliseren. Grachten en sloten die zijn gegraven na inpoldering zijn vaak niet geschikt om te ontwikkelen tot geulen en krekken. Deze zijn enkel gericht op het afvoeren van water uit de polder en niet op het importeren van water en sediment vanuit het estuarium en leiden vaak tot erosie (Burd et al., 1994 uit Van Oevelen et al., 2000). Het belang van de initiële hoogteligging in de ontwikkeling van het krekkenstelsel is eerder besproken.

Grootte en vorm

Kleinere gebieden lijken sneller op te slibben en te evolueren naar een schor dan grotere gebieden. Op grote gebieden kan de wind golfwerking initiëren, wat resuspensie in de hand werkt en de sedimentatie negatief beïnvloedt (French et al 2000). Ook de vorm – lengte ten opzichte van breedte – en oriëntatie ten opzichte van de kustlijn kunnen de sedimentatiesnelheid beïnvloeden (Van Oevelen et al., 2000). In langgerekte gebieden die haaks op de kustlijn staan is de sedimentatie achterin vaak niet optimaal. Dit blijkt uit de waarnemingen in de Sieperdaschor in de Westerschelde. Er zijn echter heel wat andere sturende variabelen, zoals de aanwezigheid van een krekensysteem, de oppervlakte en de overstromingsfrequentie, die de sedimentbeschikbaarheid achterin de polder kunnen beïnvloeden en de impact van de vorm matigen.

Doorbraak

De dimensie van de doorbraak kan variëren van bressen in de dijk tot het volledig wegnemen ervan. De opening naar de rivier of het estuarium bepaalt in grote mate de erosieve krachten die op de polder invloed hebben. De optimale grootte hangt onder andere af van de oppervlakte van de polder, omdat dit het getijvolume bepaalt dat het gebied binnenstroomt (Van Oevelen et al. 2000). Meerdere doorbraken kunnen de ontwikkeling van een erosieve geul van de ene opening naar de andere in de hand werken wat een negatief effect kan hebben op de sedimentatie in de polder (Burd et al., 1995). Wanneer een nieuw intergetijdegebied ontstaat na doorbraak van een zomerdijk, blijkt de sedimentatie hoger te liggen als de resterende zomerdijk blijft behouden. Dit zorgt voor enige luwte in het gebied, wat positief is voor de sedimentatie.

3.2.3. Begroeiing

De begroeiing heeft een impact op de lokale processen. Vaak vangen ze sediment in, waardoor de ophoging sneller verloopt. De is zo voor de pioniersplant *Salicornia*, net als *Puccinellia maritima* en *Spartina anglica* die rond GHW in voldoende dichtheid voorkomt om sedimentatie te bevorderen (Bakker et al 2002). *Puccinellia maritima* wordt gezien als een sleutelsoort bij het invangen en stabiliseren van sedimenten op Europese schorren (Wolters et al 2005). In de jaren 1920 werd *Spartina anglica* aangeplant in de ZW Nederland om aanslibbing te bevorderen (zie ook verder). De eerste planten op een slik vestigen zich meestal tussen het gemiddeld hoogwaterniveau bij dood tij en gemiddeld hoog water bij springtij, een zone die ongeveer 400 a 500 keer per jaar wordt overstroomd (Toft & Maddrell, 1995). Op goed gedraineerde bodems kan de kolonisatie reeds op iets lager gelegen bodems – tot 20cm lager ten opzichte van GHW – beginnen (Bakker et al 2002).

Naarmate de opslibbing toeneemt, verdwijnen de pioniersplanten en worden ze vervangen door soorten typisch voor hoger gelegen schorren. Ook deze soorten spelen een rol bij het fixeren van het sediment. De kolonisatiepatronen op brakke en zoutwaterschorren worden verder in het volgende hoofdstuk besproken. De kolonisatie van de ontpolderingen gebeurt hoofdzakelijk uit naburige schorren.

3.2.4. *Beheer*

Door aangepast beheer kan de opslibbing en de schorvorming op een ontpolderd gebied sterk worden beïnvloed.

Afgraven van de bovenlaag van de polder

Graafwerken kunnen worden uitgevoerd om de aanwezige flora te verwijderen, de gewenste helling te creëren (zie eerder) en/of geulen en krekken aan te leggen (zie verder). De aanwezige (zoetwater) flora kan de sedimentinval verhogen en de bodem beschermen tegen erosie. Daartegenover staat dat een hoge sedimentatiesnelheid op bestaande fauna kan leiden tot zuurstofloosheid in de bodem ten gevolge van de afbraak van de afstervende planten en ophoping van natrium (French, 2006). Dit laatste is geobserveerd in Essex (UK) (Macleod et al., 1999) en kan tot gevolg hebben dat zelfs de meest zoutminnende planten niet in staat zijn zich te vestigen. Verder kan met het afgraven de (over)bemeste toplaag worden verwijderd. Een teveel aan nutriënten kan de vorming van algenmatten bevorderen, die op hun beurt de vestiging van hogere planten verhindert.

Artificieel ophogen van de polder met gedregd materiaal in combinatie met aanplanting vegetatie

In de US worden ontpolderde gebieden vaak artificieel opgehoogd door het storten van baggerspecie (French 2006, Brooke 1992). Het gebied kan vervolgens door natuurlijke processen gekoloniseerd worden of, wat meer algemeen is, worden aangeplant. De aanplanting heeft als doel het sediment te stabiliseren en de inval van partikels te bevorderen. Volgens Quammen (1986) is het artificieel ophogen van polders de voornaamste reden voor mislukte ontpolderingen (Quammen 1986). Ook de aanplanting is niet steeds een succes. Hardisky (1978) stelde vast dat de bovengrondse biomassa van aangeplante *Spartina* 1.3 tot 5.5 keer lager lag dan in een natuurlijk schor, en de ondergrondse biomassa was 2.1 tot 2.4 keer lager. Gelijkaardige observaties zijn gedaan door Boyer (2000). De ontwikkeling van wortels in artificieel opgehoogde polders is dus slecht en niet in evenwicht met de bovengrondse ontwikkeling. Dit kan een invloed hebben op de levensduur en de veerkracht (resilience) van het schor (French 2006). Het achterblijven van de ontwikkeling van de vegetatie is echter niet altijd waargenomen. De kwaliteit van het gedregd materiaal (vooral stikstofbeschikbaarheid) kan hier een belangrijke rol in spelen (Boyer 2000). Mogelijk is de stikstof beschikbaarheid in het gedregde materiaal vaak te laag. Er is een lange periode van bodemrijping nodig gedurende dewelke de schorbodem en de bijbehorende functies ontwikkelen (French 2006). Hoe natuurlijker de regeneratie van het schor in termen van sedimentatie en kolonisatie gebeurt, hoe beter (French 2006, Bakker et al 2002)

Storten van baggerspecie in de nabijheid van de polder

Het storten van baggerspecie in de rivier of het estuarium gaat gepaard met een verhoogde vertroebeling van de waterkolom tijdens het storten maar soms ook nadien, wanneer het uitgezonken sediment terug in suspensie treedt door erosie. Indien het sediment strategisch wordt gestort, in de buurt van een ontpolderd gebied, kan dit sediment in de polder worden afgezet en wordt de sedimentatiesnelheid versneld (Stapel & de Jong 1998).

Aanleg van een geulensysteem

De aanwezigheid van geulen en krekken zorgt voor een efficiëntere sedimentaanvoer in het schor en een betere drainage van de bodem. Beide effecten leiden tot een snellere opslibbing (zie eerder). Een dendritisch krekensysteem ontwikkelt zich meestal niet spontaan na ontpoldering, zeker niet wanneer de initiële hoogteligging van het gebied te hoog is (Williams en Orr, 2002). Bij het aanleggen van een artificieel krekensysteem is de dimensionering van de krekken belangrijk en de doorlaat naar het

estuarium (van Oevelen et al., 2000; Wolters et al., 2005). In een natuurlijk dendritisch krekenstelsel treedt er een geleidelijke uitdoving op van de energie, maar dat is meestal niet zo bij artificiële drainage (Wolters et al., 2005).

Maaien of begrazing

In onbegraasde schorren wordt de hoogste soortenrijkdom rond 15 jaar na herstel waargenomen, maar na verloop van tijd gaat vaak één of een paar hoog groeiende soorten domineren (*Atriplex portulacoides* op laag schor en *Elytrigia atherica* op hoog schor; op brakke schorren *Elytrigia repens* en *Phragmites australis*). Soortendiversiteit kan echter behouden worden door maai- of graasbeheer. Daar tegenover staat dat begrazing ook de verandering in bodemsaliniteit en bodemhelling kan beïnvloeden. In Noord-Friesland resulteerde begrazing in een bodemsaliniteit die twee maal hoger ligt en een 40% tragere sedimentatiesnelheid (van Duin et al., 2003; Andresen et al., 1990). De tragere sedimentatie is vermoedelijk het gevolg van een gereduceerde hoogte van de planten waardoor minder sediment wordt ingevangen (Esselink et al., 1998). Lage planthoogte en relatieve hoge evaporatie zijn vermoedelijk de voornaamste reden voor de hogere bodemsaliniteit (Bakker, 1985)

3.2.5. Andere aspecten

Voorgeschiedenis

De voorgeschiedenis van de polder kan ook in meer of mindere mate de opslibbing en schortontwikkeling beïnvloeden. Zo bleek uit een studie in Pagham Harbour (Sussex, UK) dat er binnen de eerste 20 jaar uitgebreide schorren hadden ontwikkeld langs de haven, maar enkel in gebieden waar schorren reeds voorkwamen vóór de inpoldering. Drie verklaringen werden gesuggereerd: Ten eerste wordt gedacht dat de bodem geochemie het meest geschikt is in deze gebieden, omdat er in het verleden reeds schorren voorkwamen; ten tweede dat deze gebieden relatief beschermd zijn tegen golven; en ten derde dat de bodemhoogte direct geschikt was voor schor ontwikkeling. De site was maar korte tijd ingepolderd geweest en de compactie was beperkt gebleven.

Verder kan ook het gebruik tijdens de inpoldering de schorontwikkeling beïnvloeden. Vaak is het land als landbouwgrond of als weide ingezet. Uit een studie in Essex (UK) bleek dat gebieden die niet herhaaldelijk zijn geploegd tijdens de inpoldering sneller ontwikkelen tot een schor dan akkergebied dat wordt geploegd, bemest en gedraineerd (French, 2006). In het geval van het Sieperdaschor lijkt het er dan weer op dat het voormalige akkerland ontwikkelt tot een meer diverse plantengemeenschap dan de weiden, maar een duidelijke oorzakelijke link kon niet worden gelegd.

4. Kernaspecten

In het concept wisselpolders zoals het hier wordt uitgewerkt staan drie kernaspecten centraal: veiligheid, natuur en aquacultuur. Elk van deze aspecten stelt specifieke eisen aan de inrichting van het gebied. Bij ontpolderingen worden de initiële randvoorwaarden – zoals de grootte van het gebied, de opening naar de rivier en de aanleg van geulen – grotendeels gecreëerd door de beheerders in functie van de doelstelling die wordt beoogd in het gebied. Ook in latere fases van de ontwikkeling kan het beheer een belangrijke impact hebben op de verdere ontwikkeling, denk aan beslissingen rond maai- en graasbeheer of het beschikbaar stellen van slib voor snellere opslibbing. Er kunnen tussentijdse ingrepen gebeuren wanneer de ontwikkeling niet naar wens verloopt.

4.1. Veiligheid

Bij het cyclisch ontpolderen en inpolderen staat veiligheid centraal. Tijdens het proces van de opslibbing dient het schor als buffer tegen golfwerking doordat de druk op de dijk afneemt. Deze vorm van kustverdediging wordt de laatste jaren in Groot-Brittannië veel toegepast ("managed realignment"). Wanneer het gebied is opgeslibd en opnieuw kan worden ingepolderd, vormt dit een hooggelegen landgordel tussen de rivier en het achterliggende land. Dit heeft tot gevolg dat de dijken minder hoog en zwaar dienen te zijn om het land te beschermen.

Aanvoer van sediment

Om een polder zo snel mogelijk te laten bijdragen tot de kustverdediging, is het belangrijk dat de ophoging snel gebeurt. In eerste instantie is hiervoor voldoende sedimenttoevoer nodig. Door de dynamiek binnen een estuarium wordt sediment van de bodem opgewarrelt in dynamische zones, komt het in de waterkolom terecht en wordt het getransporteerd naar luwere plaatsen. Ter hoogte van de brakwaterzone bevindt zich het troebelheidsmaximum en is de concentratie aan gesuspendeerd materiaal het grootst. Onderzoek toonde tevens aan dat tijdelijke stroomsnelheidspulsen tijdens stormen vaak een hogere bijdrage leveren tot de netto accretie dan de dagelijkse getijwerking (Bakker et al., 2002; van Oevelen et al., 2000 en referentie daarin). Tijdens stormen wordt een grote hoeveelheid sediment aangevoerd en verandert het sedimentatiepatroon. Er treedt resuspensie op in de krekens, wat een extra toevoer van sediment betekent dat door de hogere waterstand over het ganse schor wordt verspreid (Reed et al. 1999).

De hoeveelheid gesuspendeerd materiaal in de waterkolom kan artificieel worden verhoogd door het storten van baggerspecie op een strategisch gekozen plaats. Bij het storten zal het sediment met het getij de polder worden binnengebracht en daar sedimenteren. De verdere erosie van het gestorte materiaal kan op langere termijn positief werken op de opslibbing van de polder (Stapel en de Jong 1998). Een drastische ingreep om de ophoging van een polder bepalen, is het rechtstreeks opspuiten van de polder met baggerspecie. Dit is een veelgebruikte strategie in de VS die vaak wordt gecombineerd met het aanplanten van *Spartina* spp. De groei van de aangeplante vegetatie blijft echter vaak achter in vergelijking met natuurlijke plantengroei (zie verder). De bereikbaarheid van de polder voor het sediment hangt af van de mate waarin het getij kan binnendringen en de volledige polder kan bereiken. In eerste instantie bepaalt de dimensie van de opening in de dijk hoeveel sedimentrijk water de polder kan bereiken. Echter, de grootte van de opening moet in balans zijn zodat de doorlaat de erosieve krachten van de getijwerking beperkt en de resterende dijk de polder voldoende beschermt tegen de externe golfenergie om resuspensie van het sediment te voorkomen (zie verder). Vervolgens zorgt de aanleg en het onderhoud van geulen en krekens ervoor dat het water en het gesuspendeerde sediment verder in de polder kan binnendringen en dieper gelegen delen kan bereiken (refs). In ingepolderde gebieden zijn vaak nog relictten van oude krekens aanwezig. Deze kunnen een belangrijke aanzet vormen voor de ontwikkeling van een nieuw krekensysteem, al dan niet gecombineerd met het uitgraven van een deel ervan. Tot slot wordt sedimentatie bepaald door de vorm en oriëntatie van de polder ten opzichte

van de kustlijn. Van Oevelen et al. (2000) vonden echter geen directe link tussen de vormindex (= maximale lengte/gemiddelde breedte) en sedimentatiesnelheid. De reden hiervoor is dat ook andere randvoorwaarden een relatie uitoefenen op deze relatie (onder andere krekensysteem, dimensie van de bres). Er kan worden aangenomen dat langgerekte polders dwars op de kustlijn moeten worden vermeden. Dit wordt onder andere geïllustreerd door het Sieperdaschor waar de sedimentatie achteraan het gebied achterwege bleef.

Accretie

Nadat het sediment de polder heeft bereikt, moeten de omstandigheden gunstig zijn voor sedimentatie en moet resuspensie zoveel mogelijk worden beperkt. Een aantal factoren kan dit beïnvloeden. Zo ligt de stroomsnelheid op minder steile hellingen lager, wat de sedimentatie ten goede komt (French 2006, Esselink et al. 1998). Verder bevordert plantengroei de invang van sediment. Plantengroei begint op natuurlijke manier rond de gemiddelde hoogwaterlijn, maar kan ook worden aangeplant. Een methode die al in het begin van de vorige eeuw is toegepast om gebieden versneld te laten sedimenteren in de Nederlandse Zuidwestelijke Delta is het aanplanten van *Spartina*. Dit moest het sediment stabiliseren en sneller sediment in vangen (Roberts & Pullin, 2008). Ook zoetwatervegetatie die nog op de polder aanwezig is kan sediment invangen, waardoor de initiële ophoging sneller verloopt. Op lange termijn kan dit echter de opslibbingsprocessen tegenwerken. De afbraak van de planten net onder het sediment oppervlak kan leiden tot zuurstofloosheid en een ophoping van natrium, waardoor zelfs de meest zoutminnende planten zich niet kunnen vestigen (French, 2006, Macleod et al., 1999). In dat opzicht zou het afgraven van de zoetwatervegetatie na dijkdoorbraak aan te raden zijn.

Begrazing van de hoger gelegen schorvegetatie is minder gunstig indien een snelle opslibbing gewenst is. Door begrazing blijft een lagere vegetatie achter op het schor, waardoor minder sediment wordt ingevangen.

Resuspensie kan, vooral op onbegroeide slikken, worden tegengewerkt door zowel de interne golfenergie (gegeneerd door de wind) als externe golfenergie (vanuit het estuarium) te beperken. De interne golfenergie kan worden beperkt door de strijklengte van de golven en de energie die hierbij wordt gecreëerd zo klein mogelijk te houden. Dit kan door kleinere polders te laten opslibben of golfbrekende structuren in grotere polders aan te brengen. Hier kan aquacultuur (bijv. oestertafels) ook een rol in spelen (zie verder). De invloed van de externe golfenergie kan worden beperkt door een deel van de dijk te bewaren. Deze dijk zorgt voor luwte in het gebied.

4.2. Natuur

Een dynamisch natuurgebied in een estuarien intergetijdsysteem bestaat uit slikken die door sedimentatie geleidelijk overgaan in laag schor en vervolgens in hoog schor en waar alle functies van een natuurlijk systeem zich kunnen ontwikkelen. Na de toevallige dijkdoorbraken ten gevolge van stormen is vaak een spontane schorontwikkeling waargenomen (French, 1999), maar dit is niet steeds zo. Een voorbeeld hiervan is de Emmapolder, zo'n 20 ha groot, in Noord-Nederland dat overgroeid werd door onkruid (Bakker et al., 2002).

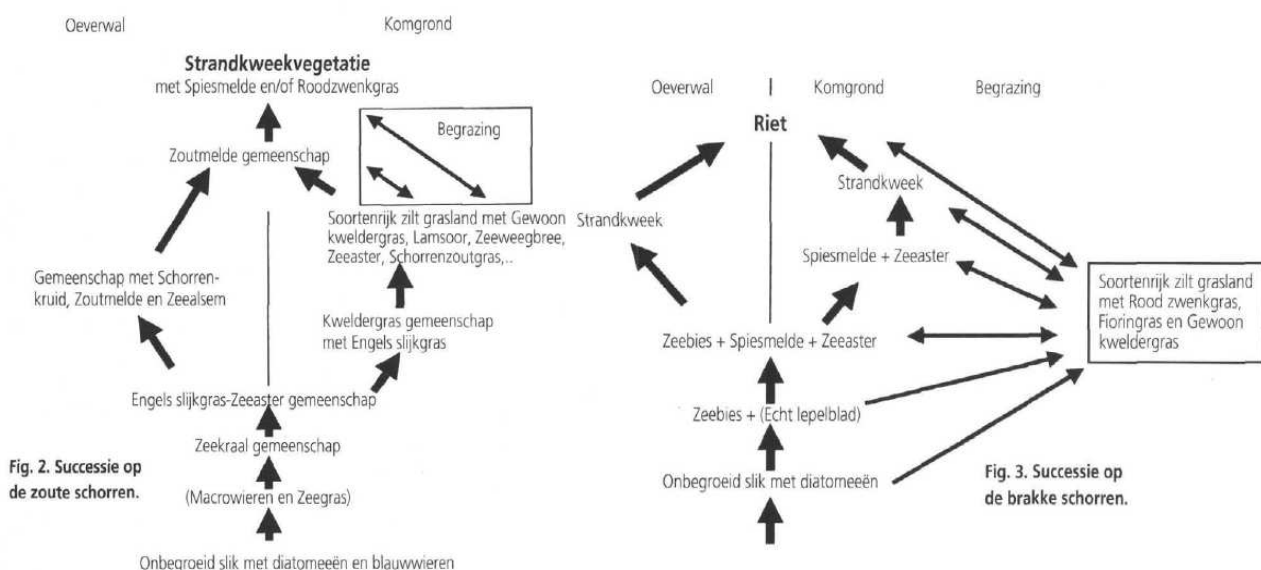
Er bestaan verschillende manieren om het succes van een ontpoldering af te wegen (Wolters et al., 2005 en daarin vermelde referenties). Eén optie is dat er wordt gekeken of de doelen van het beheersplan zijn gehaald. In veel gevallen zijn echter geen hersteldoelen gedefinieerd. Een andere optie is dat de ecologische structuur en functie wordt vergeleken met referentie sites. De beoordeling zal hierbij echter sterk afhangen van de keuze van de referentiesite. Vaak is een vergelijking met de referentiesite niet relevant, omdat het ontwikkelende schor een andere hoogteligging heeft of het substraat verschilt. Ook is het mogelijk dat de gekozen referentie site zelf al is gedegradeerd, waardoor het niet geschikt is als streefdoel voor een nieuwe schorontwikkeling. Tot slot kan ook worden vergeleken met een historische

referentie. Het probleem hierbij is echter dat streven naar een ontwikkeling zoals die gekend is van voor de industriële revolutie, toen er minder vervuiling was, het habitat minder gefragmenteerd, en een aantal soorten nog niet uitgestorven, onder huidige omstandigheden niet realistisch meer is (Ehrenfeld 2000). Kentula (2000) stelt voor om ook naar de toegevoegde landschappelijke waarde (landscape success) te kijken, dit wil zeggen dat er wordt onderzocht hoe het gebied bijdraagt tot de ecologische integriteit van de regio of het landschap en bijdraagt tot het behoud van biodiversiteit.

In de praktijk wordt meestal de ontwikkeling van de vegetatie gevolgd als indicator voor natuurherstel. Het is echter niet duidelijk of dit de beste indicator is; ook de ontwikkeling van de gemeenschappen van benthische en epibenthische invertebraten, vissen, vogels kan relevant zijn (Miren et al., 2001), net als biogeochemische processen zoals de uitwisseling van nutriënten en organisch materiaal (Dausse et al., 2005). Dit laatste kan echter ook een belangrijke parameter zijn. Natuurlijke schorren zijn belangrijke in de nutriëntencyclus en voor de afbraak van organisch materiaal. Uit een studie in de Verenigde Staten (Craft et al., 1999) op opgespoten en aangeplante schorren is gebleken dat de plantengemeenschap zich kan herstellen na 5 jaar terwijl de benthische infauna daar eerder 10 tot 15 jaar over doet. Biogeochemische processen, met name de accumulatie van organische stof en nutriënten en getij-uitwisseling van nutriënten kan nog langer duren (Craft et al., 1999 en daarin vermelde referenties). Craft et al. (1988) stelden vast dat het macro-organische materiaal in een aangeplant schor de natuurlijke waarden kan benaderen na 15 tot 30 jaar. De ontwikkeling van koolstof, stikstof en fosfor reservoirs in de bodem kan echter veel langer duren. Na ontpoldering van de Carmel Polder (Bay of Veys, Northwestern France) bleek de uitwisseling van organisch materiaal en nutriënten na 12 tot 14 jaar na de dijkdoorbraak vergelijkbaar met een jong schor (Dausse et al., 2005).

Vegetatie

Het proces van de schorvorming wordt in eerste instantie gedreven door kolonisatie door schorplanten. De planten creëren microhabitats en modificeren hun omgeving zodat de schorvorming evolueert (Miren et al., 2001). De vegetatie zorgt voor sedimentinvang, stuurt mee de nutriëntencyclus, dempt de golfenergie, is belangrijk voor de voortplanting van vis en voor het creëren van rust-, broed- en foerageergebied voor vogels. Voor zoet-, brak- en zoutwaterschorren zijn de typische successiepatronen gekend. In figuur 4 wordt de vegetatiesuccessie weergegeven voor brak- en zoutwaterschorren in onze contreien.



Figuur 4: Vegetatiesuccessie op zoute (links) en brakke (rechts) schorren. uit Hoffmann et al. (2001).

Hoewel (een aantal) schorplanten de ontpolderde gebieden vaak snel herkoloniseren eens ze terug overstroomd worden, verschildt het herstelde schor vaak nog decennialang in soortenrijkdom, samenstelling en structuur ten opzichte van referentiegemeenschappen (Miren et al., 2001; Garbutt en Wolters, 2008). De vegetatie op de nieuwe schorren is meestal minder divers, of bestaat ook op hoger gelegen plaatsen uit typische gemeenschappen voor lagere zones (Garbutt en Wolters, 2008). In de UK is voor 37 ontpolderde gebieden informatie beschikbaar over de vegetatiesamenstelling. Per site werd gekeken hoeveel van de verwachte soorten er voorkomen. Het aantal bleek tussen de 18% en 64% te liggen (Wolters et al., 2005). In de Waddenzee bleek dit percentage wel hoger te liggen (56-92%). Vooral soorten die typisch zijn voor hoog schor bleken te ontbreken. Het is niet duidelijk of deze soorten zeldzaam zijn en niet worden geobserveerd door een te beperkte monitoring, of dat ze afwezig zijn door een beperkte dispersie capaciteit of abiotische of biotische beperkingen binnen het herstelde gebied. De lagere diversiteit kan een gevolg zijn van verschillende abiotische condities en hogere dichtheid aan *Spartina* op nieuwe schorren (Garbutt & Wolters, 2008). Vaak worden ontpolderde gebieden snel gekoloniseerd door invasieve uitheemse soorten, of de neo-endemische soort *Spartina* sp., die zich vervolgens snel kunnen ontwikkelen tot monospecifieke gemeenschappen (Garbutt en Wolters, 2008). Zo beïnvloeden ze niet enkel de samenstelling en structuur van de gemeenschappen, maar ze kunnen ook de microhabitatsamenstelling beïnvloeden waardoor inheemse soorten, zoals vogels en insecten, hinder ondervinden (Garbutt en Angus, 2008). In onbegraasde schorren wordt de hoogste soortenrijkdom rond 15 jaar na restauratie waargenomen, maar na verloop van tijd gaat vaak één of een paar hoog groeiende soorten domineren (bv. Gewone zoutmelde of strandkweek op zoute schorren of riet of kweek op brakwaterschorren) (Wolters et al., 2005). Soortendiversiteit kan echter behouden worden door begrazing of maaien (Wolters et al., 2005).

In NW Europa bevatten veel schorren die zijn ontstaan op ontpolderde gebieden minder dan de helft van de regionale doelsoorten (Wolters et al., 2005). Vooral in gebieden kleiner dan 30 ha is de diversiteit vaak een stuk lager dan in natuurlijke systemen. De hoogste diversiteit wordt waargenomen op plaatsen die groter zijn dan 100 ha en waar de helling zich uitstrekt tussen gemiddeld hoog water bij dood tij en gemiddeld hoog water bij springtij. In die zone, die ongeveer 400 a 500 keer per jaar wordt overstroomd, komt meestal de beste schorontwikkeling voor (Toft & Maddrell, 1995). In dat opzicht is het vooral de diepte van het gebied (loodrecht op de waterlijn) die van belang is voor de ontwikkeling van een volwaardig schor, eerder dan de breedte (parallel aan de waterlijn) (Wolters et al., 2005).

De bereikbaarheid van schorren voor zaden is een erkende kritische factor in het herstel van schorvegetatie (Miren et al., 2001). De kolonisatie van planten moet vooral gebeuren vanuit nabijgelegen schorren (Wolters et al., 2005). De aanwezigheid van een schor nabij het ontpolderde gebied faciliteert een snelle recolonisatie van de polder (Erfanzadeh et al., 2010). Zaad van schorplanten wordt voornamelijk via de waterkolom verspreid over korte afstanden (Garbutt en Wolters, 2008 en daarin vermelde referenties). In het Sieperdaschor zijn nagenoeg alle plantensoorten teruggevonden die je in het gebied kan verwachten, vermoedelijk omdat zaden makkelijk kunnen worden binnengebracht uit het voorliggende schor (Bakker et al., 2002). De hoeveelheid zaden die een ontpolderd gebied kunnen bereiken zijn verder afhankelijk van de getij-amplitude (meer water boven het oppervlak kan meer zaden importeren). Sites die volledig open zijn voor getijwerking zouden meer divers zijn dan sites waar de oude dijk nog aanwezig is (French, 2006). Het aantal kiembare zaden dat wordt verspreid via uitwerpselen van vogels is beperkt (Bakker et al., 2002) en schorplanten lijken niet in staat een langdurige zaadbank in de bodem op te bouwen, waardoor vaak geen zaden meer aanwezig zijn in de polder bij de ontpoldering (Wolters et al., 2005). Vegetatie kan ook worden aangeplant, maar uit eerdere studies is gebleken dat hoe natuurlijker de regeneratie van het schor in termen van sedimentatie en kolonisatie, hoe beter voor de natuurwaarde (French. 2006, Bakker et al., 2002)

Een andere cruciaal aspect in de vegetatieontwikkeling is de beschikbaarheid van nutriënten. Dit blijkt onder andere uit studies in de Verenigde Staten. Het succes van vegetatieontwikkeling op artificieel opgehoogde polders hangt vaak samen met de nutriëntensamenstelling, en dan vooral de

stikstofbeschikbaarheid, van het aangevoerde slib (Boyer, 2000). Samen met suppleties wordt vaak vegetatie aangeplant. De planten sterven vaak vroegtijdig af door een onevenwicht tussen de biomassa van de wortels en bovengrondse biomassa, of ontwikkelen tot een eentonig vegetatiedek, hetgeen een gebrek aan microhabitaten tot gevolg heeft (Boyer et al., 2000, Moy & Levin, 1991). Een hogere stikstofbeschikbaarheid in het sediment heeft meestal een positief effect op de ontwikkeling van de flora (Boyer et al., 2000). Bij Europese ontpolderingen heb je veeleer te maken met een teveel aan nutriënten door vroegere bemesting of afvoer van nutriënten vanuit de omgeving. Dit kan de groei van groenwieren bevorderen. De aanwezigheid van groenwiermatten op het sedimentoppervlak kan verstikkend werken en het kolonisatieproces bemoeilijken.

Geulen en een dendritisch krekensysteem zorgen voor een goede drainage van de bodem wat de vestiging van planten ten goede komt (Wolters et al., 1995, Eertman et al., 2002, van Oevelen et al. 2000). Dit wordt geïllustreerd in het Sierpdaschor (Eertman et al., 2002). In artificieel gedraineerde gebieden kan plantengroei 20 cm lager t.o.v. MHW beginnen dan in natuurlijke gebieden (Bakker et al., 2002). Een dendritisch krekensysteem ontwikkelt zich meestal niet spontaan na ontpoldering en vereist aanleg door de beheerder.

Tot slot is het aangewezen de zoetwatervegetatie op het moment van de ontpoldering te verwijderen. Deze vegetatie sterft af wanneer het wordt overspoeld door brak of zout water. Door het afbraakproces wordt het sediment anoxisch kan natrium zich opstapelen, waardoor vestiging van schorplanten negatief kan worden beïnvloed.

Benthos

Naast de flora is ook de fauna een belangrijk element van een gezond functionerend intergetijden ecosysteem. Het herbergt een rijke benthische gemeenschap en dient als kraamkamer voor verschillende soorten vis. De snelheid waarmee het benthos het schor herkoloniseert en een dichtheid en diversiteit bereikt die vergelijkbaar is met natuurlijke schorren in de omgeving verschilt sterk van plaats tot plaats. In de Sierperdaschor werd reeds na 5 jaar een herstel waargenomen, terwijl op andere plaatsen na bijna 20 jaar nog geen volledig herstel is opgetreden (Van Oevelen et al. 2000). Het lijkt erop dat de benthos gemeenschap er langer over doet om zich te herstellen dan de vegetatie, zeker in gesuppleerde schorren (Craft et al., 1999). Soorten met planktonische larven kunnen zich snel herstellen, terwijl soorten zonder planktonische larven er veel langer over doen. In een gesuppleerd schor was de dichtheid van soorten met planktonische larven hersteld na 3 jaar, terwijl soorten zonder planktonische larven er 8 tot 25 jaar over deden. Vooral bij oligochaeten was het herstel traag (Craft en Sacco, 2003). Het organische gehalte van de bodem – vooral organische C, N, bulk dichtheid en macro-organisch materiaal (MOM) - zou een sturende factor zijn voor de dichtheid van de infauna (Little, 2000; Craft et al., 1999; Craft en Sacco, 2003). De studie van Craft en Sacco (2003) suggereert dat een grenswaarde van 0.5% organische C in de bodem en 500 g MOM moet worden overschreden om dichtheden van infauna te kunnen herbergen die vergelijkbaar zijn met natuurlijke schorren. Taxon diversiteit was dan eerder gelinkt aan vegetatie eigenschappen, vooral MOM kwaliteit (vb. lignine gehaltes) dan bodemeigenschappen. Verder spelen andere bodemeigenschappen, zoals porositeit, zuurstofgehalte en korrelgrootte ook een belangrijke rol in de habitatgeschiktheid voor infauna. Eerst vestigen zich surface deposit feeders, gevolgd door subsurface deposit feeders die verschijnen wanneer het organische stof en slibgehalte in de bodem hoger zijn (Craft et al 1999, Lee et al 1998).

Vissen

De snelheid waarmee vissen een ontpolderd gebied herkoloniseren kan sterk verschillen. De nectonische gemeenschap zou zich in veel gevallen al op een paar jaar tijd kunnen herstellen (Grey et al 2002), maar het kan ook tot meer dan 20 jaar duren (Tupper & Abble 2000). De aanwezigheid van krekken lijkt een positief effect te hebben op de herkolonisatie van het gebied. Kleine kreekjes en een lichte helling zijn belangrijk als foerageergebied en kinderkamer wil dienen. Krekken van hogere orde die voldoende subtidaal gebied hebben en een meanderende vorm met luwtes en overhangende vegetatie dienen als vlucht- en verblijfplaats. Aquatische macrophyten zijn belangrijk paaisubstraat voor sommige soorten (Van Oevelen et al 2000). De vorm van het ontpolderde gebied is van belang. Zo blijken blokvormige sites sneller te worden gekoloniseerd dan smalle sites.

Vogels

Ook vogels maken een belangrijk deel uit van een gezond schorre ecosysteem. De kolonisatie door vogels gaat in belangrijke mate samen met de vegetatieontwikkeling. De kalegrondbroeders die vooral op onbegroeide platen voorkomen, worden naarmate de vegetatie hoger wordt, vervangen door weide en rietvogels (Van Oevelen et al 2000). Over het algemeen lijken dichtheden van watervogels achter te blijven op natuurlijke schorren (Van Oevelen et al 2000).

Chemische parameters van de bodem

Saliniteit van het grondwater haalt vaak snel vergelijkbare waarden met natuurlijke schorren, maar andere bodemparameters lijken zich minder snel aan te passen. In Tollesbury heeft pH zich na enkele jaren volledig aangepast en is op een aantal plaatsen sterk gestegen. De conductiviteit bleek zich na 10 maand enkel in de bovenste horizonten tot vergelijkbare waarden te hebben ontwikkeld. In Orplands (A en B) was de redoxpotentiaal na enkele jaren nog niet tot natuurlijke waarden ontwikkeld, omdat weggroeiende cultuurgewassen voor een lage redoxpotentiaal zorgen. Het herstel van biogeochemische processen, zoals organische stof en nutriënten accumulatie en tidale uitwisseling van nutriënten, duurt vaak langer dan (Craft et al., 1999 en daarin vermelde referenties). Er wordt algemeen aangenomen dat een hersteld intergetijdengebied vele jaren (tot verschillende decennia) nodig heeft om een gehalte aan organische stof en nutriënten op te bouwen die vergelijkbaar is met natuurlijke waarden. De tijd die nodig is om te ontwikkelen tot een natuurlijke situatie is afhankelijk van de sedimenttoevoer en – samenstelling. Dit gaat over het algemeen sneller in een slibrijke omgeving dan in een zandige omgeving (van Oevelen 2000).

4.3. Aquacultuur

In het concept wisselpolders wordt een deel van het land tijdelijk onder invloed van het getij gebracht, waardoor het land door sedimentatie kan ophogen. De intergetijdennatuur die zo ontstaat kan gecombineerd worden met vormen van extensieve aquacultuur. Uitgangspunten bij aquacultuur in een wisselpolder zijn:

- (1) de natuurontwikkeling in de wisselpolder wordt niet belemmerd
 - a. de te kweken soorten komen van nature voor in het gebied
 - b. het kweken en oogsten heeft minimaal effect op het ecosysteem
- (2) de natuurontwikkeling in de wisselpolder wordt mogelijk bevordert
 - a. de te kweken organismen spelen een rol in de biologische processen van de ontwikkeling
- (3) de aquacultuur activiteit is rendabel
 - a. de soort levert voldoende op per ha
 - b. de soort is te kweken onder de omstandigheden in de wisselpolder
 - c. de teelt brengt een meerwaarde mee die opweegt tegen een lagere productie in een extensief systeem

Bovenstaande uitgangspunten passen in de definitie van biologische aquacultuur. Aquacultuur is biologisch als het bijdraagt aan de gezondheid van het ecosysteem inclusief biodiversiteit, biologische cycli en biologische activiteit (Riddle, 2000). Een biologisch keurmerk kan de waarde van het product verhogen. Criteria voor het verkrijgen van een dergelijk keurmerk zijn samengevat in Kamermans *et al.* (2009a).

De toepasbaarheid van het aquacultuur in wisselpolders wordt in de volgende paragrafen uitgewerkt voor soorten die in het Zeeuwse deltagebied gekweekt kunnen worden. Vervolgens wordt bepaald wat de opbrengst zou kunnen zijn. En tenslotte worden de randvoorwaarden voor teelt aangegeven. Hieruit volgt een selectie van soorten die in aanmerking komen voor teelt in een wisselpolder. Daarnaast wordt het mogelijke effect van de teelt van deze organismen op het functioneren van de wisselpolder beschreven.

Randvoorwaarden voor extensieve aquacultuur in wisselpolder

Vissen

Visteelt vraagt een omgeving die 24 uur per dag onder water staat. In een wisselpolder is getij aanwezig. De inrichting van de polder kan bepalen of de hele polder met laag water droog staat of dat er delen zijn waar water blijft staan. Dit kan een gebied zijn waar het sediment dat met het getij is aangevoerd kan bezinken. Als in de polder al een kreek of een wiel aanwezig is kan dit de wisselpolder geschikt maken voor visteelt. Voor biologische teelt is het van belang dat de pootvis niet afhankelijk is van wildvangst. Daarnaast moet het voer aanwezig zijn in de natuur of plantaardig zijn, of afkomstig van biologische productie. In het aangrenzende estuarium kunnen vissen en prooidieren aanwezig zijn. Deze kunnen bij ingebruikname van de polder naar binnen migreren.

Schelpdieren

Schelpdieren komen zowel voor in sublitorale als litorale gebieden. Belangrijke parameters die de groei en overleving van schelpdieren bepalen zijn maximale duur van droogstand per getij, zoutgehalte, temperatuur, voedselaanbod en zwevend stof gehalte van het water. Schelpdieren eten voornamelijk eencellige algen. Schelpdieren nemen voedsel op door deeltjes uit het water te zeven met hun kieuwen. Deze deeltjes worden vervolgens naar de mond getransporteerd. Bij een hoog zwevend stof gehalte is het aanbod van partikels te hoog voor de schelpdieren. Ze reageren hierop door ofwel minder te filteren, ofwel pseudofeces te produceren (Foster Smith, 1975). Pseudofeces is dat deel van de partikels dat niet naar de mond wordt getransporteerd, maar via de kieuwen weer naar buiten wordt gebracht. Minder filtratie en productie van pseudofeces zorgt voor groeivertraging (Frechette & Grant, 1991).

Wieren

Zeewieren of macro-algen behoren tot de lagere planten. Dat wil zeggen dat ze geen wortels, steel en bladeren bezitten, maar een thallus (het blad) en soms een steel en een voet. Sommige soorten hebben met gas gevulde structuren om het thallus rechtop in het water te houden. De teelt vindt doorgaans plaats aan lijnen of andere structuren die drijven en/of onder het wateroppervlak zijn verankerd. Als uitgangsmateriaal maakt men gebruik van microscopische stadia die gekweekt worden in het laboratorium. Daar wordt het vrijlaten van sporen gestimuleerd en vestigingssubstraat aangeboden (bijv. lege schelpen). Bij sommige soorten is de laboratorium fase niet nodig en kan een stuk thallus direct aan lijnen worden bevestigd voor verdere uitgroei.

Zilte groentes

Wanneer een binnendijks gebied wordt teruggegeven aan de zee zullen na verloop van tijd zilte gewassen op de hoger gelegen delen ontstaan. Deze ontwikkeling kan worden gestimuleerd door het uitzaaien van die gewassen. Als ze daarnaast een commerciële waarde hebben kan gecontroleerd oogsten een economische activiteit zijn. In Nederland en elders in Noordwest Europa is zoutwaterlandbouw als zodanig van oudsher niet beoefend. Vanaf 1983 zijn er initiatieven geweest om

de teelt van zeeaster en zeekraal in met name Zeeland te introduceren. Dit is ondersteund door onderzoeksprojecten (Wagenvoort et al., 1989; Huiskes et al., 1996). Het door de EU gefinancierde project SALINE CROPS heeft de teelt van o.a. *Salicornia* en *Aster* bestudeerd in Zeeland en Portugal (Huiskes et al., 1996). Serrra Maris levert zaden voor de teelt van zeekraal en lamsoor (www.scrops.com). Momenteel vind zeekraal teelt plaats in Zeeland door de firma Poleij in een polder bij Kruiningen en door de firma Janse bij Wolphaartsdijk beide op Zuid Beveland. In het kader van het Zeeuwse Tong project wordt zeekraal geteeld in de Zeeuwse Tong pilot Wilhelmina polder (Blom, 2013).

Andere

Verder kunnen ook soorten zoals zagers worden overwogen om te worden gekweekt in een wisselpolder. Zagers (*Nereis virens*) zijn omnivoren, ze eten mosselvlees, groene macroalgen, zoals zeesla en darmwier, Engels slijkgras, (pseudo)faeces van oesters en detritus (Tenore & Gopalan, 1974; Lehmann, 1980; Olivier et al., 1996). *N. virens* komt zowel in het litoraal als het sublitoraal voor (Reise, 1978). De wormen leven ingegraven in de bodem in U-vormige buizen. Bij hele hoge slibgehalten van het sediment komt de wadpier niet meer voor omdat hij zijn buis niet meer open kan houden (Dankers & Beukema, 1983).

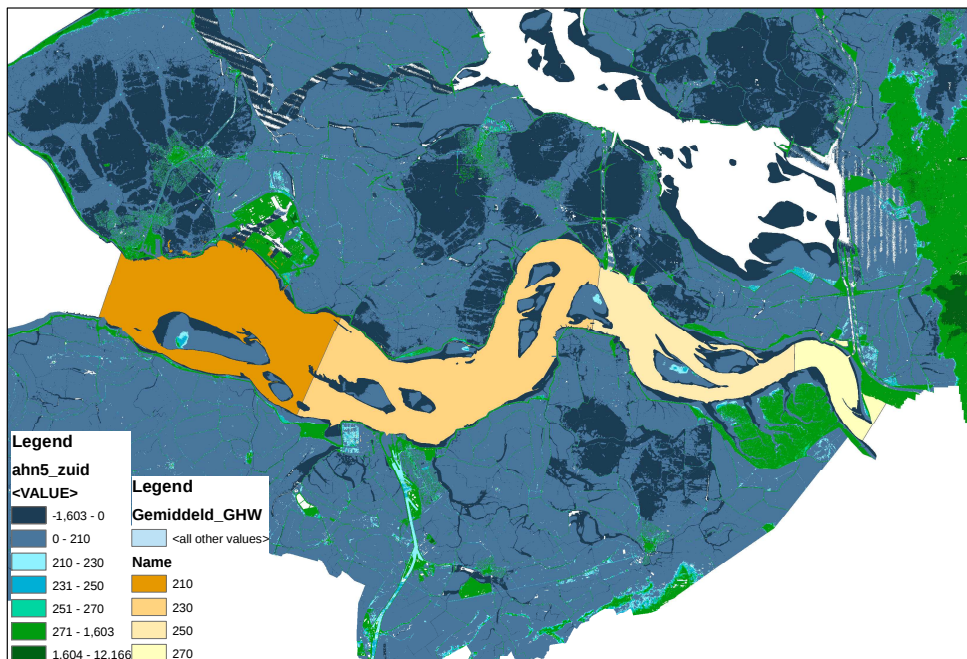
4.4. Andere functies

Naast kansen voor veiligheid, natuur en aquacultuur zorgt het concept van wisselpolders ook voor het versterken en uitbreiden van maatschappelijke aspecten als landschappelijke kwaliteit, recreatiemogelijkheden en beschikbaarheid van zoetwater.

5. Toepasbaarheid in de Zuidwestelijke Delta

5.1. Introductie

De getijdendynamiek, de motor voor schorontwikkeling, is in de Nederlandse Zuidwestelijke Delta enkel nog aanwezig in de Oosterschelde en de Westerschelde. De Oosterschelde kampt echter met hydromorfologische problemen ten gevolge van de Deltawerken, gekend als de zandhonger: platen en slikken eroderen langzaam en de geulen vullen zich met sediment. Niettegenstaande groeien de schorren langs de Oosterschelde verticaal verder aan (van Maldegem & de Jong, 2004). Toch is het wisselpolder idee hier minder toepasbaar omdat de algemene slibbeschikbaarheid in het systeem te klein is om polders op grote schaal te laten opslibben. In de Westerschelde daarentegen bestaan er wel mogelijkheden om het concept verder uit te werken. Veel land rond de Westerschelde ligt onder het GHW (zie figuur 5), de estuariene dynamiek is er groot en het systeem kampt niet met sedimenttekort. Eerder onderzoek wees uit dat er voldoende sediment beschikbaar is om schorren te laten meegroeien met de zeespiegelstijging (Temmerman et al., 2004).



Figuur 5: Hoogtekaart van Zeeland en Zeeuws-Vlaanderen (Bron: Actueel Hoogtebestand Nederland)

5.2. De Westerschelde

5.2.1. Sedimentbeschikbaarheid

De concentratie aan gesuspendeerd materiaal (SSC) varieert sterk in ruimte en tijd in de Westerschelde (figuur 6). Het bestaat voornamelijk uit fijn zand en slib. In de periode 1996-2001 bedroeg de concentratie in het bovenste deel van de waterkolom (wat de schorren overspoelt) 30 tot 60 mg per liter tussen de monding en de Belgisch-Nederlandse, 100 tot 200 mg per liter tussen de grens en Temse. Verder stroomopwaarts neemt de SSC weer af (figuur, Temmerman et al. 2003, 2004). Door de hogere concentratie aan gesuspendeerd materiaal en de grotere getijamplitude, is de aanslibbing over het algemeen veel hoger in de Zeeschelde dan in de Westerschelde. Sedimentbeschikbaarheid in de Westerschelde is geen bepalende factor in de gebiedskeuze. De SSC is behoorlijk constant, behalve vlak

bij de Belgische grens, ter hoogte van het Verdrongen Land van Saeftinghe, waar een hoger SSC is waargenomen dan stroomafwaarts.

Accumulatiesnelheden die kunnen worden verwacht op jonge schorren in de Westerschelde variëren van 1.58 tot 3.22 cm per jaar. Dit is gebaseerd op accumulatiesnelheden die zijn waargenomen tussen 1931 en 1955. In dezelfde periode steeg het GHW niveau tussen 0.32 tot 0.58 cm per jaar. Dit bevestigt dat jonge schorren snel aangroeien ten opzichte van het GHW (figuur 7). Deze jonge schorren zijn ontstaan uit kale slikken na vestiging van schorplanten op een hoogte van 1.10 tot 0.55 m onder het lokale GHW. In de daaropvolgende periode (1955-2002) was de accumulatiesnelheid lager en varieerde van 0.43 tot 1.84 cm per jaar.

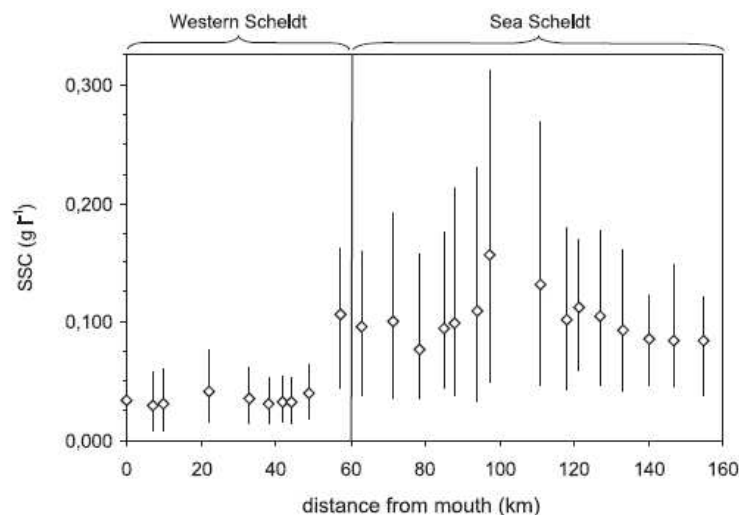


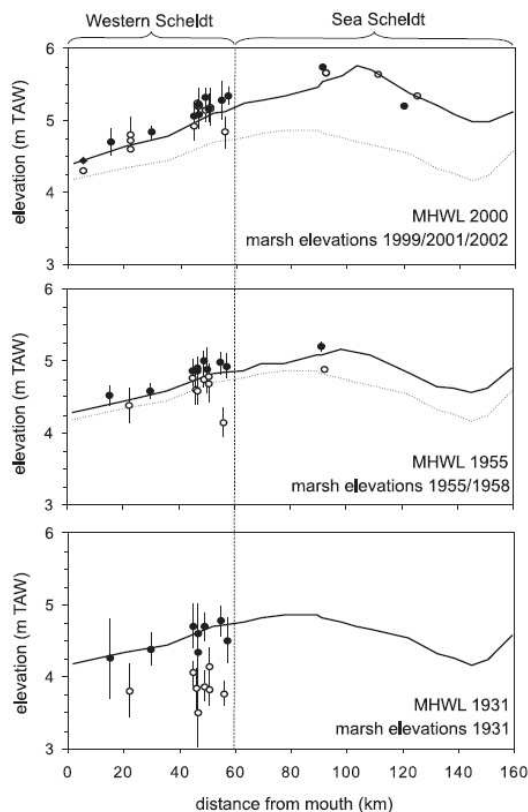
Fig. 3. Time-averaged longitudinal variation in suspended sediment concentration (SSC) along the Scheldt estuary, calculated from monthly monitoring data for 1996-2001 (data of Van Damme et al., 2001). Error bars represent the 10th and 90th percentiles of all SSC measurements at a station.

Figuur 6: Variatie in sedimentconcentratie langs het Schelde estuarium. Uit Temmerman et al. 2004.

Er kan worden gedacht aan methoden om de opslibsnelheid in een wisselpolder te vergroten. Zo kan gebaggerd sediment uit de geulen op strategische plaatsen worden gestort zodat het met het getij de polder wordt binnengebracht. In de polder zelf kunnen structuren worden neergelegd die snellere opslibbing in de hand werken. Op een schor hebben dergelijke structuren echter weinig nut aangezien de vegetatie reeds slib invangt.

Morfologische aspecten die de opslibbingssnelheid in ontpolderde gebieden kunnen beïnvloeden zijn de grootte van de polder en de helling. Dit zijn factoren die kunstmatig kunnen worden bepaald. Door het aanleggen van dijken en het afgraven van het gebied onder de gewenste hellingshoek, kunnen optimale randvoorwaarden worden gecreëerd.

Indien geopteerd wordt voor een systeem met inwaterings- en uitwateringssluizen kan eventueel het inkomende water langer in de polder worden vastgehouden waardoor het gesuspendeerde sediment langer tijd heeft om uit te zakken en te sedimenteren. Wanneer enkel wordt rekening gehouden met randvoorwaarden voor snelle opslibbing, kunnen in principe langsheen de volledige Westerschelde gebieden worden afgebakend van de gewenste grootte. De kostprijs van een ontpoldering kan worden gedrukt indien gebruik gemaakt wordt van bestaande dijken. Geschikte locaties bevinden zich dan vooral tussen Terneuzen en grens (zie verder).



Figuur 7: Geobserveerde accumulatie op schorren (gemiddelde $\pm$ standaarddeviatie) in relatie tot de GHW-stijging (zwarte lijn) langs de Westerschelde over de periode 1955-2002 (A) en 1931-1955 (B). Oudere schorren zijn met zwarte symbolen weergegeven, jonge schorren met open symbolen. (Temmerman et al., 2004)

5.2.2. Natuur

Langs de Westerschelde komen brak- en zoutwaterschorren voor (figuur 8). Beide zijn ecologisch waardevolle elementen. Ook ontpolderde gebieden zouden, afhankelijk van hun positie in het estuarium, tot een brak of zout schor kunnen ontwikkelen. Belangrijk hierbij is echter dat kolonisatie vanuit naburige schorren mogelijk is. Zaden worden vooral vanuit de directe omgeving via de waterkolom in nieuwe gebieden geïmporteerd. In de brakwaterzone bevindt zich het Verdrongen Land van Saeftinge wat als zaadbron voor naburige polders dienst zou kunnen doen. Het areaal aan zoutwaterschorren is echter veel schaarser. Mogelijk kan de beschikbaarheid van zaden een beperkende factor zijn bij de ontwikkeling van schorren in de zoutwaterzone. Veel zal echter afhangen van de positie van een bestaand schor ten opzichte van een nieuw te ontwikkelen schor. Indien beide in elkaars directe omgeving liggen, kan het probleem beperkt of onbestaande zijn, maar met grotere afstand reëel.



Figuur 8a: Het uitgestrekte brakwaterschor van het Verdronken Land van Saeftinghe in de Westerschelde (oppervlakte = 3500 ha).



Figuur 8b: Een voorbeeld van één van de kleinere zoutwaterschorren (Paulinaschor) langs de Westerschelde (oppervlakte = 53 ha).

5.2.3. Aquacultuur

5.2.3.1. Gekweekte soorten die in aanmerking komen voor teelt in de Zeeuwse delta

Momenteel worden wereldwijd 445 aquatische soorten gekweekt (Tabel 1). Het betreft zeewieren, kreeftachtigen, vissen, schelpdieren, kikkers, kwallen, zakpijpen, zee-egels, zee-ekomkommers en schildpadden. Van deze soorten komen er 20 soorten voor die voor teelt in het Zeeuwse deltagebied in aanmerking zouden kunnen komen (Tabel 2).

Tabel 1. Gekweekte aquatische soorten (www.fao.org).

Groep	aantal soorten
Zeewieren	
bruine zeewieren	6
groene zeewieren	6
rode zeewieren	12
andere wieren	5
kreeftachtigen	
Krabben	9
Kreeften	6
zoetwater kreeftachtigen	18
Garnalen	27
Vissen	
diadrome vissen	42
zoetwater vissen	103
zoutwater vissen	109
schelpdieren	
Zeeooren	12
ingegraven schelpdieren	35
Mosselen	13
Oesters	15
st jacobs schelpen	8
Inktvissen	3
zoetwater mollusken	3
Divers	
Kikkers	2
Kwallen	2
Zakpijpen	2
zee-egels	2
Zeekomkommers	2
Schildpadden	3
Totaal	445

Tabel 2. Gekweekte zoutwater soorten die voorkomen in het Zeeuwse deltagebied (www.fao.org, Brandenburg et al., 2004; Reith et al., 2005) gerangschikt naar waarde. ^a = waarde in 2008. Een gedetailleerde beschrijving van elke soort is weergegeven in Bijlage A.

Naam	latijnse naam	waarde product (€ kg ⁻¹)	Referentie
Tong	<i>Solea solea</i>	10.68	www.fao.org ^a
Zeekraal	<i>Salicornia europaea</i>	7.00	Brandenburg (2007)
Tarbot	<i>Psetta máxima</i>	5.04	www.fao.org ^a
Zager	<i>Nereis virens</i>	5.00	Uit van der Hiele et al, 2008 en daarin vermelde referenties
Zeebaars	<i>Dicentrarchus labrax</i>	4.68	www.fao.org ^a
Platte oester	<i>Ostrea edulis</i>	4.18	www.fao.org ^a
Lamsoor	<i>Aster triplolium</i>	3.50	Brandenburg (2007)
Pollak (witte koolvis)	<i>Pollachius pollachius</i>	3.46	www.fao.org ^a

Bot	<i>Platichthys flesus</i>	2.51	www.fao.org ^a
Kabeljauw	<i>Gadus morhua</i>	2.46	www.fao.org ^a
Wijde mantel (Queen)	<i>Aequipecten opercularis</i>	2.33	www.fao.org ^a
Kokkel	<i>Cerastoderma edule</i>	1.95	www.fao.org ^a
Mossel	<i>Mytilus edulis</i>	1.31	www.fao.org ^a
Japanse oester	<i>Crassostrea gigas</i>	1.00	www.fao.org ^a
Viltwier	<i>Codium fragile</i>	0.96	www.fao.org ^a
Suikerwier (Kombu)	<i>Laminaria saccharina</i>	0.88	www.fao.org ^a
Strandgaper	<i>Mya arenaria</i>	0.53	www.fao.org ^a
Purperwier (Nori)	<i>Porphyra umbelicalis</i>	0.31	www.fao.org ^a
Knoopwier	<i>Gracilaria verrucosa</i>	0.29	www.fao.org ^a
(Wakame)	<i>Undaria pinnatifida</i>	0.27	www.fao.org ^a

Voor het verkrijgen van een rendabele aquacultuur activiteit is de teelt van de duurdere soorten aan te bevelen. Soorten met een hoge marktwaaarde zijn de vissen Tong, Tarbot en Zeebaars, de pionier schorplant Zeekraal, de polychaet Zager en de bivalve Platte oester. De potentiële opbrengst hangt echter ook af van de opbrengst per hectare en het aantal jaar nodig tot de oogst. Deze getallen zijn voor een selectie van soorten weergegeven in tabel 3. Deze selectie is gebaseerd op hoeveel ervaring is opgedaan met de teelt van een bepaalde soort. Omdat aquacultuur niet de hoofdfunctie van de wisselpolder is, is het raadzaam een soort te kiezen waarvan de teelt zich al heeft bewezen. Op basis van dit criterium zijn soorten als Tong, Pollak en Viltwier weinig geschikt om te worden gekweekt in wisselpolders (zie ook bijlage A). Anderzijds is ook rekening gehouden met de grenzen waarbinnen omgevingsparameters mogen fluctueren of de soort ook gekweekt kan worden in een wisselpolder. Dit betreft bijv. temperatuur, zoutgehalte, zuurstofgehalte, voedselaanbod, maximale duur van droogstand per getij en zwevend stof gehalte van het water. Deze randvoorwaarden worden beschreven in tabel 4.

Tabel 3. Opbrengst van teelt van vissen, zagers, schelpdieren, wieren en zilte groentes.

Soort	waarde product in euro per kg (uit Tabel 2)	opbrengst in kg/ha/jr	aantal jaar nodig tot oogst	opbrengst in euro per ha per jaar	referentie
Zeekraal	7.00	12000	1	84000	Uit Van der Voort, 2005 en daarin vermelde referenties
Zagers	5.00	15000	1	75000	Hoekstra et al, 2005
Mossel (bouchot)	1.31	32000	1	41920	www.fao.org
Zeeaster (Lamsoor)	3.50	10000	1	35000	Goossen 1999
Japanse oester (zak op tafel)	1.00	25000	3	25000	www.fao.org
Platte oesters (zak op tafel)	4.18	5000	4	20900	Uit van der Hiele et al, 2008 en daarin vermelde referenties
Zeebaars	4.68	500	3	2340	www.fao.org
Purperwier (Nori)	0.31	2100	1	651	Lobban & Wynne, 1981
Knoopwier	0.29	1500	1	435	Xin, 1989

Een analyse van de randvoorwaarden en opbrengst van gekweekte zoutwater soorten die voorkomen in het Zeeuwse deltagebied laat zien dat zeekraal, lamsoor, zagers, mosselen, Japanse oesters en platte oesters de meest geschikte soorten zijn voor teelt in een wisselpolder (Figuur 4). Omdat er een gradiënt in zoutgehalte bestaat in de Westerschelde kunnen niet alle soorten in het gehele gebied worden gekweekt (Tabel 5). Vanwege het lage zoutgehalte is het meest oostelijke gedeelte van de Westerschelde (ten oosten van Hansweert) minder geschikt voor marine cultures. In het gedeelte van de Westerschelde tussen Hansweert en Terneuzen kunnen zeekraal, lamsoor, zagers en mosselen worden gekweekt. Westelijk van Terneuzen kunnen daarnaast ook Japanse en platte oesters worden gekweekt. Wanneer wordt besloten om producten te kweken voor consumptie moet er rekening mee worden gehouden dat deze producten aan bepaalde eisen moeten voldoen. Stoffen als PCBs, zware metalen en PAKs zijn schadelijk voor het milieu, maar ook voor de gezondheid van mensen.

Tabel 4. Randvoorwaarden voor teelt van zagers, schelpdieren en zilte groentes. Minimale (min), maximale (max) en optimale (opt) waarden zijn weergegeven. Referenties zijn aangegeven met letters. ? betekent dat er geen informatie over is gevonden.

parameter →		zoutgehalte (‰)			droogstandduur (h per getij)			zwevend stof gehalte (mg/l)		
soort ↓		min	max	opt	min	max	Opt	min	max	opt
Zagers	<i>Nereis virens</i>	8 ^a	> 33 ^a	33 ^a	0	?	0	0	?	?
Platte oesters	<i>Ostrea edulis</i>	11 ^b	40 ^c	32-34 ^d	0	lower intertidal ^c	0	0	> 88 ^e	?
Mossel	<i>Mytilus edulis</i>	4-5 ^f	40 ^c	?	0	upper intertidal ^g	0	0	300 ^h	90 ^h
Japanse oester	<i>Crassostrea gigas</i>	10 ⁱ	35 ⁱ	20-25 ⁱ	0	lower intertidal ^j	0	0	300 ^h	90 ^h
Zeekraal	<i>Salicornia europaea</i>	0 ^k	51 ^l	22-32 ^m	8.5 ⁿ	?	11 ⁿ	0	60 mm/year ⁿ	?
Zeeaster (Lamsoor)	<i>Aster tripolium</i>	0 ^o	27 ^l	11-21 ^m	9.5 ⁿ	?	11 ⁿ	0	60 mm/year ⁿ	?

a Oglesby 1982; b Korringa 1976; c www.marlin.ac.uk/biotic; d Walne 1974; e Utting 1988; f Kautsky 1982; g Seed & Suchanek 1992; h Hawkins et al., 1998; i <http://www.fao.org/fishery/culturedspecies>; j Troost 2009; k Egan & Ungar 1999; l Bogemans & Luyten 2004; m Huiskes et al 1997; n Boorman et al 2001; o Geissler et al 2009.

5.2.3.2. Conclusie

Een analyse van de randvoorwaarden en opbrengst van gekweekte zoutwater soorten die voorkomen in het Zeeuwse deltagebied laat zien dat zeekraal, lamsoor, zagers, mosselen, Japanse oesters en platte oesters de meest geschikte soorten zijn voor teelt in een wisselpolder (Figuur 9). Omdat er een gradiënt in zoutgehalte bestaat in de Westerschelde kunnen niet alle soorten in het gehele gebied worden gekweekt (Tabel 5). Vanwege het lage zoutgehalte is het meest oostelijke gedeelte van de Westerschelde (ten oosten van Hansweert) minder geschikt voor marine cultures. In het gedeelte van de Westerschelde tussen Hansweert en Terneuzen kunnen zeekraal, lamsoor, zagers en mosselen worden gekweekt. Westelijk van Terneuzen kunnen daarnaast ook Japanse en platte oesters worden gekweekt.



Figuur 9: Soorten die in aanmerking komen voor teelt in een wisselpolder (van links naar rechts en van boven naar beneden): zager (www.topsybaits.nl), platte oester (www.spirula.nl), mossel (Keith Hiscock), japanse oester (David Monniaux), zeekraal (Willem Mieras) en lamsoor (Kristian Peters).

Tabel 5. Minimum zoutgehalte op vier locaties in de Westerschelde gebaseerd op metingen van RWS.

Locatie	Periode	Minimum zoutgehalte (‰)	Maximum zoutgehalte (‰)	Gemiddelde zoutgehalte (‰)
Schaar van Ouden Doel	2006- 2009	1.8	13.2	8.2
Hansweert	2000- 2009	6.6	26.9	18.4
Terneuzen	2000- 2009	14.5	28.5	23.2
Vlissingen	2000- 2009	21.0	33.7	29.2

5.2.3.3. Effect extensieve aquacultuur op functioneren wisselpolder

De aanwezigheid van organismen die worden gekweekt heeft effect op het functioneren van een wisselpolder. Bij kweek is het aantal individuen per m² vaak hoger dan in een natuurlijk systeem. Bij de extensieve teelt die hier wordt voorgesteld zal dit echter niet veel hoger zijn. De aanwezigheid van de dieren en planten beïnvloedt de hydrodynamiek. Daarnaast kunnen structuren zoals palen en rekken met zakken, zoals getoond in figuur 1, de stroming beïnvloeden. Veranderende stroomsnelheden kunnen weer effect hebben op de sedimentatiesnelheid van gesuspendeerd materiaal. Hierdoor kan mogelijk het ophogen van de wisselpolder worden versneld.

Schelpdieren voeden zich met eencellige algen die aanwezig zijn in het water. Onverteerd materiaal wordt uitgescheiden als feces. Daarnaast produceren schelpdieren pseudofeces. Dit is materiaal dat weer wordt uitgescheiden voordat het in de mond komt. Zowel feces als pseudofeces zinken uit naar de bodem en kunnen op die manier bijdragen aan de verhoging van de wisselpolder. Voor de Japanse oester is beschreven dat deze soort tot 8.9 mg/1/g DW kan produceren (Deslous-Paoli et al., 1992). Metingen bij een oesterkwekerij in Japan, waar de Japanse oester in hangcultuur aan vlotten werd gekweekt, liet uitzinking zien van 23 g/m²/d (Hayakawa et al., 2001).

Een belangrijk verschil tussen aquacultuur en een natuurlijk systeem is de oogst. Op een bepaald moment in het jaar wordt de biomassa verwijderd uit het systeem en dus verdwijnen nutriënten. In een nutriëntrijke omgeving zoals de Westerschelde lijkt dit geen probleem. De introductie van extra organismen kan door de voortplanting een bron van nieuwe individuen zijn. Hierdoor kunnen soorten die zijn verdwenen, zoals de platte oester, geïntroduceerd worden.

Aquacultuur gaat gepaard met menselijke activiteiten zoals het plaatsen van de organismen in de polder, onderhoud aan de kweekopstelling (voor schelpdieren) en het oogsten. Deze activiteiten kunnen verstoring van bijvoorbeeld vogels veroorzaken. Een goede afstemming van de activiteiten met de aanwezigheid van vogels is daarom noodzakelijk.

5.2.4. *Kansen in de Westerschelde*

Het studiebureau CSO heeft in een studie parallel aan dit onderzoek (zie ook hoofdstuk 6) een aantal gebieden aangeduid langs de Westerschelde die in aanmerking zouden kunnen komen voor opslibbing op basis van sedimentatie-erosiegegevens, cultuurhistorische en landschappelijke elementen en een analyse van de plaatsen waar in de toekomst problemen kunnen verwacht worden bij verdere dijkophoging (zie figuur 10). Uit deze analyse kwamen vooral gebieden naar voor ten oosten van Terneuzen. In dit hoofdstuk wordt getoetst in hoeverre deze gebieden geschikt zijn voor aquacultuur en welke natuurlijke ontwikkeling er kan worden verwacht.



Figuur 10: Kansenkaart voor groeilanden in de Westerschelde. Uit CSO (2010).

5.2.4.1. Natuur

De kolonisatie van de polders zal sterk afhangen van de beschikbaarheid van zaden, en dus bestaande schorren, in de onmiddellijke nabijheid. Veel van de aangeduide gebieden zijn gelegen achter een bestaand schor (zie ook figuur 10). Indien dit schor wordt behouden, kan dit voor rechtstreekse aanvoer van zaden zorgen en kan de kolonisatie snel gebeuren. Ook voor de andere gebieden kan ervan worden uitgegaan dat kolonisatie zal plaatsvinden, zij het iets trager.

5.2.4.2. Aquacultuur

De geselecteerde plekken situeren zich in het vooral in het brakke deel van de Westerschelde. Deze zone is minder optimaal voor de kweek van de meeste soorten beschreven in tabel 4. De beoordeling is gemaakt op basis van de saliniteit in het gebied. Voedselbeschikbaarheid en troebelheid zijn hier niet meegenomen.

Tussen Hansweert en de Belgische grens kan ervan worden uitgegaan dat de schelpdieren en zagers niet kunnen worden gekweekt. De zouttolerantie van de gewassen, zeeaster en zeekraal, is breder en hun kweek zou hier wel mogelijk kunnen zijn. Beide soorten komen voor op de natuurlijke schorren in dit gebied. Tussen Hansweert en Terneuzen varieert de gemiddelde saliniteit tussen 18.4 en 23.2 (gemiddeldes over de periode 2006-2009). Dit sluit dicht aan bij de optimale saliniteit voor zowel zeekraal en zeeaster, maar ook een aantal schelpdieren kunnen hier mogelijk worden gekweekt. Er bestaan mogelijk kansen voor de Japanse oester en mosselen. De optimale saliniteit voor de kweek van de platte oester ligt een stuk hoger dan voor de Japanse oester (32-34 ten opzichte van 20-25). De kweek van de platte oester is daardoor mogelijk beperkt tot het deel ten westen van Terneuzen. Ook voor zagers ligt de optimale saliniteit hoog (33) en zullen de kansen voor kweek ten oosten van Terneuzen beperkt zijn.

6. Draagvlak voor het concept wisselpolders

Gedurende het project is niet alleen aandacht besteed aan de technische haalbaarheid van het concept en de daarbij horende randvoorwaarden, maar is ook aan de maatschappelijke acceptatie gewerkt. Hoewel niet het hoofddoel van het project, zijn hierrond een aantal activiteiten uitgevoerd.

In een vroeg stadium van het project is contact gezocht met CSO Adviesbureau voor Milieuonderzoek. CSO is de trekker van het project Van Zoute Vijand naar Zilte Vriend, waarin een concept wordt uitgewerkt dat nauw bij het wisselpolderidee aansluit. Het concept werd uitgewerkt in het kader van de Delta Award en een haalbaarheidsstudie werd vervolgens uitgevoerd in het kader van SBIR Klimaatadaptatie en Water (CSO, 2010). Het doel van de haalbaarheidsstudie was:

1. Is er voldoende draagvlak voor uitvoering van het concept?
2. Wat zijn de juridische mogelijkheden?
3. Welke locaties zijn het meest geschikt voor ontpolderen?

De belangen in het gebied De Westerschelde zijn groot en verschillen per partij. Verschillende eigenaren, gebruikers, natuur- en milieuorganisaties, beheerders en de overheid (ministeries van LNV en VenW) hebben allen hun eigen belang en eigen ideeën over hoe het Westerschelde gebied moet worden gebruikt en ingericht.

Om draagvlak te kunnen creëren is het noodzakelijk dat alle betrokken partijen voldoende van informatie worden voorzien en dus voldoende kennis over het project hebben. CSO heeft hiertoe één op één gesprekken gevoerd met belanghebbenden en er is een klankbordgroep opgericht die bestaat uit vertegenwoordigers van de provincie Zeeland, ministerie van LNV, Rijkswaterstaat (Zeeland), het Waterschap Scheldestromen, onderzoeksinstituut IMARES (WUR), Kennis voor Klimaat (WUR), Universiteit Wageningen (WUR), het programmabureau Zuidwestelijke Delta, Zeeuwse Milieufederatie (ZMF). Enkele partijen zijn wel betrokken bij het proces maar hebben door omstandigheden niet deelgenomen aan de klankbordgroep (zoals ZAJK, ZLTO).

De conclusies uit de gesprekken met de klankbordgroep en de overige organisaties zijn door CSO, in samenwerking met IMARES, gepresenteerd aan het Programmabureau Zuidwestelijke Delta. Bij deze bijeenkomst werd duidelijk dat de gepresenteerde ideeën heel goed aansluiten bij de langetermijnvisie die in het kader van het Deltaprogramma wordt ontwikkeld.

Dankwoord

Graag bedanken wij John Meulemans en Marijn Tangelder voor waardevolle aanvullingen op het rapport.

Referenties

- Appelbaum, S., J.W. Adron, S.G. Geoge, A.M. Mackie & B.J.S. Pirie (1983). On the development of the olfactory and gustatory organs of the Dover sole, *Solea solea*, during metamorphosis. J. mar. biol. Ass. U.K. 63: 97-108.
- Arts, S.F.W. & W.J. Bouma, 1982. Zeegroente: mogelijkheden tot een commerciële opzet van de verbouw van zeeasters, zeekraal en zeeveegbree in het Lauwersmeergebied. Rijksuniversiteit Groningen, 42pp.
- Avacon, 1995. Marktonderzoek zeegroente (zeeaster en zeekraal). Avacon (Groningen), 30pp.
- Bakker JP, Esselink P, Dijkema KS, van Duin WE, de Jong DJ (2002) Restoration of salt marshes in the Netherlands Hydrobiologia, 478, 29-51.
- Beal BF, Craig D. Lithgow, Dwayne P. Shaw, Shane Renshaw and David Ouellette 1995. Overwintering hatchery-reared individuals of the soft-shell clam, *Mya arenaria* L.: a field test of site, clam size, and intraspecific density. Aquaculture 130: 145-158
- Blom, G, 2013, De ontwikkeling van zilte teelten, concept eindrapport Zeeuwse Tong, PRI, Wageningen UR.
- Bogemans, J & H. Luyten (2004). Zilte tuinbouw. In: Zee in zicht – zilte waarden duurzaam benut. STT 67.
- Boorman L.A., J. Hazelden, M. Boorman (2001) The effect of rates of sedimentation and tidal submersion regimes on the growth of salt marsh plants. Continental Shelf Research 21 2155–2165
- Brandenburg, W.A. (2007) Zilte botanie – Plantenteelt onder zilte omstandigheden in Nederland. Bijlage in: Het zout en de pap, een verkenning bij marktexperts naar langere termijn mogelijkheden voor zilte landbouw door Innovatienetwerk.
- Brandenburg, W.A., P. Kamermans, J. Steenbergen, M.C.J. Verdegem en J.M.D.D. Baars (2004). Mogelijkheden voor zeecultuur in nieuwe getijdennatuur langs de Westerschelde. RIVO Rapport C027/04.
- Buck, B.H. & C.M. Buchholz 2004. The offshore-ring: A new system design for the open ocean aquaculture of macroalgae. Journal of Applied Phycology 16: 355-368.
- Buck, B.H. 2002. Open Ocean Aquaculture und Offshore Windparks. Eine Machbarkeitsstudie über die multifunktionale Nutzung von Offshore-Windparks und Offshore-Marikultur im Raum Nordsee. Berichte zur Polar-und Meeresforschung 412.
- Burd F 1995 Managed retreat: a practical guide. English Nature ed.
- Byers SE, Chmura GL (2007) Salt marsh vegetation recovery on the Bay of Fundy. Estuaries and Coasts 30: 869-877
- Cano, J., J. Campos, F.J. Lopez (2006a). The influence of density and depth on the growth and survival of *Mimachlamys varia* and *Aequipecten opercularis* in Malaga (Spain). Journal of Shellfish Research 25: 272-273.
- Cano, J., J. Campos, F.J. Lopez (2006b). The use of different grow-out methods in the culture of *Pecten maximus*, *Mimachlamys varia* and *Aequipecten opercularis* in Malaga (Spain). Journal of Shellfish Research 25: 273-274.
- Child, A. R., and Laing, I. 1998. Comparative low temperature tolerance of small juvenile European, *Ostrea edulis*, L., and Pacific oysters, *Crassostrea gigas* Thunberg. Aquaculture Research, 29: 103 – 113.
- Craft CB, Broome SW, Seneca ED (1988) Nitrogen, Phosphorus and organic carbon pools in natural and transplanted marsh soils. Estuaries 11: 272-280
- Craft C, Sacco J (2003) Long-term succession of benthic infauna communities on constructed *Spartina alterniflora* marshes. Marine Ecology Progress Series 257: 45-58
- CSO (2010) Van Zoute Vijand naar Zilte Vriend - Wisselpolders langs de Westerschelde. CSO Eindrapport fase 1, referentienr. 103062.

- Dankers, N. & J.J. Beukema (1983). Distributional patterns of macrozoobenthic species in relation to some environmental factors. In: W.J. Wolff. Ecology of the Wadden Sea. Balkema, Rotterdam. 1 (4): 69-103.
- Deltaprogramma Zuidwestelijke Delta (2013). Deltaprogramma 2012. Mogelijke strategieën. Middelburg: 78.
- Dausse A, Mérot P, Bouzillé 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 Boever, A., 1994. Ecofysiologische bepaling van het zoutoptimum voor de zee kraal (*Salicornia* spp.) Universiteit Gent, Landbouwkundige en Toegepaste biologische Wetenschappen, 85pp.
- Deslous-Paoli JM, AM. Lannou, P. Geairon, S. Bougrier, O. Raillard, M. Heral 1992. Effects of the feeding behaviour of *Crassostrea gigas* (Bivalve Molluscs) on biosedimentation of natural particulate matter. Hydrobiologia 231 : 85-91.
- Dijkema, R. (1990). Balans van de activiteiten om de cultuur van de platte oester in Bretange weer op gang te krijgen, einde 1989. Vertaling van Equinoxe 30.
- EFSA (2008). Scientific report of EFSA prepared by Working Group on seabass/seabream welfare on Animal Welfare Aspects of Husbandry Systems for Farmed European seabass and gilthead seabream. Annex I to The EFSA Journal 844: 1-89
- Egan TP & IA Ungar 1999. The effect of temperature and seasonal change on the germination of two salt marsh species, *Atriplex prostrata* and *Salicornia europaea*, along a salinity gradient. Int. J. Plant Sci. 160: 861-867.
- Ehrenfeld JG (2000) Evaluating wetlands within a urban context. Ecological Engineering 15: 253-265
- Ellertsen B., E. Moksness, P. Solemdal, S. Tilseth and V. Oiestad 1977. Rearing of marine fish fry in ponds on the natural food production. 3rd Meeting of the I.C.E.S. Working Group on Mariculture. Brest. France. May 10-13. Actes de Colloques du C.N.E.X.O. 4 (abstract only) : p. 11.
- Engell-Sørensen K, JG Støttrup, M Holmstrup (2004) Rearing of flounder (*Platichthys flesus*) juveniles in semiextensive systems. Aquaculture 230: 475-491
- Erfanzadeh R, Garbutt A, Pétilion J, Maelfait JP, Hoffman M (2010) Factors affecting the success of early salt-marsh colonizers: seed availability rather than site suitability and dispersal traits. Plant Ecology 206: 335-347
- Foster-Smith, R.L. (1975) The effect of concentration of suspension on the filtration rates and pseudofaecal production for *Mytilus edulis* L., *Cerastoderma edule* L. and *Venerupis pullastra* (Montagu). J. Exp. Mar. Biol. Ecol. Vol. 17, pp. 1-22.
- Frechette M & J Grant (1991) An in situ estimation of the effect of wind-driven resuspension on the growth of the mussel *Mytilus edulis* L. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 148: 201-213
- French PW (1999) Managed retreat: a natural analogue from the Medway estuary, UK. Ocean and coastal management 45: 49-62
- Garbutt A, Wolters M (2008) The natural regeneration of salt marsh on formerly reclaimed land. Applied Vegetation Science 11: 335: 344
- Geissler, N., Hussin, S. and Koyro, H.-W. 2009. Elevated atmospheric CO2 concentration ameliorates effects of NaCl salinity on photosynthesis and leaf structure of *Aster tripolium* L. *Journal of Experimental Botany* 60: 137-151.
- Goosen, H., Towards a saline alternative: using halophytes for sustainable agriculture' ODE Ltd., IVM-VU, E99/13, 1999
- Halling, C., G. Aroca, M. Cifuentes, A.H. Buschman & M. Troell, 2004. Comparison of suspended cultivation methods of *Gracilaria chilensis* in an integrated seaweed and fish cage culture. In: Halling, C. 2004. Seaweed integrated mariculture. Prospects and constraints towards increased sustainability. Doctoral thesis, Stockholm University.
- Havens KJ, Varnell LM, Bradshaw JG (1995) An assessment of ecological conditions in a constructed tidal marsh and two natural reference tidal marshes in coastal Virginia. Ecological Engineering 4: 117-141
- Hawkins, A. J. S., Bayne, B. L., Bougrier, S., Héral, M., Iglesias, J. I. P., Navarro, E., Smith, R. F. M. and Urrutia, M. B. (1998). Some general relationships in comparing the feeding physiology of

- suspension-feeding bivalve molluscs. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 219(1-2): 87-103.
- Hayakawa Y., M. Kobayashi, and M. Izawa. 2001. Sedimentation flux from mariculture of oyster (*Crassostrea gigas*) in Ofunato estuary, Japan, *ICES Journal of Marine Science*, 58: 435-444.
- Hoekstra et al., (2005) De kweek van zagers op landbouwbedrijven in Zeeland. Innovatie Netwerk, rapportnummer 05.2.104
- Huiskes A.H.L., R. Lemeur, J. Bogemans, S. Duvekot & J.C. Martins. 1997. Final Report Saline Crops. EC – contract AIR3-CT92-0198.
- Hwang E.K. & J. M. Baek & C. S. Park 2007. Cultivation of the green alga, *Codium fragile* (Suringar) Hariot, by artificial seed production in Korea. *Journal of Applied Phycology*, 20 (5): 19-25.
- Hwang EK, Baek JM, Park CS (2005a) Artificial seed production using the reproduction methods in *Codium fragile* (Chlorophyta). *J Korean Fish Soc* 38:164-171
- Hwang EK, Baek JM, Park CS (2005b) Artificial seed production and nursery culture conditions using regeneration of isolated utricle and medullary filaments of *Codium fragile* (Suringar) Hariot. *J Korean Fish Soc* 38:393-398
- Imsland, A.K., A. Foss, L.E.C. Conceicao, M.T. Dinis, D. Delbare, E. Schram, A. Kamstra, P. Rema, P. White, 2003. A review of the culture potential of *Solea solea* and *S. senegalensis*. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 13: 379 – 407.
- Jones, A. 1973. The ecology of young turbot, *Scophthalmus maximus* (L.) at Borth, Cardiganshire, Wales. *J. Fish. Biol.* 5: 367-383.
- Kain, J.M. 1991. Cultivation of attached seaweeds. In: *Seaweed resources in Europe: uses and potentials*. Eds. M.D. Guiry & G. Blunden. John Wiley & Sons Ltd, Chichester: 309-377.
- Kamermans P, M Poelman, A Kole, R van Veggel (2009a) Haalbaarheidsstudie Biologische Aquacultuur in de Nederlandse mosselsector. IMARES Rapport C071/09
- Kamermans, P., A. Blanco, E. Brummelhuis, A. Smaal (2009b). Zeeuwse Tong Deelproject 8: Binnendijkse schelpdierkweek. IMARES Rapport C043/09
- Kamermans, P., J. Kesteloo & D. Baars (2003). Evaluatie van de geschatte omvang en ligging van kokkelbestanden in de Waddenzee, Ooster- en Westerschelde. RIVO Rapport C054/03.
- Kautsky, N. 1982. Growth and size structure in a Baltic *Mytilus edulis* population., *Marine Biology*, 68, 117-133.
- Kentula ME (2000) Perspectives on setting success criteria for wetland restoration. *Ecological Engineering* 15: 199-209
- Korringa, P. 1976. Farming the flat oysters of genus *Ostrea*. *Developments in Aquaculture and Fisheries Science* (3). Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- Le Francois, N., J. Jobling, C. Carder & P. Blier (2010). *Finfish aquaculture diversification*. Oxfordshire, 681 pp.
- Lehmann, M. (1980). Künstliche Aufzucht des Köderwurms *Nereis virens*. Untersuchung an einer niederländische Population. DIHO Rapporten en verslagen. VIII/3083.
- LNV (2004). Ruimte voor een zilte oogst. Naar een omslag in de Nederlandse schelpdiercultuur. Beleidsbesluit Schelpdiervisserij 2005-2020.
- Lobban C.S. & M.J. Wynne. 1981. *The Biology of seaweed*.
- Lobban, C.S. & P.J. Harrison. 1994. *Seaweed ecology and physiology*. Cambridge University Press. Cambridge, 366 pp.
- Macleod CL, Scrimshaw MD, Emmerson RHC, Chang T-H, Lester JN (1999) Geochemical changes in metal and nutrient loading at Oplands Farm managed retreat site, Essex, UK (April 1995-1997)
- Miren O, Albizu I, Amezcua I (2001) Effect of time on the natural regeneration of salt marsh. *Applied Vegetation Science* 4: 247-256
- Nijssen, H., S.J. de Groot (1987). *De vissen van Nederland*. Stichting Uitgeverij Koninklijke Nederlandse Natuurhistorische Vereniging, Utrecht.
- Oglesby, L.C., C.P. Mangum, A.E. Heacox, N.E. Ready (1982). Salt and water balance in the polychaete *Nereis virens*. *Comp. Biochem. Physiol.* 73a: 15-19.
- Olivier, M., G. Desrosiers, A. Caron, C. Retiere (1996). Juvenile growth of the polychaete *Nereis virens* feeding on a range of marine vascular and macroalgal plant sources. *Mar. Biol.* 125: 693-699.

- Orr M, Crooks S, Williams PB (2003) Will restored tidal marshes be sustainable? San Francisco Estuary and Watershed Science 1
- Pethick J (2002) Estuarine and tidal wetland restoration in the United Kingdom: policy versus practice. Restoration Ecology 10: 431-437
- Reed DJ, Spencer T, Murray AL, French JR, Lynn L (1999) Marsh Surface Sediment Deposition and the Role of Tidal Creeks: Implications for Created and Managed Coastal Marshes. Journal of Coastal conservation 5:81-90.
- Reise, K. (1978). Experiments on epibenthic predation in the Wadden Sea. Helgoländer wiss. Meeresunters. 31: 55-101.
- Reith, J.H., E.P. Deurwaarder, K. Hemmes, A.P.W.M. Curvers, P. Kamermans, W. Brandenburg, G. Zeeman (2005). BIO_OFFSHORE, grootschalige teelt van zeewieren in combinatie met offshore windparken in de Noordzee. ECN rapport C-05-008.
- Riddle, J. (2000). Organic Aquaculture: Meeting Fundamental Organic Certification Requirements, Similarities and Differences Between Terrestrial and Aquatic Organisms, Final Report of the National Organic Aquaculture Workshop, June 23-24, 2000, Minneapolis, Minnesota
- Roberts PD & AS Pullin (2008). The effectiveness of management interventions for the control of *Spartina* species: a systematic review and meta-analysis. Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst. 18: 592-618.
- Salen-Picard, C., A.M. Darnaude, D. Arlhac, M.L. Harmelin-Vivien, 2002. Fluctuations of macrobenthic populations: a link between climate-driven river run-off and sole fishery yields in the Gulf of Lions. Oecologia, 133: 380 – 388.
- Seed, R. & Suchanek, T.H., (1992). Population and community ecology of *Mytilus*. In *The mussel Mytilus: ecology, physiology, genetics and culture*, (ed. E.M. Gosling), pp. 87-169. Amsterdam: Elsevier Science Publ. [Developments in Aquaculture and Fisheries Science, no. 25.]
- Stichting Zeeuwse Tong (2009). Proefproject Zeeuwse Tong.
- Suquet M, B Petton, Y Normant, A Dosdat and J-L Gaignon. 1996, First rearing attempts of pollack, *Pollachius pollachius*. Aquat. Living Resour., 9, 103-106
- Tangelder, M. en 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.
- Tangelder, M., A. Groot, et al. (2013). Innovatieve dijkconcepten in de Zuidwestelijke Delta. Kansen voor toepassing en meerwaarde ten opzichte van traditionele dijken in het kader van Beleidsondersteuning voor het Deltaprogramma Zuidwestelijke Delta. Yerseke, IMARES.
- Temmerman S, Govers G, Meire P, Wartel S (2003a) Modelling long-term tidal marsh growth under changing tidal conditions and suspended sediment concentrations, Scheldt estuary, Belgium. Marine Geology 193 : 151-169
- Temmerman S, Govers G, Wartel S, Meire P (2004) Modelling estuarine variations in tidal marsh sedimentation : response to changing sea level and suspended sediment concentrations. Marine Geology 212 : 1-19
- Temmerman S, Bouma TJ, Van de Koppel J, Van der Wal D, De Vries MB, Herman PMJ (2010) Vegetation causes channel erosion in a tidal landscape. Geology 35: 631-634
- Toft AR, Maddrell RJ (1995) A guide to the understanding and management of salt marches. National Rivers Authority Projects 144. NRA, Peterborough
- Temmerman, S., Bouma, T.J., Govers, G., Lauwaet, D., 2005b. Flow paths of water and sediment in a tidal marsh: relations with marsh developmental stage and tidal inundation height. Estuaries, 28: 338-352.
- Temmerman, S., Govers, G., Wartel, S., Meire, P., 2003b. Spatial and temporal factors controlling short-term sedimentation in a salt and freshwater tidal marsh, Scheldt estuary, Belgium, SW Netherlands. Earth Surface Processes and Landforms, 28: 739-755.
- Tenore K.R. & U.K. Gopalan (1974). Feeding efficiencies of the polychaete *Nereis virens* cultured on hard-clam tissue and oyster detritus. Dep. Biol. 31: 1675-1678.
- Troost K 2009. Pacific oysters in Dutch estuaries, causes of success and consequences for native bivalves. PhD thesis Groningen University, 255 pp.

- Utting, S. D. (1988). The growth and survival of hatchery-reared *Ostrea edulis* L. spat in relation to environmental conditions at the on-growing site. *Aquaculture*, Amsterdam 69:27-38
- van Banning, P (1991). Observations on Bonamiasis in the stock of the European flat oyster, *Ostrea edulis*, in the Netherlands, with special reference to recent developments in Lake Grevelingen. *Aquaculture* 93: 205-211.
- van Maldegem D, de Jong D (2004) Opwassen of verdrinken. Sedimentaanvoer naar schorren in de Oosterschelde, een zandhongerig gedempt getijdesysteem. RIKZ/AB/2003/826x
- Van Oevelen D, Van den Bergh E, Ysebaert T, Meire P (2000) Literatuuronderzoek naar ontpolderingen. Rapport IN.R.2000.7. 50pp.
- Wagenvoort, W.A., J.G. van de Vooren & W.A. Brandenburg, 1989. Plant domestication and the development of the sea starwort (*Aster tripolium* L.) as a new vegetable crop. *Acta Horticulturae* 242: 115-122.
- Walne, P.R. (1974). Culture of bivalve molluscs; 50 years of experience at Conwy. Fishing News Books Ltd, Farnham-Surrey-England, 189 pp.
- Wirjoatmodo S. & T.J. Pitcher, 1984. Flounders follow the tides to feed: evidence from ultrasonic tracking in an estuary. *Est. Coast. Shelf Sci.* 19: 231-241.
- Wolters M, Garbutt A, Bakker JP (2005) Salt-marsch restoration: evaluating the success of de-embankments in north-west Europe. *Biological Conservation* 123: 249-268
- Xin C.J. 1989. *Gracilaria* culture in China. Network of Aquaculture Centres in Asia AC263/E Project reports - No.12, 18 pp.

Verantwoording

Rapport C072/13

Projectnummer: 430.83110.02

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: Aad Smaal
Senior Onderzoeker

Handtekening:



Datum: 12 september 2013

Akkoord: Birgit Dauwe
Afdelingshoofd Delta

Handtekening:



Datum: 12 september 2013

Bijlage A. Soorten die geschikt zijn voor aquacultuur in de Westerschelde

De tabellen waarnaar verwezen staan weergegeven in 5.2.3.

Vissen

Tong

Tong is een nachtdier dat leeft van bodemdieren (wormen en kleine schelp- en schaaldieren) die op de tast en middels chemische signalen gelokaliseerd worden (Appelbaum *et al.*, 1983). Wormen zijn een belangrijk onderdeel van het dieet van de tong (Salen-Picard *et al.* 2002). Tong staat bekend als een 'choosy fish' een kieskeurige eter en daardoor moeilijk commercieel kweekbaar. De wereld productie was 13 ton in 2008 (www.fao.org). Het ontbreken van een geschikt commercieel droogvoer wordt als het belangrijkste knelpunt beschouwd voor de kweek van tong (Imsland *et al.* 2003). Het gebruik van levende zagers als voer wordt momenteel onderzocht in het kader van het project Zeeuwse Tong (Stichting Zeeuwse Tong, 2009). Uit een inventarisatie van de Westerschelde blijkt dat tong in de hele Westerschelde voorkomt, wat aangeeft dat deze soort bestand is tegen lage zoutgehaltes (IMARES-database). Omdat de teelt van Tong nog in de kinderschoenen staat lijkt deze soort niet geschikt voor kweek in een wisselpolder.

Tarbot

Vanaf het larvale stadium voeden tarbotten zich met bewegend dierlijk voedsel. Jonge tarbotten voeden zich met kleine kreeftachtigen als garnalen en aasgarnalen. Bij een lengte van 10 cm wordt voornamelijk vis gegeten (grondels, spieringen, zandspieringen, kabeljauw-achtigen en platvis (Jones, 1973->Uit Nijssen en de Groot, 1987). Tijdens de IMARES inventarisatie in de Westerschelde is tarbot alleen aangetroffen ten westen van Hansweert. Dit geeft aan dat tarbot bestand is tegen zoutgehaltes tot ongeveer 22 ‰ (IMARES database). De kweek van tarbot is gestart in Schotland in de jaren 70 en is daarna geïntroduceerd in Frankrijk en Spanje. Spanje is nu de grootste producent ter wereld, maar productie vindt ook plaats in Wales, Frankrijk, Denemarken, Duitsland, Nederland, Portugal, IJsland, Ierland, Italië, Noorwegen, Chili en China. In 2008 was de wereld productie was 9573 ton (www.fao.org). Pootvis wordt geproduceerd in een zogenaamde hatchery (broedhuis) en de verdere opkweek vindt plaats in kooien op zee of tanks op het land. Hierbij worden de vissen dagelijks gevoerd met droogvoer. Dit type teelt leent zich niet voor een combinatie met een wisselpolder.

Zeebaars

Zeebaarzen (*Dicentrarchus labrax*) zwemmen in scholen. Zij eten vis, inktvis en kreeftachtigen. Oudere larven en jongen van circa 1 cm trekken riviermondingen binnen, waar zij zich voeden met roeipootkreeftjes (Nijssen en de Groot, 1987). Van zeebaars is bekend dat deze soort kan functioneren onder brakke omstandigheden, hij komt in de Westerschelde overal voor (IMARES-database). In Zuid Europa werden vroeger grote oppervlakten brakwatervijvers aangelegd. Deze vijvers zijn een soort doorstroomvijvers waar via het getij gezorgd wordt voor waterverversing. Naast zoutwinning en schelpdierteelt werden deze vijvers ook gebruikt voor het invangen, en in sommige gevallen, het opkweken van vissen zoals zeebaars (Nijssen en de Groot, 1987; www.fao.org). Tegenwoordig vindt omvangrijke productie plaats van zeebaars in het Middellandse zee gebied. Hier wordt pootvis geproduceerd in een hatchery en vindt de verdere opkweek plaats in kooien op zee of tanks op het land. Met 66738 ton in 2008 is de wereld productie van deze vissoort het hoogst van de geselecteerde soorten (www.fao.org). De traditionele manier van kweken met enkele aanpassingen lijkt het meest geschikt voor toepassing in een wisselpolder. De limiterende factor is het voedselaanbod in de lagune. De productie kan worden verhoogd door een aantal aanpassingen. Ten eerste het gebruik van hatchery geproduceerde pootvis. Daarnaast kan extra plankton tot de lagune worden toegelaten door het maken van nieuwe verbindingen tussen de zee en de lagune. Naast de lagune kunnen extra kanalen met zoetwater zorgen voor het reguleren van het zoutgehalte. Ook het aanbieden van overwinteringskanalen van minimaal 2 m diep draagt bij aan de productie. En tenslotte voorkomt het controleren van de

plantengroei dat zuurstofloosheid optreedt. De zeebaars bereikt een commerciële maat van 400-500 g in 3 jaar met een totale productie van de lagune van 500-700 kg/ha/jr (www.fao.org). De opbrengst in €/ha/jaar is laag (tabel 3). Dit maakt deze soort minder geschikt voor teelt in een wisselpolder.

Pollak

Pollakken (*Pollachius pollachius*) eten voornamelijk zandspieringen, haringachtigen, jonge kabeljauwachtigen en kreeftachtigen (Nijssen en de Groot, 1987). Ze leven in de kustwateren bij harde bodems (www.fishbase.org). De wereld productie was 6 ton in 2008 (www.fao.org). De ontwikkeling van de teelt is nieuw en heeft nog te maken met problemen in de larven productie (Suquet et al. 1996; Le Francois et al, 2010). Daarom is deze teelt ongeschikt voor de wisselpolder.

Bot

Bot (*Platyichthys flesus*) is een zoutwater platvissoort die ook het zoete water binnendringt (Nijssen en de Groot, 1987). Botten fourageren in de getijdedelta met de stroom mee en houden zich op in een beperkt gebied met sterk wisselende zoutgehalten (Wirjoatmodo & Pitcher, 1984 in Nijssen en de Groot, 1987). Met 1 ton in 2008 is de wereld aquacultuur productie van bot laag (www.fao.org). Ervaringen met extensieve systemen maken de teelt van deze soort echter wel interessant voor toepassing in een wisselpolder. In Denemarken is gebruik gemaakt van buiten bassins om larven van bot op te kweken (Engell-Sorensen et al., 2004). Het systeem betond uit bassins van 1200 m³ waarin een natuurlijke bloei van fytoplankton en zooplankton optrad. Daarnaast werden gekweekte copepoden aan de bassins toegevoegd. Teelt van vislarven op basis van natuurlijk voedsel in bassins is al eerder uitgevoerd met als doel de vissen daarna uit te zetten in het wild (Ellertsen et al., 1977). De draagkracht van de bassins was ongeveer 1 vislarve per m³. De teelt van bot vindt plaats in kooien op zee of tanks op het land. Dit type teelt leent zich niet voor een combinatie met een wisselpolder.

Kabeljauw

Kabeljauw (*Gadus morhua*) wordt over het algemeen beschouwd als een demersale vis, maar het habitat kan pelagisch worden onder bepaalde hydrografische condities. De verspreiding van de soort wordt meer door het aanbod van voedsel bepaald dan door temperatuur. Toch worden de grote vissen vooral in kouder water aangetroffen (0-5°C). De soort komt bij een grote range aan zoutgehalten voor van bijna zoet tot oceanisch en een grote range aan temperaturen van nabij het vriespunt tot 20°C (www.fao.org). De wereld aquacultuur productie is de afgelopen jaren snel gestegen van 169 ton in 2000 tot 21381 ton in 2008 (www.fao.org). De belangrijkste bottleneck is de teelt van de larven: voeding en kannibalisme (www.eurofish.dk). Dit maakt de teelt, samen met de lage tolerantie voor hoge temperaturen, minder geschikt voor teelt in een wisselpolder.

Zagers

Zagers (*Nereis virens*) zijn omnivoren, ze eten mosselvlees, groene macroalgen, zoals zeesla en darmwier, Engels slijkgras, (pseudo)faeces van oesters en detritus (Tenore & Gopalan, 1974; Lehmann, 1980; Olivier et al., 1996). *N. virens* komt zowel in het litoraal als het sublitoraal voor (Reise, 1978). De wormen leven ingegraven in de bodem in U-vormige buizen. Bij hele hoge slibgehalten van het sediment komt de wadpier niet meer voor omdat hij zijn buis niet meer open kan houden (Dankers & Beukema, 1983). Zagers worden gespit in droogvallende delen van de Ooster- en Westerschelde en gebruikt als aas in de sportvisserij. Daarnaast worden ze commercieel gekweekt in Wales en in Zeeland met een productiviteit van ongeveer 1kg/m² per jaar (www.topsybaits.nl). Ze worden gevoerd met forellenvoer, maar een voer zonder toevoeging van vismeel is in ontwikkeling. Doordat kweekervaring aanwezig is met de soort en de omstandigheden waaronder de soort kan leven overeenkomen met de omstandigheden die zullen gaan ontstaan in een wisselpolder, lijkt de soort geschikt voor teelt in een wisselpolder. Voorwaarde is wel dat bijvoeren niet nodig is. De opbrengst in €/ha/jaar staat in tabel 3. De randvoorwaarden voor omgevingsfactoren voor de teelt van zagers staan in tabel 4.

Schelpdieren

Platte oester

De platte oester (*Ostrea edulis*) leeft op het substraat. Ze zetten zich eenmalig vast op b.v. een klein stukje schelp en kunnen zich daarna niet meer zelfstandig verplaatsen. Platte oesters worden gekweekt in de Grevelingen. Jonge oesters worden verkregen door vestiging van larven op uitgezaaide mosselschelpen. Verdere opkweek vindt plaats op percelen waar de oesters op de bodem liggen. Opgroei tot consumptie formaat duurt 3-5 jaar. De kweek kampt met enkele specifieke problemen zoals besmetting door de *Bonamia ostrea* parasiet en concurrentie met de Japanse oester. *Bonamia ostreae* is een protozo van 2-4 µm. Deze intracellulaire parasiet komt voor in de bloedcellen en vermenigvuldigt zich daar, de dood van de gastheer veroorzakend door lyse van het celplasma (Dijkema 1990). Sterfte vindt vooral plaats in de maanden na de voortplanting in de tweede zomer. Daarnaast is de infectiegraad hoger in gebieden die met laagwater droogvallen. (Dijkema, 1990; van Banning 1991). Kweek onder meer gecontroleerde omstandigheden kan gunstig zijn bij het voorkomen van besmetting met *Bonamia*. Op het gebied van de oesterkweek is al veel mogelijk. Oesterbroed kan worden gekweekt in hatcheries (broedhuizen). Broed kan verder worden opgekweekt tot zaai-oesters in nurseries (kinderkamers). In een hatchery kan met behulp van selectie van ouderdieren een ras worden geproduceerd dat minder gevoelig is voor *Bonamia*. Sinds 2009 wordt platte oesterbroed in de hatchery van de Roem van Yerseke gekweekt uit oude platte oesters afkomstig van de Oosterschelde. Verdere opkweek van de oesters vindt plaats in mandjes aan touwen (zie figuur 1a). Deze oesters zijn mogelijk tolerant voor *Bonamia*. Of dit inderdaad het geval is wordt momenteel onderzocht in het EU project OYSTERECOVER (<http://oysterecover.eu/>). In andere landen, zoals Engeland en Frankrijk worden de oesters ook gekweekt in zakken op tafels in droogvallende gebieden (zie figuur 1b). De wereldproductie was 4208 ton in 2008 (www.fao.org). De opbrengst in €/ha/jaar staat in tabel 3. De randvoorwaarden voor omgevingsfactoren voor de teelt van platte oesters staan in tabel 4.

Wijde mantel (Queen)

De wijde mantel (*Aequipecten opercularis*) leeft op het substraat en kan zwemmen door middel van *jet propulsion*. De wijde mantel wordt gekweekt in kooien in hangcultuur onder niet droogvallende omstandigheden (Cano et al a,b 2006). Broed wordt verkregen met behulp van collectoren of geproduceerd in een hatchery. De kweek vindt plaats op 6-12 m diepte. De wereldproductie was laag met 27 ton in 2008 (www.fao.org). In Nederland vindt geen visserij of kweek van wijde mantels plaats. Het voorkomen van de wijde mantel in de Zeeuwse wateren is zo laag dat broedval op collectoren waarschijnlijk onvoldoende is voor een commerciële teelt. Daarnaast is niet droogvallende teelt moeilijker uit te voeren in een wisselpolder dan teelt van soorten die een droogval periode wel goed kunnen overleven.

Kokkel

De kokkel (*Cerastoderma edule*) leeft ingegraven in het sediment. In jaren dat het bestand groot genoeg is wordt de kokkel mechanisch gevist in de Wester- en Oosterschelde en handmatig in de Oosterschelde en Waddenzee (LNV, 2004). De kokkels zijn dan gemiddeld 2 jaar oud (Kamermans et al, 2003). Kokkels zitten ingegraven in de bodem en komen voornamelijk op droogvallende zandplaten voor. De wereldproductie was 4912 ton in 2008 (www.fao.org). Het gaat hier om het in het buitenwater verder opkweken van kokkels die in het veld zijn verzameld. In het kader van het proefproject Zeeuwse Tong worden proeven gedaan met de teelt van kokkels in bassins op het land (Stichting Zeeuwse Tong, 2009). Kokkels worden hiervoor in de hatchery van de Roem van Yerseke geproduceerd. Berekeningen laten zien dat broed van 5 mm in 7.5 maanden tot een marktwaardig product van 10 gram versgewicht kan worden gekweekt, mist er voldoende voedsel beschikbaar is (Kamermans et al., 2009b). Omdat deze teeltvorm nog in ontwikkeling is ligt het niet voor de hand om hiermee te starten in een wisselpolder.

Mossel

De mossel (*Mytilus edulis*) leeft op het sediment en kan zich steeds opnieuw vasthechten en voortbewegen met behulp van byssus draden. De mossel wordt in de Oosterschelde gekweekt. Jonge mosselen (mossel zaad) worden gevestigd op wilde banken of ingevangen met collectoren. De wilde banken bestaan uit mosselen die aan elkaar vastgehecht op de bodem liggen. De banken bevinden zich voornamelijk in de Waddenzee, en in bepaalde jaren ook in de Oosterschelde, Westerschelde en Voordelta. Het mosselzaad wordt uitgezaaid op bodempercelen waar het opgroeit tot commercieel formaat in 1-3 jaar. In andere landen, zoals Frankrijk, worden mosselen ook gekweekt op palen (Bouchot) of in zakken op tafels (zie figuur A1). De wereldproductie was 171123 ton in 2008 (www.fao.org). In het kader van het proefproject Zeeuwse Tong worden proeven gedaan met de teelt van mosselen in bassins op het land (Stichting Zeeuwse Tong, 2009). De mossel komt zowel in het litoraal als in het sublitoraal voor. De opbrengst in €/ha/jaar staat in tabel 3. De randvoorwaarden voor omgevingsfactoren voor de teelt van mosselen staan in tabel 4.



Figuur A1. Oesters in hangende mandjes (a) of zakken op tafels (b) en mosselen op Bouchot palen (c).

Japanse oester

De Japanse oesters (*Crassostrea gigas*) zet zich eenmalig vast op het sediment en kan zich daarna niet meer verplaatsen. De Japanse oester worden gekweekt in de Oosterschelde en Grevelingen. Jonge oesters worden verkregen door vestiging van larven op uitgezaaide mosselschelpen. Verdere opkweek vindt plaats op bodempercelen. Daar liggen de oesters los op de bodem. Opgroei tot consumptie formaat duurt 3 jaar. In andere landen, zoals Frankrijk, worden oesters ook gekweekt in zakken op tafels (zie figuur A1b). De wereldproductie was met 648982 ton in 2008 de hoogste van de geselecteerde schelpdiersoorten (www.fao.org). De opbrengst in €/ha/jaar staat in tabel 3. De randvoorwaarden voor omgevingsfactoren voor de teelt van Japanse oesters staan in tabel 4.

Strandgaper

Strandgapers (*Mya arenaria*) leven ingegraven en worden niet gevestigd of gekweekt in Nederland. De soort leeft ingegraven in de bodem en komt voornamelijk in het litoraal voor. In Amerika is het een bekende commerciële soort die handmatig in het wild wordt verzameld vanaf de kust of gekweekt vanuit broed

dat is geproduceerd in een hatchery (Beal et al., 1995). De wereldproductie was laag 440 ton in 2008 (www.fao.org). De teelt vindt plaats in de bodem waarbij de plots worden afgedekt met een net. Het ontbreken van een nabijgelegen afzetmarkt en een lage marktwaarde (tabel 2) maken deze de soort niet geschikt voor teelt in een wisselpolder.

Wieren

Viltwier

Viltwier (*Codium fragile*) wordt gekweekt in Korea. Kleinschalige productie wordt sinds 1987 uitgevoerd, maar de natuurlijke productie van uitgangsmateriaal is onbetrouwbaar door jaarlijkse fluctuaties in omgevingsfactoren. In 2005 werd een methode voor laboratorium en nursery productie van kiemplanten gepubliceerd (Hwang et al., 2005a,b). De wereldproductie was 1186 ton in 2008 (www.fao.org). De teelt vindt plaats aan horizontale touwen die op 1 m afstand van elkaar zijn geplaatst in 0.5-3 m diepte. Productie tot de oogst duurt 13 maanden vanaf de teelt van sporen in het laboratorium, een nursery fase in tanks en een uitgroei fase in het buitenwater. Bij een vergelijking van verschillende teelt dieptes werd de hoogste opbrengst van ruim 36000 kg DW per ha gevonden bij 1m diepte (Hwang et al, 2007). Omdat de teelt nog in ontwikkeling is, en moet plaatsvinden in gebieden die permanent onder water staan, is deze soort minder geschikt voor teelt in een wisselpolder.

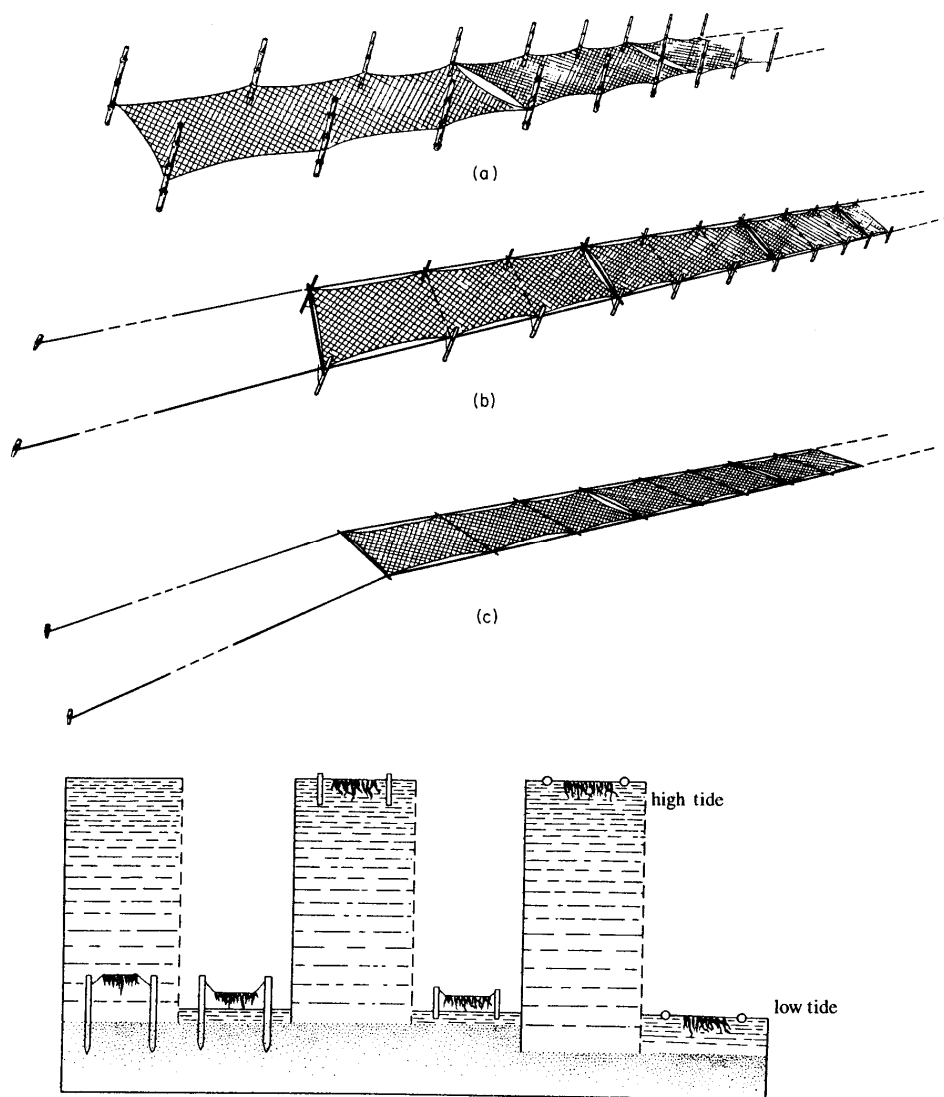
Suikerwier (Kombu)

Suikerwier (*Laminaria saccharina*) lijkt op de aziatische soort *L. japonica* die op grote schaal gekweekt wordt in Japan en China. Het wordt gebruikt voor sushi. De wereldproductie van *L. saccharina* was 10 ton in 2008 (www.fao.org). Sporen vestigen zich op touwtjes en groeien uit tot kiemplanten in een periode van 20-30 dagen in ondiepe bakken in het laboratorium bij een lichtregime van 12h L en 12 D. Uitgroei van stukjes alg is vooralsnog niet mogelijk. Vervolgens worden de kiemplanten in februari/maart in zee gebracht. Het later in zee plaatsen van de planten gaf veel epifyten aangroei (diatomeeën). De planten worden op touwen bevestigd door de touwtjes met kiemplanten tussen de stengels van een groot touw te steken op een minimale afstand van 25 cm. Maar Buck (2002) noemt 12-15 platen per meter cultuur lijn. Het horizontale grid kan 2 m onder water oppervlak worden geplaatst. In 6 maanden groeien de planten uit tot oogstbaar formaat. Buck & Buchholz (2004) hebben verschillende kweeksystemen voor *Laminaria saccharina* voor de Duitse kust getest. Een longline-, ladder-, grid- en ring-systeem zijn met elkaar vergeleken. Het longlinesysteem veel mechanische beschadiging. Het laddersysteem (een variatie op het longline systeem door een aantal longlines onder elkaar te plaatsen) gaf veel beschadiging op de bevestigingspunten van de gewichten. De ring voldeed het beste. Deze kon aan land in elkaar worden gezet met *Laminaria* en dan naar zee vervoerd. Bij het oogsten werd de gehele ring weer naar land getransporteerd. De optimale zaaidichtheid op de touwen aan de ring is nog onbekend. Ook het moment van oogsten kan worden geoptimaliseerd. Bij te late oogst ontstond aangroei van mosdiertjes. De minimale diepte waarop de ring kan worden toegepast is 5-8 m. De ring kan functioneren bij hoge stroomsnelheden. Dit levert genoeg nutriënten en weinig aangroei van epifyten. Door de benodigde diepte en stroomsnelheid is deze soort minder geschikt voor teelt in een wisselpolder.

Purperwier (Nori)

Purperwier (*Porphyra umbelicalis*) wordt geproduceerd in China, Taiwan, Korea en Japan. Het wordt gebruikt voor sushi. In 2008 was de wereldproductie 814660 ton (www.fao.org). In het vroege voorjaar worden schelpen geïnoculeerd met sporen. De opkweek vindt plaats in tanks in kassen. In september/oktober worden sporen van de schelpen af geborsteld en vestigen ze zich op netten. Deze netten worden naar zee gebracht waar de uitgroei aan horizontale netten plaats vindt. De kiemplantjes kunnen in de vriezer tot 1 jaar worden bewaard. In het veld zijn netten van verschillende afmetingen in gebruik (b.v. 1.2x45m, 1.8x60m, 1.2x24m). De eerste weken worden de netten enkele uren per dag blootgesteld aan de lucht i.v.m. het doden van aangroei en het simuleren van sporen productie. Dit gebeurt door de netten in de getijden zone te plaatsen of handmatig te laten zakken en ophijzen, of geheel drijvend op en neer met het getij te laten gaan (Figuur A2). Kweek in de getijdezone wordt geprefereerd omdat dan minder aangroei van epifyten en minder ziekten voorkomen. Voor de oogst

wordt gebruik gemaakt van geautomatiseerde oogstmachines. Er wordt 3x per jaar geoogst. Vervolgens worden de thalli schoongemaakt en in stukjes gehakt. Hier wordt een pasta van gemaakt die in vellen wordt gedroogd en afgezet voor consumptie (Kain, 1991; Lobban & Harrison, 1994). De opbrengst in €/ha/jaar is laag (tabel 3). Dit maakt deze soort minder geschikt voor teelt in een wisselpolder.

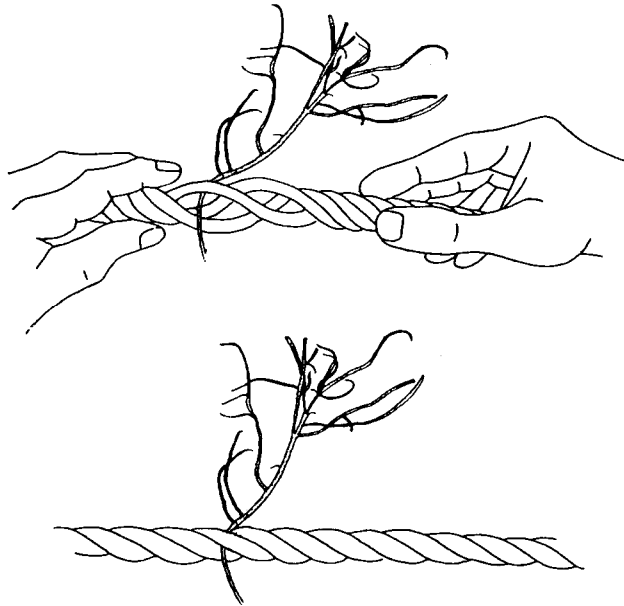


Figuur A2. Kweek van *Porphyra*. (a) gefixeerde methode, (b) semi-drijvende methode, (c) drijvende methode. In onderste tekeningen zijn de drie methodes weergegeven bij hoog en bij laag water. Uit Lobban & Harrison, 1994.

Knoopwier

Knoopwier (*Gracilaria verrucosa*) wordt o.a. gekweekt in Argentinië. Het belangrijkste product is agar. Er zijn drie methoden voor de teelt: op droogvallende platen, aan drijvende touwen en in vijvers. De wereldproductie was 1151321 ton in 2008 (www.fao.org). De teelt wordt gestart door stukjes alg tussen strengen van een touw te steken (Figuur A3). De touwen worden horizontaal of verticaal, of in frames, geplaatst. Een opbrengst van 3 kg versgewicht per meter touw kan worden gehaald. Daarnaast worden ook stukjes alg in de grond gestoken. Een andere manier van kweken maar gebruik van sporen productie op gravel of schelpen waarna het substraat wordt geplant. En tenslotte is een derde methode het gebruik van sporen op touwen (Kain, 1991). De sporen kunnen met cryoprotectie worden bewaard bij -25°C . Halling et al (2004) vergeleken de prestatie van met sporen bezette touwen en touwen met stukjes

planten en vonden een vergelijkbare groeisnelheid. De extra kosten van de productie in het laboratorium wegen daardoor niet op tegen het gemak van het gebruik van stukjes alg. De teelt aan droogvallende lijnen is het meest geschikt voor toepassing in een wisselpolder. De afstand tussen de touwen is 30-40 cm. De opbrengst kan 1500 kg per ha zijn (Xin, 1989). De opbrengst in €/ha/jaar is laag (tabel 3). Dit maakt deze soort minder geschikt voor teelt in een wisselpolder.



Figuur A3. Bevestigingsmethode voor *Gracilaria*. Uit Kain, 1991.

Undaria

Undaria pinnatifida is een opportunistische soort die snel nieuwe of verstoorde substraten kan koloniseren. Het vormt dichte *canopies* in zowel beschutte als onbeschutte gebieden vanaf de laagwaterlijn tot 18 m diep, maar is het meest voorkomend op een diepte van 1-3 m. *Undaria* groeit in gematigde streken bij een optimum temperatuur van 12° C. Sporen overleven temperaturen boven de 20° C tot 23° C niet. Het tolereert een grote range aan lichtintensiteiten, maar zal geen gebieden met zoetwater aanvoer koloniseren (www.issg.org). *Undaria pinnatifida* is in 1971 per ongeluk geïntroduceerd in Frankrijk en komt sinds 1999 voor in de Oosterschelde. De soort groeit in warmer water dan *Laminaria*. Het is een eenjarige plant die 1-2 m lang kan worden. In Japan is de kweek van *Undaria* belangrijker dan die van *Laminaria*. Het wordt gebruikt voor sushi. In 2008 was de wereldproductie 1755888 ton (www.fao.org). Dit is de hoogste waarde van alle geselecteerde soorten. De soort heeft een eerder en korter groeiseizoen dan *Laminaria* en wordt in Japan vaak gemixed gekweekt. In het laboratorium worden planktonische gametofyten die vegetatieve groei vertonen gekweekt. Deze worden op draden gespreid en de draden worden aan een frame vastgemaakt. Hier groeien ze verder uit in verrijkt zeewater en met verminderd daglicht, alvorens ze naar zee gaan. Daar vindt de groei plaats in een grid op 2 m onder het water oppervlak zoals dat gebruikt wordt bij *Laminaria* (Kain, 1991; Lobban & Harrison, 1994). In Nieuw Zeeland werd na 4-5 maanden geoogst bij lengte van meer dan 1 m (www.cawthron.org.nz). Vanwege de diepte die nodig is voor de teelt is deze soort minder geschikt voor teelt in een wisselpolder.

Zilte groentes

Het snijden van zilte groentes als zeekraal (*Salicornia europaea*) en zeeaster (*Aster tripolium*) op schorren in Zeeland een van oudsher gebezigde activiteit. Voor diegenen werkzaam in de landbouw en de visserij was dit een nevenactiviteit voor eigen gebruik dan wel bescheiden neveninkomsten opleverend. Het snijden vindt plaats in het voorjaar en de zomer. Beide soorten worden als groente gegeten. Zeeaster wordt in Zeeland lamsoor genoemd (niet te verwarren met *Limonium vulgare*, waarvan de Nederlandse naam lamsoor is). In Nederland en elders in Noordwest Europa is zoutwaterlandbouw als zodanig van oudsher niet beoefend. Vanaf 1983 zijn er initiatieven geweest om de teelt van zeeaster en zeekraal in met name Zeeland te introduceren. Dit is ondersteund door onderzoeksprojecten (Wagenvoort et al., 1989; Huiskes et al., 1996). Het door de EU gefinancierde project SALINE CROPS heeft de teelt van o.a. *Salicornia* en *Aster* bestudeerd in Zeeland en Portugal (Huiskes et al., 1996). Serrra Maris levert zaden voor de teelt van zeekraal en lamsoor (www.scrops.com).

Zeekraal

Recent onderzoek heeft zeekraal (*Salicornia europaea*) geïdentificeerd als het meest veelbelovende zilte gewas dat naast groente ook diervoer, chemische stoffen en cosmetische producten kan leveren (ENVIROPHYTE EU project). De huidige vraag van de groente markt is groter dan het aanbod (www.scrops.com). Daarom vindt buiten het snijseizoen import vanuit Mexico en Israel plaats. In Nederland zijn verschillende initiatieven geweest om zeekraal te telen op Texel, Noord Friesland en Noord Groningen (Arts & Bouma, 1982; Avacon, 1995; de Boever, 1994). Momenteel vind zeekraal teelt plaats in Zeeland door de firma Poleij in een polder bij Kruiningen en door de firma Janse bij Wolphaartsdijk beide op Zuid Beveland. In het kader van het Zeeuwse Tong project wordt zeekraal geteeld in de Zeeuwse Tong pilot Wilhelmina polder (Blom, 2013). Zeekraal kan direct worden gezaaid, bij voorkeur in maart of april. Gedurende de ontkieming moet het zoutgehalte laag zijn, maar daarna kan het oplopen tot 32 ‰ (Huiskes et al, 1996). De opbrengst in €/ha/jaar staat in tabel 3. De randvoorwaarden voor omgevingsfactoren voor de teelt van zeekraal staan in tabel 4.

Lamsoor

Lamsoor (*Aster tripolium*) heeft een goed doorlatende bodem nodig en kan groeien in niet zoute grond, maar ook bij matige zoutgehaltes (11-21 ‰). Kieming kan het beste plaatsvinden in een kas, waarna de plantjes in het veld kunnen worden uitgezet (Huiskes et al, 1996). Teelt van lamsoor wordt uitgevoerd door de firma Grovisco bij Stavenisse op Tholen. De opbrengst in €/ha/jaar staat in tabel 3. De randvoorwaarden voor omgevingsfactoren voor de teelt van lamsoor staan in tabel 4.