

Herstelmaatregel groot zeegras in de Nederlandse Waddenzee

Haalbaarheid van de doelstellingen
onder de Kaderrichtlijn Water

Herstelmaatregel groot zeegras in de Nederlandse Waddenzee

**Haalbaarheid van de doelstellingen onder de Kaderrichtlijn
Water**

dr. L.A. van Duren
dr. M.M. van Katwijk

1203892-000

Titel

Herstelmaatregel groot zeegras in de Nederlandse Waddenzee

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving	1203892-000	1203892-000-ZKS-0045	36

Trefwoorden

Groot zeegras; *Zostera marina*, Kaderrichtlijn Water, KRW, herstelmaatregel, Waddenzee




Samenvatting

In de Nederlandse Waddenzee is groot zeegras (*Zostera marina*) bijna verdwenen en daarmee scoort de Waddenzee "slecht" voor deze ecologische parameter onder de Kaderrichtlijn Water (KRW). Volgens modelvoorspellingen is er voldoende geschikt habitat voor deze soort, maar zeer waarschijnlijk is een tekort aan zaadaanvoer een belangrijke factor waardoor zeegras in de Nederlandse Waddenzee zich niet spontaan kan herstellen. In 2011 is begonnen met een herstelproject op basis van zaad uit de Duitse Waddenzee. De doelstelling was om op drie locaties in Nederland een dusdanig grote hoeveelheid zeegras uit te zaaien dat hier robuuste zeegraspopulaties zouden ontstaan met voldoende kritische massa om natuurlijke fluctuaties op te vangen. Het project moest tevens leiden tot een advies m.b.t. de haalbaarheid van de huidige KRW-doelstellingen.

Uitzaai heeft plaatsgevonden in 2011 en 2012 en de ontwikkeling van zeegras is opgevolgd tot 2015. In 2012 en 2013 is op alle drie de locaties zeegras opgekomen. De totale verspreiding van zeegras in 2013 bedroeg 300 ha, zij het met een gemiddeld zeer lage bedekkingsgraad (<1%). In dat jaar is, in tegenstelling tot andere jaren, nauwelijks zaadzetting opgetreden. In 2014 is een zeer sterke teruggang opgetreden van de zeegrasbedekking op alle locaties.

Recent is gebleken dat er, naast de reeds bekende ziekteverwekker *Labyrinthula*, nog een andere ziekteverwekker (*Phytophthora*) in de Waddenzee zit die mogelijk de reproductie en kiemkracht van zeegraszaad aantast. Dit was bij aanvang van het project niet bekend. Dit heeft er mogelijk toe geleid dat er veel minder kiemkrachtig zaad in Nederland is uitgezaaid dan oorspronkelijk berekend was.

Ondanks het feit dat de doelstelling van het project (een robuuste populatie zeegras) niet is gehaald, wordt op dit moment geadviseerd om de KRW doelstellingen voor zeegras te handhaven. De nieuwste kanskaart voor groot zeegras bevestigt dat er waarschijnlijk voldoende geschikt habitat in de Waddenzee is. Geadviseerd wordt om een onderzoekstraject in te zetten naar methoden om de kieming van ingevoerd zeegras te verbeteren en te zoeken naar voldoende grote geschikte bronnen van zeegraszaad. Het is niet zeker dat dit inderdaad haalbaar zal zijn, gezien het feit dat groot zeegras ook in buurlanden een beschermd status heeft. Mogelijk zal daar onvoldoende draagvlak zijn om grote hoeveelheden zaadmateriaal te leveren voor herstel van deze soort in Nederland. Onderzoek in het buitenland heeft aangewezen dat herstel van deze soort een zaak kan zijn van lange adem.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	dec. 2015	dr. L.A. van Duren		dr. L. van der Valk		drs. F.M.J. Hoozemans	
		dr. M.M. van Katwijk					

Status

definitief

Titel

Herstelmaatregel groot zeegras in de Nederlandse Waddenzee

Opdrachtgever

Rijkswaterstaat Water,
Verkeer en Leefomgeving

Project

1203892-000

Kenmerk

1203892-000-ZKS-0045

Pagina's

36

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Ontwikkelingen van zeegras in de Waddenzee	1
1.1.1	Verdwijnen van zeegras	1
1.1.2	Natuurlijk herstel	2
1.1.3	Herstel projecten	3
1.2	Beleidsdoelstellingen	4
1.3	Projectdoelstelling	4
1.4	Samenwerking	4
1.5	Leeswijzer	5
2	Aanpak	5
2.1	Uitgangspunten en randvoorwaarden.	5
2.2	Werken met RWS en vrijwilligers van de Waddenvereniging	6
2.3	Locatieselectie	6
2.3.1	Donorlocatie	7
2.3.2	Uitzaailocaties	8
2.4	Vergunningen	11
2.4.1	Publiekrechtelijk	11
2.4.2	Privaatrechtelijk	11
2.5	BUD constructie	12
2.6	Verzamel- en uitzaiprocedure	12
2.7	Monitoring	15
2.7.1	Impact op donor locatie	15
2.7.2	Resultaatmonitoring op uitzaailocatie	16
3	Resultaten	18
3.1	Balgzand	18
3.1.1	Verspreiding over de jaren	18
3.1.2	Conditie en grootte	19
3.2	Schiermonnikoog	19
3.2.1	Verspreiding over de jaren	19
3.2.2	Conditie en grootte	20
3.3	Uithuizen	21
3.3.1	Verspreiding over de jaren	21
3.3.2	Conditie en grootte	21
3.4	Patchiness op de drie uitzaailocaties	22
3.5	Verspreiding naar andere locaties	23
4	Discussie	24
4.1	Hypothese t.a.v. geschikt habitat en zaadlimitatie	24
4.2	Schaal	26
4.3	Water- en bodembeweging	28
4.4	Vooruitzichten Nederland	29
4.4.1	Afwezigheid van bufferpopulatie	29
4.4.2	Gevolgen Phytophthora	30
4.5	Conclusies	30

5 Advies m.b.t. KRW-doelstellingen	31
6 Referenties	33

1 Inleiding

In de Waddenzee komen drie soorten zeegras voor: groot zeegras (*Zostera marina*), klein zeegras (*Zostera noltii*) en *Ruppia maritima*. Deze laatste soort is een echte brakwatersoort (van Katwijk et al. 2006) en komt dan ook alleen bij spuigebieden voor. Zowel groot als klein zeegras worden gezien als sleutelsoorten voor de Waddenzee. In grote dichtheden zijn deze soorten 'biobouwers'. Biobouwers (in het Engels: "ecosystem engineers") zijn organismen die direct of indirect effect hebben op de beschikbaarheid van hulpbronnen voor andere soorten door het veroorzaken van fysische veranderingen in biotisch of abiotisch materiaal (Jones et al. 1994). Zeegrassen kunnen een effect hebben op de sedimentdynamiek (vooral de slibdynamiek), ze kunnen een effect hebben op de biochemische samenstelling van de bodem (Van der Heide et al. 2008; van der Heide et al. 2011) en daarnaast vormt zeegras een belangrijk habitat voor vislarven en andere biota (Bouma et al. 2009b).

1.1 Ontwikkelingen van zeegras in de Waddenzee

Groot zeegras kwam voor 1930 grootschalig voor in delen van de Waddenzee. Er bestonden twee ecotypen: de robuuste, meerjarige vorm met relatief stijve, brede bladeren en de éénjarige, intertidale vorm met smalle flexibele bladeren. De twee typen zijn genetisch gezien één soort en er blijkt redelijk wat uitwisseling te zijn tussen intertidale en subtidale populaties. Er zijn echter wel consistente genetische verschillen tussen de twee ecotypen aangetoond (Oetjen en Reusch 2007). De loci waar verschillen optreden blijken gelinkt te zijn aan osmoregulatie, wat aangeeft dat er habitat-specifieke adaptatie is opgetreden (Keil et al. 2011). Het robuuste type is vrijwel verdwenen uit de gehele internationale Waddenzee, met uitzondering van een paar geïsoleerde locaties, zoals in een kreek op het eiland Sylt. Deze zeegrasvelden besloegen voor de aanleg van de Afsluitdijk een oppervlak van 70-150 km² (Giesen et al. 1990b).

1.1.1 Verdwijnen van zeegras

De precieze oorzaken van het verdwijnen van zeegras uit de Nederlandse Waddenzee zijn niet bekend, maar vrijwel zeker heeft een combinatie van verschillende factoren hieraan bijgedragen. Ten eerste is er rond 1930 een ziekte (*Labyrinthula*) in de Waddenzee gekomen die sterk heeft huisgehouden onder het groot zeegras (Vergeer et al. 1995; Bockelmann et al. 2012). Daarnaast heeft de voltooiing van de Afsluitdijk een verandering teweeggebracht in de hydro- en morfodynamiek van de westelijke Waddenzee (Elias en van der Spek 2006). De belangrijkste veranderingen hebben zich in de eerste 40 jaar na afsluiting voltrokken, maar het systeem is nog steeds niet in volledig morfologisch evenwicht. Naast veranderingen in de grootschalige morfologie (wat geleid heeft tot veranderingen in patronen van geulen en platen) zijn er vrijwel zeker ook veranderingen in de slibhuishouding van het systeem, vanwege de toegenomen golfinvloed en het verkleinen van de komberging door de afsluiting. Hoewel er onvoldoende data beschikbaar zijn van gesuspendeerd sediment in de waterkolom, ligt het voor de hand dat het systeem door de Afsluitdijk troebeler geworden is en dat dit ook een rol heeft gespeeld bij het verdwijnen en uitblijven van herstel van de ondergedoken populatie van zeegras. De sterke, plotselinge achteruitgang van het zeegras heeft waarschijnlijk een negatieve terugkoppeling gehad op het habitat van deze soort. De grote dichte velden ondergedoken zeegras hebben vrijwel zeker een belangrijk effect gehad op de helderheid van de waterkolom (van der Heide et al. 2007). Zeegras reduceert het effect van stroming en golven vlakbij de bodem en kan daarmee sediment stabiliseren (Peralta et al. 2008; Bouma et al. 2009a). Dit "biobouwerseffect" heeft vroeger vrijwel zeker bijgedragen aan het geschikt houden van het habitat voor zeegras. Met de sterke afname van deze soort

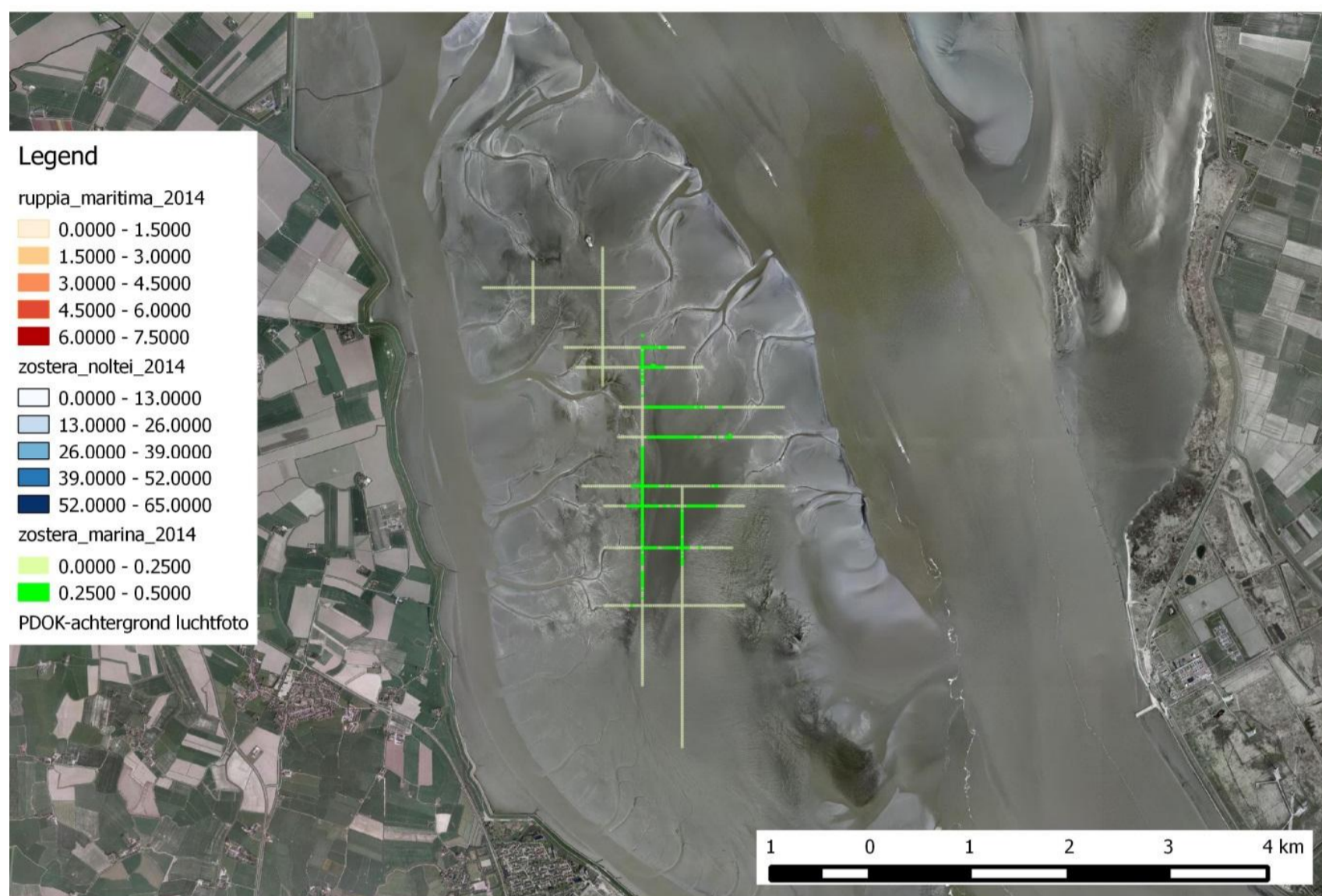
is de terugkeer veel moeilijker geworden (van der Heide et al. 2011). Waarschijnlijk zijn dus combinatie van de introductie van de wierziekte en de fysische veranderingen in het systeem rond dezelfde tijd (inclusief de terugkoppelingseffecten door het verdwijnen van zeegras zelf), de oorzaak van het zeer snel achteruitgaan van zeegras na 1930, mogelijk geholpen door twee zeer lichtarme zomers (Giesen et al. 1990a; Giesen et al. 1990b; Dolch et al. 2013).

In latere jaren kwam daar ook een sterk toegenomen eutrofiëring bij, wat overal in Europa geleid heeft tot achteruitgang van zeegras en vrijwel zeker een beperking heeft gevormd voor herstel van deze soort (Van Katwijk et al. 2000; Reise 2005). Naast de invloed van de wierziekte en eutrofiëring hebben ook in het Duitse deel van de Waddenzee veranderingen in sedimenthuishouding t.g.v. ingrepen in het systeem waarschijnlijk bijgedragen aan de teruggang van zeegras in het Duitse Waddengebied (Dolch en Reise 2010; Dolch et al. 2013).

1.1.2 Natuurlijk herstel

Het ondergedoken zeegras is in de Waddenzee vrijwel volledig verdwenen en tot nu toe nergens grootschalig teruggekeerd. De kansen voor terugkeer van dit type zeegras lijken niet bijzonder gunstig (Van der Heide et al. 2006). Op veel plaatsen is de huidige troebelheid van het systeem en de dynamiek van de bodem dusdanig dat de kans op vestiging van ondergedoken zeegras minimaal is. Echter de flexibele, intertidale vorm heeft weinig last van lichtbeperking. De afgelopen decennia is de overbemesting van de Waddenzee sterk teruggedrongen en daarmee is een deel van het habitat dat daarvoor te hoge nutriëntenconcentraties had nu weer wel geschikt voor zeegras. In het Duitse Waddengebied heeft dit geleid tot een zeer spectaculair herstel van intertidaal zeegras (Dolch et al. 2013). Het huidige areaal aan intertidaal zeegras lijkt (in totaal oppervlak) vergelijkbaar met de situatie van voor 1930. Ook kan bodemvisserij als gevolg hebben dat ondergedoken zeegras zich niet (langdurig) kan vestigen.

In Nederland heeft dit herstel niet plaatsgevonden, ondanks het feit dat, net als elders in Europa, ook in Nederland de overbemesting sterk is terug gedrongen en er volgens modelschattingen ongeveer enkele duizenden ha. aan geschikt habitat in de Nederlandse Waddenzee te vinden is (De Jong et al. 2005; Folmer 2015). Een belangrijk verschil met de Duitse situatie is dat in Duitsland, ondanks de sterke achteruitgang in zeegrasbedekking, op verschillende plaatsen nog wel populaties aanwezig bleven met groot zeegras waardoor de beschikbaarheid van zaad voldoende was voor de populatie om zich te kunnen herstellen.



Figuur 1.1: Meest recente monitoringsgegevens op de Hond-Paap van 2014.

In Nederland kwam de afgelopen decennia alleen op de Hond-Paap in de Eems-Dollard een significante populatie groot zeegras voor. De grootste dichtheid stond daar eind jaren '90 toen er tussen de 20 en 40 ha zeegras stond met een bedekkingspercentage van meer dan 20%. Het grootste areaal werd daar in de jaren 2003 en 2004 aangetroffen toen er tussen de 250 en 300 Ha zeegras gras stond, maar daarvan had de overgrote meerderheid een bedekking van minder dan 5%. Deze populatie is gereduceerd tot slechts enkele hectares in 2011 (Jager en Kolbe 2013). De laatste inventarisatie in het kader van de MWTL monitoring in 2014 liet zien dat er nog wel een aantal planten staan op de Hond-Paap, maar dat het gebied klein is en de dichtheid zeer laag (Figuur 1.1).

1.1.3 Herstel projecten

Er hebben de afgelopen decennia veel herstelprojecten plaatsgevonden, enkele met uitzaaingstechnieken en meerdere met het aanplanten van zeegras (Van Katwijk en Hermus 2000; Van Katwijk en Wijgergangs 2004; van Katwijk et al. 2006). Deze projecten hebben wel geleid tot meer kennis over zeegrascologie, maar hebben niet geleid tot een langdurig herstel van de populatie. De hypothese onder experts is dat deze projecten te kleinschalig waren om een voldoende robuuste populatie te creëren die in staat is om 'slechte jaren' te overbruggen en in 'goede jaren' kan dienen als bronpopulatie om andere gebieden in de Waddenzee te herkoloniseren.

In de Verenigde Staten zijn in het begin van deze eeuw technieken ontwikkeld om m.b.v. zeegraszaad op veel grotere schaal zeegras te herstellen (Pickerell et al. 2005; Orth et al. 2010; Orth et al. 2012). Op basis van deze concepten is in 2010 een voorstudie uitgevoerd in opdracht van RWS om de mogelijkheden en de optimale aanpak uit te werken (Erfteijmer en Van Katwijk 2010). Deze studie heeft de basis gevormd voor het huidige project.

1.2 Beleidsdoelstellingen

Voor de KRW maatlat worden zowel groot zeegras als klein zeegras beschouwd. Als referentiemaat wordt uitgegaan van 7.5% areaal met een bedekkingsgraad van minimaal 5% zeegras van het totale waterlichaam (STOWA 2012). Bij toepassing van deze maatlat op de MWTL data werd de Waddenzee op zowel zeegras areaal als zeegras kwaliteit als "slecht" beoordeeld.

Tabel 1.1: Klassengrenzen en genormaliseerde EKR voor de areaal-deelmaatlaten van Watertype K2 (hiertoe behoren de Oosterschelde en de Waddenzee) Deze tabel is afkomstig uit het referentiedocument voor natuurlijke watertypen (STOWA 2012).

	Referentiewaarde	Klassengrens Goed-Zeer goed	Klassengrens Matig-Goed	Klassengrens Ontoereikend-Matig	Klassengrens Slecht- Ontoereikend
Kwelder/schor Waddenzee Oosterschelde (% tot. waterlichaam)	13	10	7	4	2
Kwelder kwaliteit Oosterschelde en Waddenzee	5	4,5	3,5	2,5	1,5
Zeegras areaal (% tot. waterlichaam)	7,5	5	4	2	1
Zeegras kwaliteit* % bedekking Klein zeegras	60	54	42	30	18
Zeegras kwaliteit* % bedekking Groot zeegras	30	27	21	15	9
EKR	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2

* Voor de bedekking wordt zowel met Groot (*Z. marina*) als Klein zeegras (*Z. noltii*) gerekend.

Om in de klasse "zeer goed" te vallen moet minimaal 5% van het totale areaal bedekt zijn met zeegras, waarvan 27% groot zeegras. De het Nederlandse deel van de Waddenzee beslaat 2345 km². In totaal zou dus voor een zeer goede toestand minimaal 31.7 km² ofwel 3165 ha groot zeegras aanwezig moeten zijn (en een totaal van minstens 11725 ha groot + klein zeegras, waar van minimaal 6332 ha klein zeegras).

1.3 Projectdoelstelling

Doelstelling van dit project is: het uitvoeren van een herstelmaatregel, gebaseerd op de hypothese dat er wel voldoende geschikt areaal in de Waddenzee is voor intertidaal groot zeegras, maar dat natuurlijk herstel niet plaatsvindt vanwege te weinig zaadtoevoer. Het tijdelijk opheffen van deze bottleneck door grootschalig zeegras uit te zaaien moet voldoende kritische massa aan zeegras opbouwen op geselecteerde uitzaailocaties zodat er een robuuste populatie ontstaat die natuurlijke fluctuaties in recruitment kan opvangen. De aanpak volgt in grote lijnen de opzet zoals geschetst in de voorstudie (Erftemeijer en Van Katwijk 2010). Wel zijn om financiële redenen de uitzaaiactiviteiten beperkt tot twee jaar, i.p.v. drie jaar.

Op basis van de resultaten van dit project moet geconcludeerd kunnen worden of de hypothese inderdaad standhoudt en of de doelstellingen zoals nu geformuleerd voor de KRW inderdaad (eventueel op termijn) haalbaar zijn. Indien dit niet het geval is moet er een onderbouwing gegeven worden voor het bijstellen van deze doelstellingen.

1.4 Samenwerking

Het project werd uitgevoerd door Deltares, in opdracht van RWS. RWS had zelf binnen dit project ook taken, m.b.t. het verkrijgen van vergunningen en communicatie naar de

omgeving. Het project betrof een samenwerking met de Waddenvereniging, die verantwoordelijk was voor de werving en begeleiding van de vrijwilligers die in Duitsland het zeegraszaad hebben verzameld. De Waddenvereniging heeft tevens een belangrijk deel van de veldmaterialen gefinancierd. Daarnaast was de Waddenvereniging verantwoordelijk voor een belangrijk deel van de publieke communicatie.

Voor de begeleiding van de werkzaamheden in Duitsland, het uitvoeren van de effectmonitoring op de donorpopulaties en het verkrijgen van toestemming voor het uitvoeren van veldwerkzaamheden in Duitsland is het Alfred Wegener Instituut (AWI) op Sylt verantwoordelijk geweest. Deltares heeft voor de uitvoering en coördinatie van het veldwerk the Fieldwork Company ingehuurd. Het project dat aanpalend aan het herstelproject is uitgevoerd aan effecten van zeegras op de sedimentdynamiek is uitgevoerd door de Radboud Universiteit Nijmegen. Voor aanleveren van kennis m.b.t. zeegrascologie en voor inhoudelijke kwaliteitsborging is Marieke van Katwijk (RU Nijmegen en Ecoscience) betrokken geweest bij dit project. Tijdens het project hebben een aantal keren terugkoppelingen plaatsgevonden met stakeholders en met specialisten uit het veld.

1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 staat de aanpak van dit project geschetst met daarin de belangrijkste uitgangspunten, de belangrijkste argumenten voor de keuze van de locaties en de gebruikte methodiek. Meer details betreffende de aanpak zijn te vinden in de onderliggende rapportages van dit project (Van Duren en Van Katwijk 2013; Van Duren et al. 2013; van Duren 2014).

In hoofdstuk 3 worden de belangrijkste resultaten van dit project geschetst. Deze resultaten worden in hoofdstuk 4 besproken in het licht van de doelstelling van dit project, waarbij §4.4 een puntsgewijze samenvatting geeft van de conclusies.

Hoofdstuk 5 formuleert het advies betreffende de zeegrasdoelstellingen voor de KRW.

2 Aanpak

2.1 Uitgangspunten en randvoorwaarden.

Het belangrijkste uitgangspunt voor dit project was de werkhypothese: “Er is in de Nederlandse Waddenzee voldoende geschikt habitat voor intertidaal groot zeegras, maar herstel wordt beperkt door beperkte zaad aanvoer”. Het project was dus gericht op het opheffen van deze bottleneck in zaadaanvoer door introductie van zaad van elders.

Voorwaarden aan de werkwijze waren:

- De uitvoering moet dusdanig grootschalig zijn dat er een zeegraspopulatie ontstaat die voldoende groot en robuust is om natuurlijke fluctuaties op te kunnen vangen
- Er mag geen schade optreden aan de donorpopulatie
- De uitzaaiwerkzaamheden mogen geen negatieve impact hebben op de uitzaailocaties. Dit houdt in dat:
 - Er mag geen gebiedsvreemd materiaal achterblijven in het veld, na afronding van het project
 - Risico's op import van invasieve soorten geassocieerd met het uitzaaimateriaal moeten tot het uiterste beperkt zijn
- Risicospreiding in ruimte en tijd
- De natuur het werk laten doen
- De kosten moeten relatief beperkt zijn
- Het project moet een goede uitstraling hebben naar de omgeving
- Het project volgt de Programma naar een Rijke Waddenzee filosofie Learning by doing.

Een deel van deze randvoorwaarden wordt tevens afgedekt in de vergunningverlening, maar de voorzorgsmaatregelen om eventuele schade aan donor- of uitzaailocaties te voorkomen ging verder dan de vergunningprocedure.

2.2 Werken met RWS en vrijwilligers van de Waddenvereniging

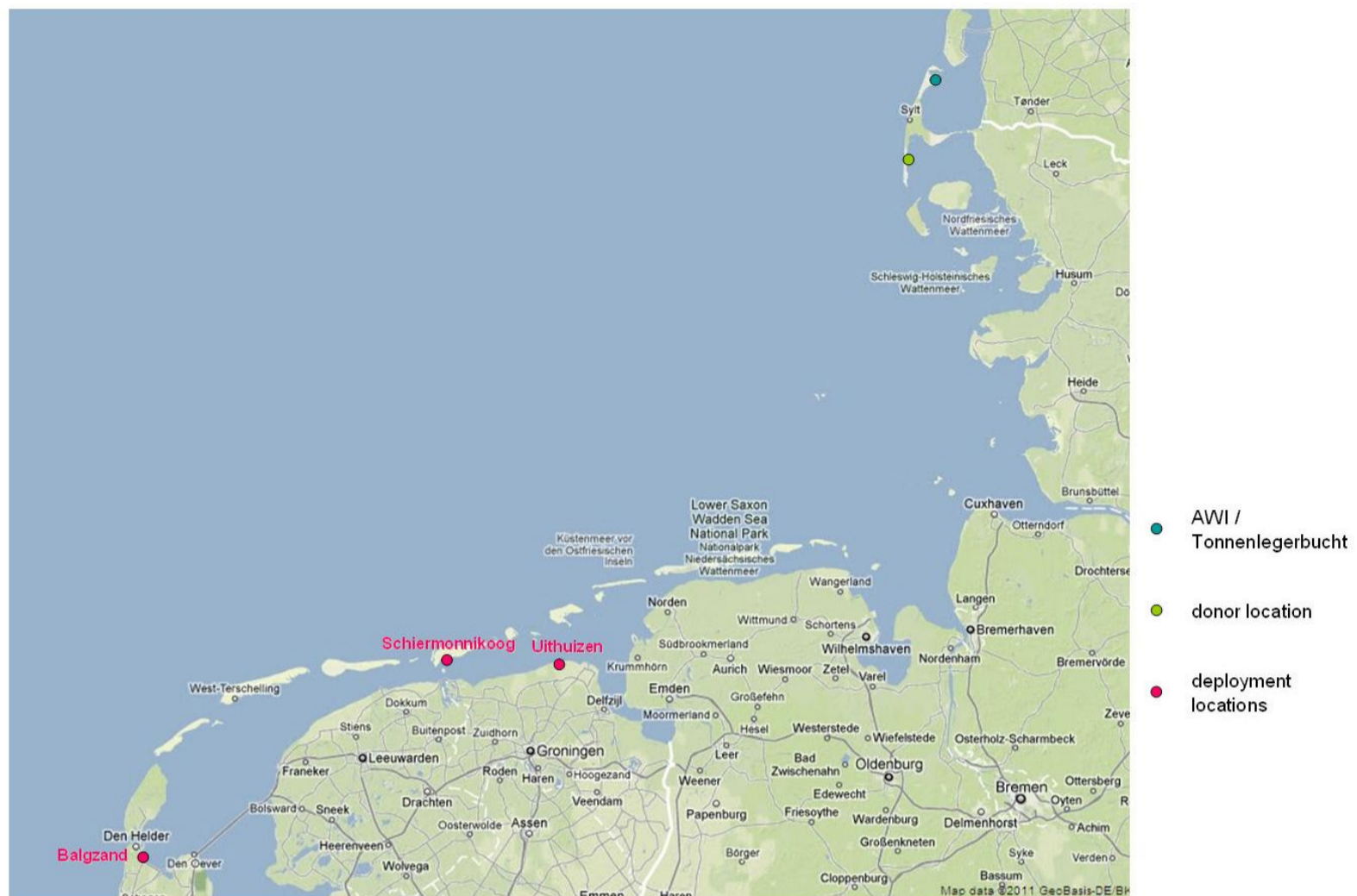
Dit project werd in de eerste plaats uitgevoerd in het kader van de doelstellingen van de KRW en RWS fungeert hierin als opdrachtgever, maar ook als deelnemer. Het project werd actief gesteund door de Waddenvereniging. Deze samenwerking droeg bij aan een aantal van de hierboven geformuleerde uitgangspunten. De Waddenvereniging organiseerde in de 2 jaar dat er actief werd uitgezaaid groepen vrijwilligers om mee te helpen met het verzamelen en het uitzaaien van zeegras. Hierdoor konden de kosten beperkt blijven. Voor het werven van vrijwilligers en om tevens de doelstellingen van de vereniging bekendheid te geven heeft de Waddenvereniging, in overleg met het projectteam, zeer succesvol de pers benaderd en veel aandacht gekregen voor de functie van zeegras in het ecosysteem en draagvlak voor dit project. Deze aandacht werkte enerzijds zeer positief, maar anderzijds zijn er op basis van de eerste resultaten wellicht iets te rooskleurige berichten de wereld in gegaan. Voor vervolprojecten is het belangrijk hier voorzichtiger mee om te gaan en beter duidelijk te maken dat korte termijn succes geen garantie is voor lange termijn resultaten.

Naast het directe restauratiewerk heeft de Waddenvereniging financiën tegen dit project aan gezet om onder meer een stuk onderzoek te doen aan de effecten van het nieuw opkomende zeegras op sedimentdynamiek. Dit onderzoek is parallel aan dit project uitgevoerd door hetzelfde projectteam, maar de resultaten zijn apart gerapporteerd (Suykerbuyk et al. 2013).

2.3 Locatieselectie

Om de slagingskans van het project te maximaliseren en om zo goed mogelijk te voldoen aan de geschetste randvoorwaarden heeft bij aanvang van het project een zorgvuldige selectie van zowel donorlocaties als uitzaailocaties plaatsgevonden. Die afweging is gebeurd op basis van verschillende soorten informatie, deels uit de voorstudie en deels uit voorbereiding binnen dit project:

- De zeegraskansenkaart (De Jong et al. 2005) en expert judgement m.b.t. habitat karakteristieken voor volwassen zeegrasplanten (uitzaailocatie).
- Modelberekeningen aan dispersie van zaden (om retentie van zaad in de buurt van uitzaailocaties te maximaliseren)
- Veldbezoeken om lokaal de situatie van dat moment te analyseren en praktische en logistieke zaken, specifiek voor die locaties in te schatten (zowel donor- als uitzaailocatie).



Figuur 2.1: Overzicht van de uitzaai en de donorlocaties in de Waddenzee

2.3.1 Donorlocatie

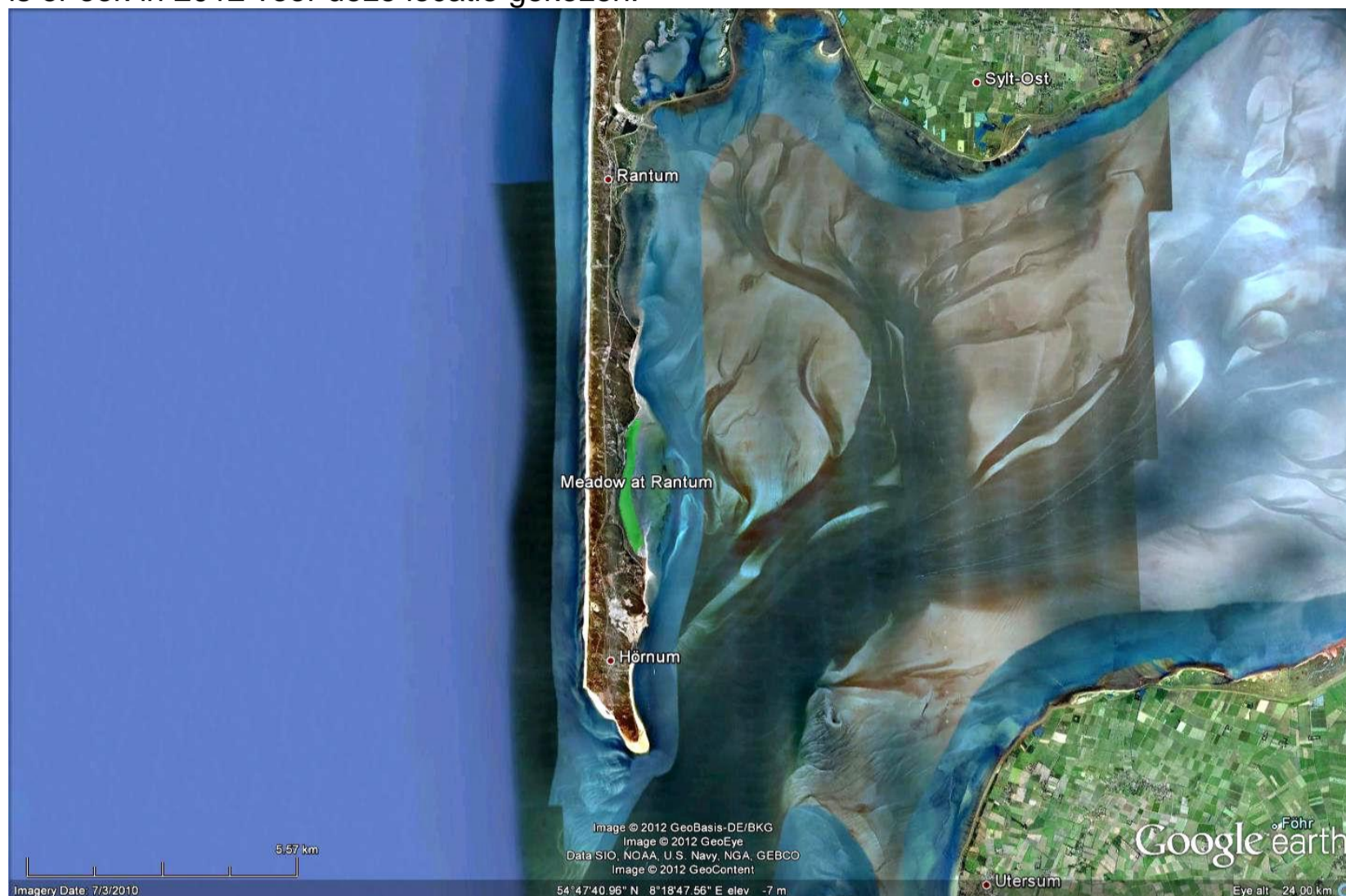
Uit de voorstudie (Erfteemeijer en Van Katwijk 2010) was al de aanbeveling gekomen om een donorlocatie op Sylt te kiezen. De redenen hiervoor waren:

- De Waddenzee kan beschouwd worden als één systeem waarbinnen een redelijke connectiviteit is. Hierdoor zullen potentieel invasieve soorten die zich in het Duitse deel van de Waddenzee bevinden, sowieso op termijn de Nederlandse Waddenzee bereiken en is er dus geen sprake van verhoogd introductierisico.
- De zeegrasvelden rond Sylt zijn goed geïnventariseerd en hebben zich in de afgelopen jaren sterk uitgebreid (Dolch en Reise 2010; Dolch et al. 2013).
- Er zijn grote logistieke voordelen om materiaal te verzamelen en effecten op de donorpopulatie te toetsen op gemakkelijke afstand van een instituut als het AWI, met lab en veldfaciliteiten.

In 2011 zijn in juni (voorafgaand aan de verzamel- en uitzaaiactiviteiten) een aantal locaties op Sylt bezocht, samen met specialisten van het AWI. In eerste instantie was de keuze gevallen op een relatief klein maar zeer dicht zeegrasveld, vlakbij het AWI, *Tonnenlegerbucht*. Deze locatie had als voordeel dat er vrijwel uitsluitend groot zeegras staat en dat het logistiek handig ligt vlak bij de faciliteiten van het AWI. Echter, problemen rondom vergunningverlening hebben uiteindelijk geleid tot een keuze van een locatie in de buurt van Rantum (Figuur 2.2).

Op deze locatie was een gemengd zeegrasveld aanwezig met klein en groot zeegras. Deze locatie was relatief groot en ook zeer zandig, in tegenstelling tot *Tonnenlegerbucht* wat een gebied is met zeer fijn, slibbig sediment. Dit had grote voordelen voor het verzamelen: enerzijds is het risico van vertrappen en daarmee beschadigen van de donorlocatie veel kleiner en anderzijds levert een stevige ondergrond veel minder risico's op voor de vrijwilligers die het verzamelwerk uitvoeren. Deze twee argumenten hebben er toe geleid dat voor deze locatie is gekozen. Doordat uit de analyses van AWI bleek dat er geen schade aan

het donorveld was opgetreden na het eerste jaar van het verzamelen van het donormateriaal, is er ook in 2012 voor deze locatie gekozen.



Figuur 2.2: Verzamellocatie van zeegras op Sylt, tussen Rantum en Hörnum.

2.3.2 Uitzaailocaties

Uit de voorstudie waren reeds drie hoofdlocaties naar voren gekomen die op basis van habitatgeschiktheid, zaadverspreiding en logistieke overwegingen zeer kansrijk leken en bovendien verdeeld lagen over de Nederlandse Waddenzee (Erftemeijer en Van Katwijk 2010). Op basis van veldbezoeken zijn in 2011 vervolgens de exacte, definitieve locaties vastgesteld en op basis van veldbezoeken en de resultaten van de zaailocaties van 2011 zijn vervolgens in 2012 vlak in de buurt iets andere locaties gekozen. Bij veldbezoeken zijn de volgende overwegingen meegenomen:

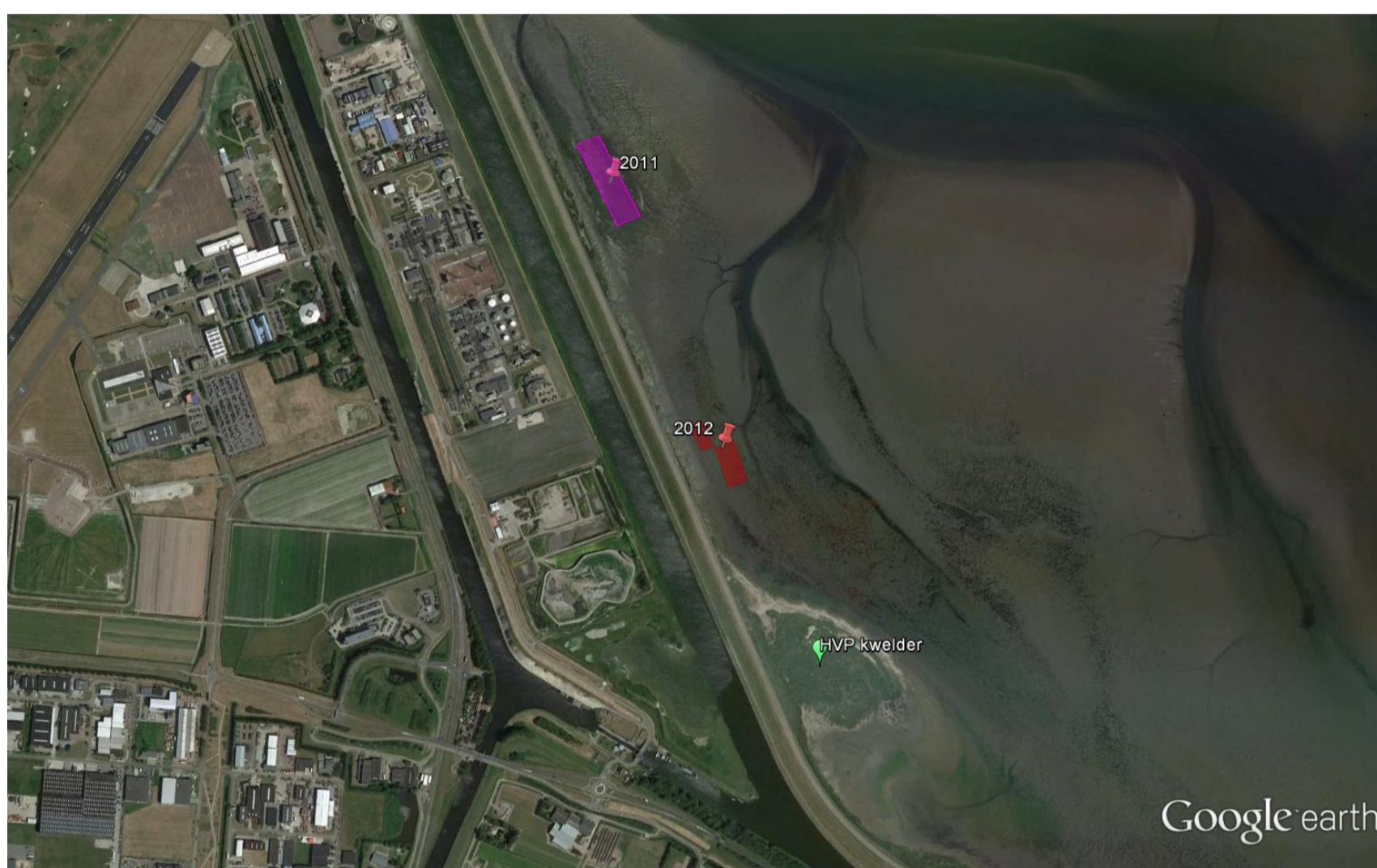
- Voldoende afstand tot zoetwaterinvoer en lozingspunten, zodanig dat er bij voorkeur enige zoetwaterinvloed is, maar niet sterk fluctuerend (Van der Heide et al. 2006)
- Beschutte ligging (b.v. een mosselbank)
- Weinig indicatie van H₂S in het poriewater
- Optimale hoogte (locaties gekozen rond +0.10 N.A.P., ±20 cm)
- Geen recente veranderingen in het veld (bv. een potentiële locatie bij Noordpolderzijl is afgewezen vanwege het feit dat dit in korte tijd van slikkig naar zandig was veranderd)
- aanwezigheid van zeegras in voorgaande jaren.

Uiteindelijk zijn de volgende keuzes gemaakt voor locaties op het Balgzand (Noord Holland), Schiermonnikoog (Friesland) en Uithuizen (Groningen).

Hieronder volgen de exacte uitzaailocaties. Voor verdere details m.b.t. locatiekeuze zie Van Duren et al. (2013)

2.3.2.1 Balgzand

De uitzaailocaties op het Balgzand lagen vlak voor de dijk. Door de hoogtegradiënt en een geultje dat hier langsloopt, was het noodzakelijk de locaties hier relatief smal te maken. Figuur 2.3 geeft de uitzaailocaties van 2011 en 2012 aan. De locatie van 2011 was langwerpig (250 x 40m, parallel aan de dijk), het centrum bevond zich op N 52°55'30" en O 4°47'59". Vanwege de ligging van een geultje was de locatie van 2012 gesplitst in twee vlakken, met als centrum: N 52°55'11.28", O 4°48'10.20" respectievelijk N 52°55'09.05", O 4°48'14.18".



Figuur 2.3: Uitzaailocaties 2011 (roze) en 2012 (rood) op het Balgzand. Tevens aangegeven de kwelder die in het broedseizoen een belangrijke hoogwater vluchtplaats voor vogels is.

2.3.2.2 Schiermonnikoog

Beide uitzaaigebieden op Schiermonnikoog waren vierkanten van 100x100 meter. De locatie van 2011 had als centrum: N 53° 28' 08" en O 6° 10' 33"; de locatie van 2012 lag op N 53° 28' 10.22" en O 6° 10' 24.75".



Figuur 2.4: 2011 (roze) en 2012 (rood) uitzaalocaties bij Schiermonnikoog

2.3.2.3 Uithuizen

Bij Uithuizen zijn locaties gekozen in de oude kwelderwerken. In dit gebied is veel klein zeegras aanwezig. Klein zeegras heeft vergelijkbare habitat eisen als groot zeegras, en de soorten kunnen gemengd voorkomen. Klein zeegras heeft gemiddeld een voorkeur voor iets ondieper gebied. Hier is dus de uitzaalocatie gekozen aan de zeezijde van de velden met klein zeegras.



Figuur 2.5: Uitzaailocaties bij Uithuizen, 2011 (roze) en 2012 (rood).

Ook deze plots waren vierkant (100x100 m). Het centrum van de 2011 locatie was N 53°28'02", O 6°41'17". Voor de 2012 locatie was dit direct westelijk hiervan: N 53°28'01.92", O 6°41'10.41.

2.4 Vergunningen

2.4.1 Publiekrechtelijk

- Binnen Nederland is vergunning aangevraagd en gekregen onder de NB-wet vergunning. Deltares heeft achtergrondinformatie aangeleverd en de aanvragen zijn door RWS ingediend.
- Flora- en Faunawet ontheffing is via het DR¹-loket geregeld en verkregen.
- In Duitsland is toestemming gegeven voor het verzamelen bij Rantum door het Naturpark. Deze toestemming is verkregen via het AWI.

2.4.2 Privaatrechtelijk

Voor het verkrijgen van toestemming om op specifieke locaties werkzaamheden te verrichten is toestemming en soms afstemming nodig met de terreinbeheerders. Alle formele en informele contacten betreffende toegang tot gebieden zijn via the Fieldwork Company gegaan. Voor enkele deelgebieden had de beheerder specifieke eisen aan de locatie, bijvoorbeeld op het Balgzand, waar een HVP lag in de buurt van een geselecteerd uitzaai vak. Bij de uiteindelijke locatiekeuze en/of bij de timing van werkzaamheden is rekening gehouden met deze lokale wensen.

1. Dienst Regelingen

2.5 BUD constructie

Een “BUD” bestaat uit een zak van gaas met een maaswijdte die net groot genoeg is om zeegras zaad door te laten, maar de aren van zeegras vast te houden (Pickerell et al. 2005; Buoy deployed seeding = BUDS). Deze zakken worden verbonden aan drijvers. Deze techniek is van oorsprong ontwikkeld in gebieden met ondergedoken zeegras, waarbij de BUD's normaal gesproken niet in contact komen met het sediment. In de Waddenzee werd gewerkt in het intergetijdengebied waar de BUD's een deel van de tijd op het sediment liggen en zouden in de loop van de periode dat ze in het veld liggen een hoeveelheid sediment kunnen invangen. Hiermee moest rekening gehouden worden met de constructie. Een ander punt dat vooraf bepaald moest worden was de exacte maaswijdte die noodzakelijk was. *Z. marina* verschilt op verschillende plaatsen qua grootte van de plant (lengte en breedte van de bladeren) maar ook qua grootte van de zaden. Het zeegras op Sylt bleek kleiner dan in Nederland en zaden waren niet langer dan 0.8 mm.

Gekozen is voor commercieel beschikbaar gaas met een maaswijdte van 1.5 mm in droge toestand. Dit rekt op tot ongeveer 2 mm nadat het enkele dagen in zeewater heeft gelegen en aan golfwerking is blootgesteld (Van Duren et al. 2013).



Figuur 2.6 BUD, gevuld met zeegrasbloeiwijzen, voorzien van een drijver en een karabijnhaak

De BUD's worden in het veld verankerd aan een 5 m lange lijn met een grondanker. Deze ankers worden enige tijd vóór de veldcampagnes geplaatst. De lijnen aan de grondankers zijn ook voorzien van een drijver en een karabijnhaak, zodat de BUD's zowel bij laagwater als bij hoogwater geplaatst kunnen worden. Voor verdere details m.b.t. de constructie, zie Van Duren et al. (2013)

2.6 Verzamel- en uitzaaiprocedure

Tijdens twee bezoeken in de laatste week van augustus – eerste twee weken van september is er met groepen van rond de 20 vrijwilligers zeegras materiaal verzameld op het wad bij Rantum. Vooraf waren door de Fieldwork Company in dit gebied een aantal velden gemarkeerd als “verzamellocaties” en “referentielocaties”. De laatste gebieden waren in zeegrasdichtheid en omstandigheden (hoogteligging, sedimentsamenstelling etc.) vergelijkbaar met de verzamellocaties. Vooraf kregen de vrijwilligers instructies om in het veld groot zeegras van klein zeegras te kunnen onderscheiden.



Figuur 2.7: Links groot zeegras (Z. marina) en rechts klein zeegras (Z. noltii) op het wad op Sylt. Groot zeegras is hier ongeveer even groot als klein zeegras in Nederland. In het veld zijn de soorten naast elkaar goed herkenbaar.

Tijdens laagwater wanneer het zeegras goed zichtbaar en bereikbaar was, werden aren met zaad dragende stengels verzameld. Vervolgens werden ter plekke de BUD's gevuld met ongeveer 700 gram zeegrasmateriaal, afgesloten, in kratjes gepakt en de kratjes worden vervolgens in een koelwagen gestapeld voor transport naar Nederland. De koeling is belangrijk omdat de kwaliteit van zeegras snel achteruit gaat bij temperaturen boven de 15 °C.



Figuur 2.8: Kratjes met BUD's klaar om in de koelwagen gestapeld te worden. De kratjes voorkomen dat er teveel gewicht op onderliggende zaadzakken komt waardoor zeegraszaad beschadigd kan raken en broei kan gaan optreden.

Nadat voldoende materiaal (een kleine 200 kg per keer, iets minder dan 400 kg per jaar) was verzameld werd het materiaal naar Nederland vervoerd en zo spoedig mogelijk (lieft de volgende dag) in het veld gebracht. Dit gebeurde ofwel met een klein bootje tijdens hoog water, of lopend tijdens laag water (Figuur 2.9). Elke locatie werd voorzien van 180 zaadzakken per seizoen, in totaal 540 zaadzakken voor de drie locaties samen.

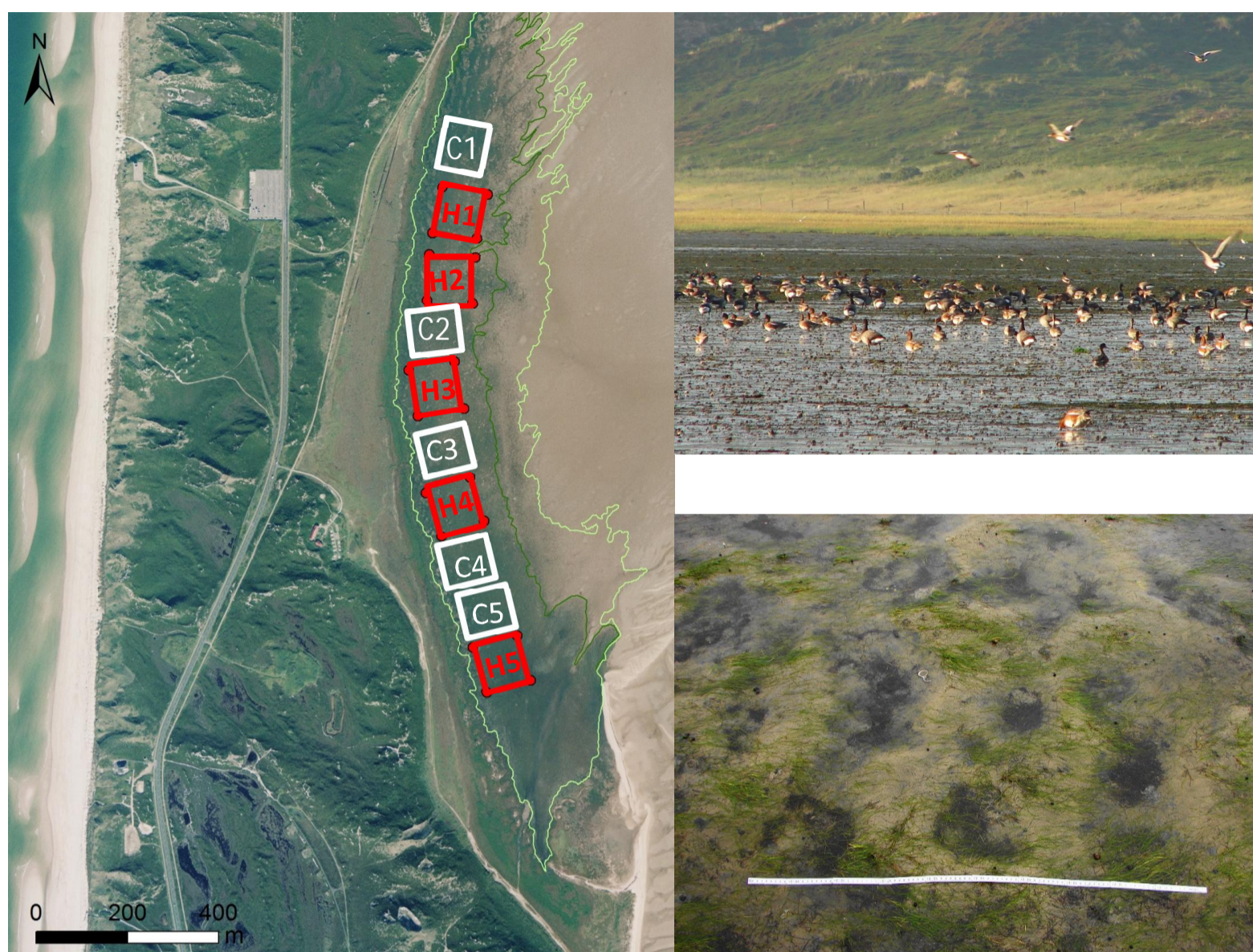


Figuur 2.9: Uitzaaai tijdens laagwater bij Balgzand in 2012.

2.7 Monitoring

2.7.1 Impact op donor locatie

Vooraf was op basis van inventarisaties van de beschikbare hoeveelheid zeegras op de donorlocatie en de hoeveelheid die verzameld diende te worden al een inschatting gemaakt dat er geen effect te verwachten zou zijn van het verzamelen. Om dit te verifiëren zijn twee soorten effectmetingen gedaan. De eerste methode is toegepast meteen aansluitend aan de verzamelperiode. Rond deze tijd komen op het wad grote groepen rotganzen (*Branta bernicla*) en smienten (*Anas penelope*) om te foerageren op het zeegras. Het AWI heeft aan de hand van de aanwezigheid van faeces en foerageerkuilen van deze vogels een schatting gemaakt van het gebiedsgebruik door deze vogels (Figuur 2.10). Het monitoren van deze parameters is eenvoudiger en kost minder inspanning dan een kwantitatieve inventarisatie van het zeegras. De aanname is dat als de vogels geen onderscheid maken tussen stukken waar wel en waar geen zeegras is verzameld, er ook geen aanwijzingen zijn voor kwaliteitsverschil tussen deze sites.



Figuur 2.10: Indeling in verzamelvakken (rood, H1-H5) en referentievakken (wit, C1-C5), zoals deze zijn gebruikt in 2012. De lichtgroene contourlijn op de foto links toont het areaal tot waar het zeegrasveld in 2012 reikte, op basis van een inventarisatie in juli 2012. De luchtfoto is uit 2010 en afkomstig van LKN-SH. Rechtsboven: smienten en rotganzen die op het zeegras foerageren en rechts onder de foerageerkuilen van vogels (schaal: witte staaf is 1m). Foto's rechts zijn genomen op 27 september 2012 door Karsten Reise.

Voorafgaande aan de verzamelperiode in de zomer 2012 is door AWI een inventarisatie van zeegras gedaan op de referentie en oogstvakken om na te gaan of er verschillen in dichtheden te zien waren.

Zowel de vogelmonitoring als de inventarisaties van zeegras leiden tot de conclusie dat er geen impact is geweest op de donorlocaties. Een volledige beschrijving van de monitoring en de resultaten hier van op de donorlocatie is te vinden in Van Duren et al. (2013).

2.7.2 Resultaatmonitoring op uitzaailocatie

Een volledige beschrijving van de surveymethode die gebruikt wordt is te vinden in het rapport van de RWS-CIV (Bergwerff en Buiks 2012). Dit is gebaseerd op de standaardmethode zoals wordt toegepast binnen de MWTL monitoringsstrategie.

Het veldwerk wordt uitgevoerd met een rastermethode. Elk van de drie gebieden is verdeeld in roostercellen van 20x20 m. Elk gebied wordt

Tabel 2.1: Codes, corresponderend met bedekkingsgraad (cover, in %) en per cel het areaal dat bedekt was

Code	Cover	Surface area
1	>0-1	>0-4
2	1-5	4-20
3	5-10	20-40
4	10-20	40-80
5	20-30	80-120
6	30-40	120-160
7	40-50	160-200
8	50-60	200-240
9	60-70	240-280
10	70-80	280-320
11	80-90	320-360
12	90-100	360-400

vervolgens te voet geïnventariseerd en per cel wordt de aanwezigheid van zeegrassoorten (*Z. marina*, *Z. noltii* en *Ruppia maritima*) vastgelegd op handcomputers (PDA's). Er wordt een code toegekend corresponderend met de bedekkingsgraad (Tabel 2.1; Bergwerff en Buiks 2012). Na het veldwerk zijn de data gedownload en verwerkt in GIS.

In het eerste jaar van deze projectmonitoring (2012) was aangenomen dat vanwege de hoge zinksnelheid van zaad, de verspreiding van zaad rond de uitzaaiplots gering zou zijn. In 2012 is bij de planning uitgegaan van monitoring op een afstand van maximaal 100m van de rand van de uitzaailocatie. Achteraf bleek dat er rond de locaties sprake moet zijn van significant sedimenttransport, want in 2012 bleek dat de verspreiding groter was. Vanwege de relatief beperkte tijd is dat eerste jaar mogelijk niet de volledige verspreiding van zeegras in kaart gebracht. De jaren daarna is hier rekening mee gehouden en is meer tijd ingeruimd voor kartering.

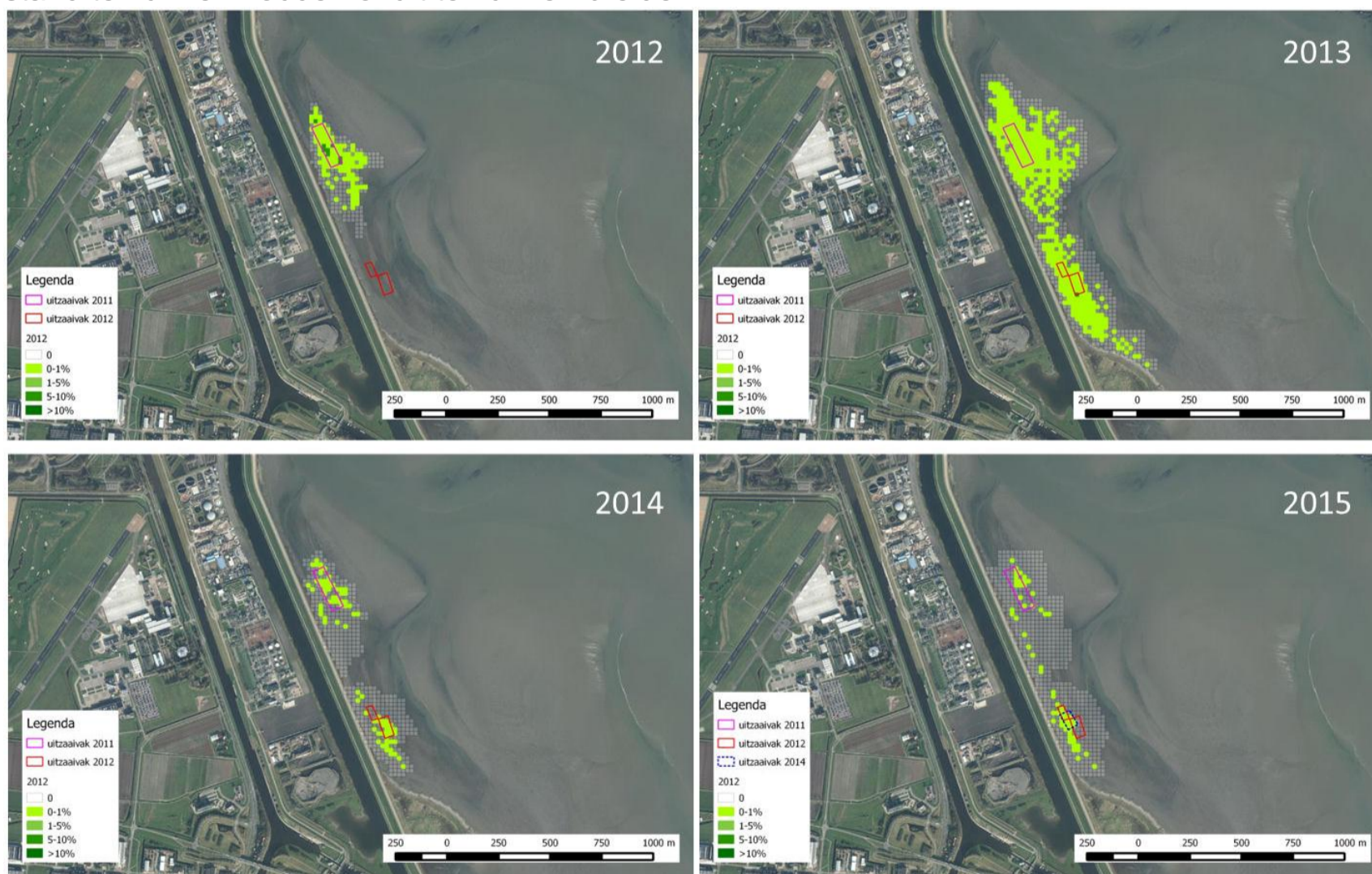
3 Resultaten

3.1 Balgzand

3.1.1 Verspreiding over de jaren

Op het Balgzand kwam na de eerste uitzaai in 2011 een redelijke hoeveelheid zeegras op rondom de uitzaailocatie (Figuur 3.1). De verspreiding was iets groter dan verwacht, tot ongeveer 200 m in zuidelijke richting en iets minder in de andere richtingen. Op de meeste plaatsen was de bedekking laag (0-1%), maxima tot 5% bedekking werden binnen het uitzaaivak aangetroffen. Veel planten hadden duidelijk zaadontwikkeling. Het jaar daarop waren de twee uitzaaivakken nog goed van elkaar te onderscheiden. Rondom het oudere vak (wat dus in 2012 niet meer bezaaid was, maar van waaruit zeegras zich zelf had uitgezaaid) was de verspreiding het grootst. Kennelijk was het zeegras in dat jaar in staat zichzelf ook zonder extra uitzaaien zelf uit te breiden.

Dat jaar was ook hier zeegras pas erg laat opgekomen, na een extreem lange, vorstperiode in het voorjaar. In de late zomer werd er zeer weinig rijp zaad waargenomen. In 2014, het eerste jaar dat er niet uitgezaaid was, was de populatie op beide locaties sterk afgenomen. Beide locaties waren echter nog steeds herkenbaar. Eind 2014 is er uitgezaaid (door een ander project) op de locatie van de 2012 uitzaai. Echter deze uitzaai lijkt (in vergelijking met de opkomst van 2012 en 2013) maar matig aangeslagen te zijn. Nog steeds zijn er planten aanwezig op de eerste uitzaailocatie van 2011, waar slechts 1 keer is uitgezaaid. Het is niet onwaarschijnlijk dat deze locatie na de terugslag van 2013-2014 nu te klein is om zichzelf in stand te kunnen houden of uit te kunnen breiden.



Figuur 3.1: Groot zeegras rond de uitzaailocaties op het Balgzand in opeenvolgende jaren. Uitzaaivakken zijn aangegeven (roze 2011 en rood 2012). Het uitzaaivak van het vervolproject dat in 2014 ook hier heeft uitgezaaid is met blauw gestreepte lijn aangegeven. NB: de lichtgroene vakken geven aan dat in deze cellen een bedekking van 0-1% is aangetroffen, dus niet een dicht, vlakdekkend zeegrasveld.

3.1.2 Conditie en grootte

Het Balgzand liet alle jaren relatief grote planten zien in vergelijking met Sylt. Planten zijn hier meestal tot maximum 60 à 70 cm. Wel wordt deze locatie gekenmerkt door zeer sterke algengroei, zoals zeesla (*Ulva lactica*), Japans bessenwier (*Sargassum muticum*) en verschillende soorten draadalgen (Figuur 3.2).



Figuur 3.2: De uitzaailocatie rond Balgzand wordt gekenmerkt door extreme algengroei, (zeesla en draadwieren).

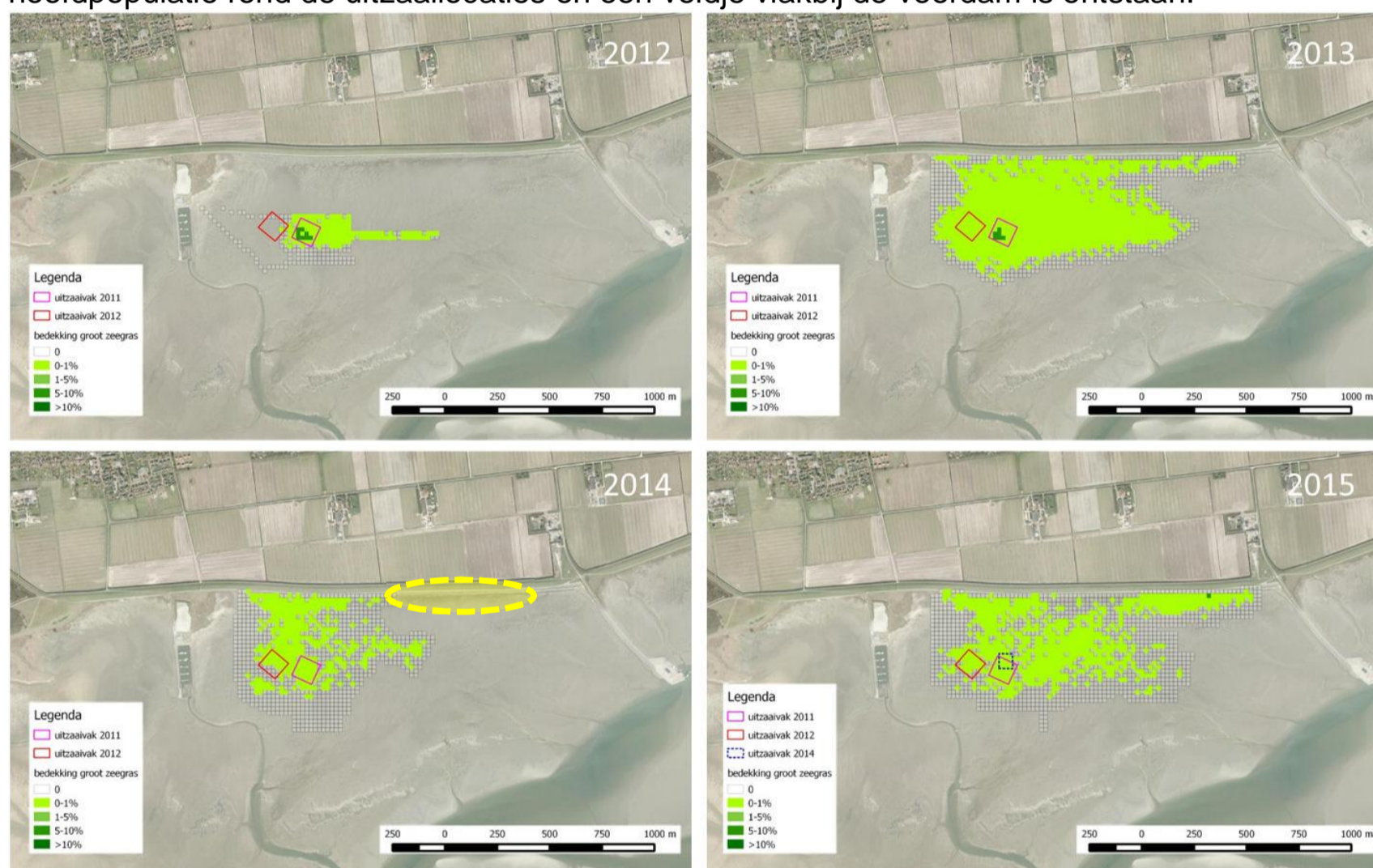
Waarschijnlijk door effecten van verstikking door algengroei op deze locatie vertoont het zeegras hier vaak witte of donkere verkleuringen.

3.2 Schiermonnikoog

3.2.1 Verspreiding over de jaren

Ook op de locatie van Schiermonnikoog heeft sinds de eerste uitzaai zeegras gestaan. Het eerste jaar dat er gemonitord is (2012) bleek dat de verspreiding veel verder was dan oorspronkelijk ingeschat, met name naar het oosten. In tegenstelling tot de normale procedure, was men in de beschikbare tijd niet in staat om zo ver te karteren dat er minstens twee lege vakken werden waargenomen. Wel was de dichtheid van zeegras hier erg laag (1 à 2 planten per karteringscel). Op deze locatie is waarschijnlijk in 2012 dus niet de volledige verspreiding in kaart gebracht. Opmerkelijk was dat in 2013 de hoogste dichtheid aan zeegras werd waargenomen in het uitzaai vak van 2011, wat het jaar daarvoor dus niet bezaaid was. Op Schiermonnikoog is veel verspreiding richting de dijk geweest. Dit had mogelijk te maken met het wegslaan van een mosselbankje in de winter van 2011-2012. Dit kan tot gevolg hebben gehad dat het getij sneller het wad op kwam en daarmee sediment (en zaad) transport richting de dijk heeft veroorzaakt.

Ook hier was in 2013 (in tegenstelling tot andere jaren) geen zaadontwikkeling te zien. Sommige planten stonden in september nog in bloei, terwijl de bladeren al aan het afsterven waren. In 2014 was ook hier een forse teruggang te zien, maar minder dan op de andere twee locaties. In 2014 is door een ander project op het 2011 vak weer uitgezaaid en in 2015 is er een toename te zien van zeegras in vergelijking met 2014. In 2014 hebben de waarnemers niet meer gekeken bij het meest oostelijke deel tegen de dijk aan. In 2015 stond daar de hoogste dichtheid. Het is (op basis van de verspreidingsafstanden van zeegras rond de uitzaailocaties van 2011) onwaarschijnlijk dat dit afkomstig is van de nieuwe uitzaai van 2014 omdat dit op een afstand van meer dan een kilometer van de uitzaailocatie ligt. Het is eerder aannemelijk dat hier in 2014 ook nog zeegras heeft gestaan. De waarnemers gaan door met karteren tot er meer dan twee vakken geen planten meer worden waargenomen. Het is dus zeer goed mogelijk dat met de teruggang van 2014 er een "leeg" stuk tussen de hoofdpopulatie rond de uitzaailocaties en een veldje vlakbij de veerdam is ontstaan.



Figuur 3.3: Groot zeegras rond de uitzaailocaties bij Schiermonnikoog in opeenvolgende jaren. Uitzaaivakken zijn aangegeven (roze 2011 en rood 2012). Het uitzaaivak van het vervolgproject dat in 2014 ook hier heeft uitgezaaid is met blauw gestreepte lijn aangegeven. NB: het gebied tegen de dijk, oostelijk van het zeegras in 2014 is dat jaar niet gekarteerd; in 2015 is daar wel zeegras aangetroffen. Het is goed mogelijk dat hier in 2014 ook zeegras heeft gestaan dat ruimtelijk was gescheiden van het hoofdveld. NB: de lichtgroene vakken geven aan dat in deze cellen een bedekking van 0-1% is aangetroffen, dus niet een dicht, vlakdekkend zeegrasveld.

3.2.2 Conditie en grootte

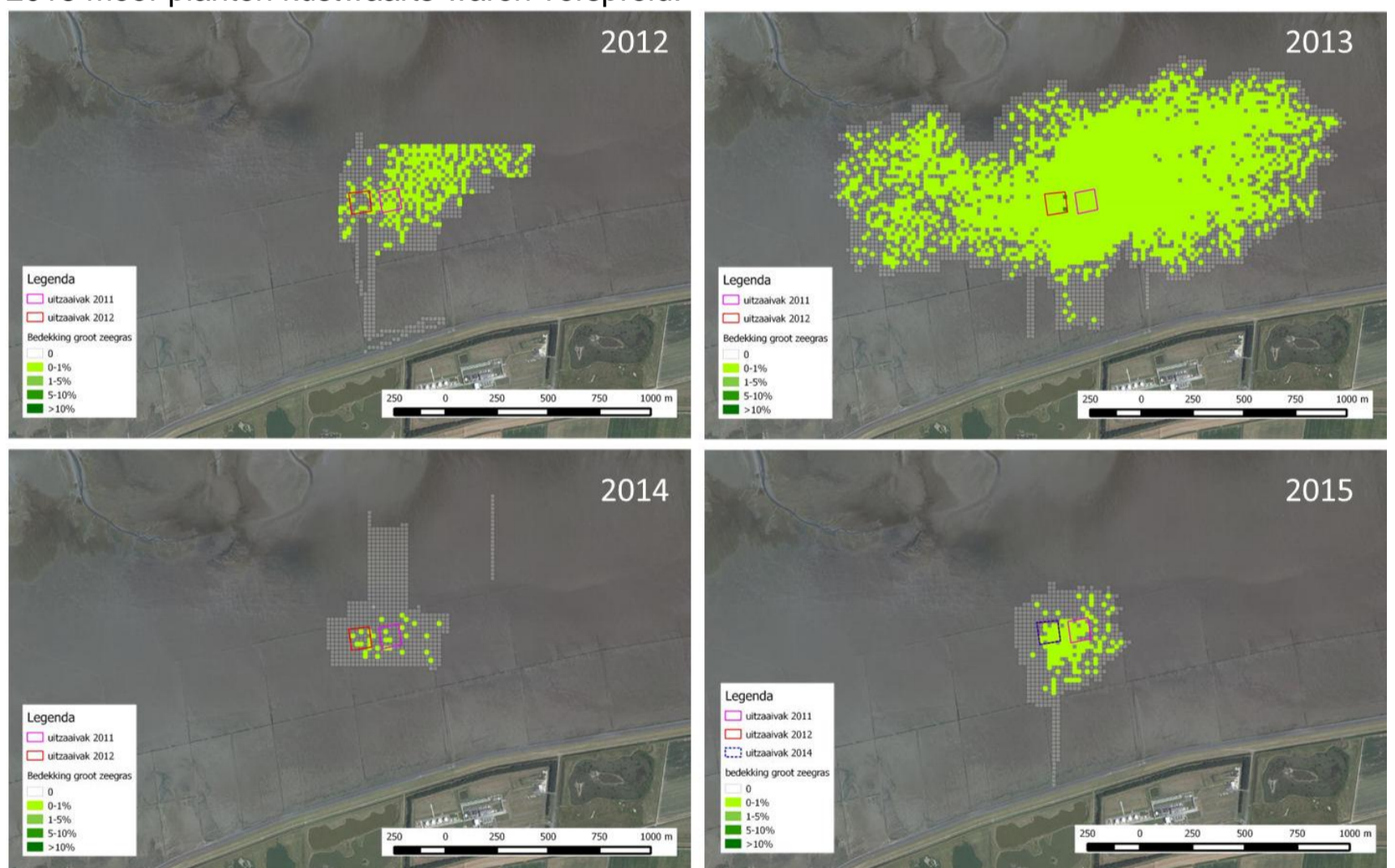
Op Schiermonnikoog worden meestal relatief grote planten aangetroffen, ook in vergelijking tot de andere twee locaties. De kleinste individuen zijn rond de 20 cm, maar de grootste planten kunnen tot 80 cm groot worden. Planten zagen er alle jaren vitaal uit. In alle jaren is zaadzetting waargenomen, alleen in 2013 was dit zeer beperkt. In dat jaar waren in augustus veel planten te zien met bloemen of onbevruichte, afstervende bloeiwijzen.

3.3 Uithuizen

3.3.1 Verspreiding over de jaren

Uithuizen heeft over de afgelopen 4 jaar de grootste variabiliteit gekend in zeegras bedekking. Hoewel in 2012 mogelijk niet het hele veld volledig is bemonsterd (zie in Figuur 3.4, dat zeegras tot aan de rand van het gekarteerde gebied is aangetroffen en dus mogelijk een wat verdere zeewaartse verspreiding heeft gehad) is het zeker dat er een spectaculaire toename te zien was in 2013 in vergelijking met het jaar daarvoor. Hoewel in dat jaar de dichtheid alleen binnen het uitzaaivak van 2012 op een paar plekken boven de 5% uitkwam was er een groot gebied dat een vrijwel aaneengesloten, zij het lage bedekking (0-1%) had met zeegras.

In 2014 is de populatie vrijwel in elkaar gestort. Hier stonden toen nog slechts enkele planten. De nieuwe uitzaai in 2014 (op de locatie van de 2012-uitzaai) heeft wel weer voor een uitbreiding gezorgd, al lijkt het er op dat ook hier de aantallen planten en zeker de verspreiding minder was dan in 2012. Ook is het opmerkelijk dat in 2012 en zeker 2013 de grootste verspreiding vanuit de uitzaailocaties oostelijk en zeewaarts gericht was, terwijl in 2015 meer planten kustwaarts waren verspreid.



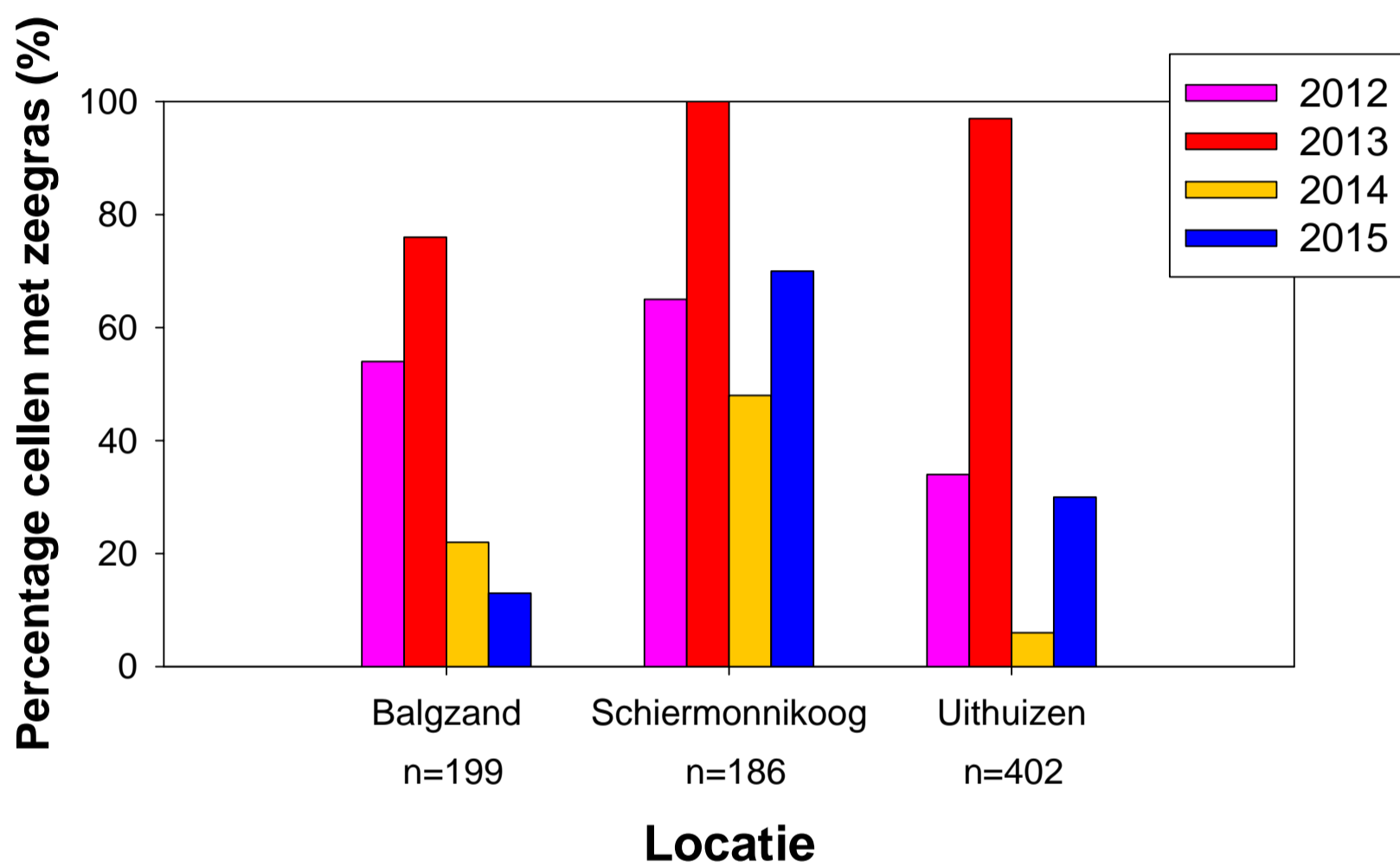
Figuur 3.4: Groot zeegras rond de uitzaailocaties bij Uithuizen in opeenvolgende jaren. Uitzaaivakken zijn aangegeven (roze 2011 en rood 2012). Het uitzaaivak van het vervolgproject dat in 2014 ook hier heeft uitgezaaid is met blauw gestreepte lijn aangegeven. NB: de lichtgroene vakken geven aan dat in deze cellen een bedekking van 0-1% is aangetroffen, dus niet een dicht, vlakdekkend zeegrasveld.

3.3.2 Conditie en grootte

Planten hebben er hier alle jaren gezond en vitaal uitgezien, variërend in grootte van 20-70 cm. Ook hier was in 2013 ondanks de grote verspreiding van zeegras, vrijwel geen rijp zaad te bekennen. Ook leek het er hier op (als ook op de andere locaties) dat er een erg scheve verhouding was met veel meer vrouwelijke planten dan mannelijke (persoonlijke waarneming Marieke van Katwijk na veldbezoek).

3.4 Patchiness op de drie uitzaalocaties

Het totale gebied dat elk jaar wordt gekarteerd hangt voor een belangrijk deel af van de aanwezige hoeveelheid zeegras. De karteerders lopen door totdat er minstens twee lege cellen worden aangetroffen. De hoeveelheid cellen die dus jaarlijks worden gekarteerd varieert. Er is echter in alle drie de gebieden rond de uitzaalocatie van 2011 een gebied dat elk jaar gekarteerd is. In Figuur 3.5 staat weergegeven in welk percentage van de altijd gekarteerde cellen zeegras is aangetroffen.



Figuur 3.5: Percentage cellen dat alle vier de jaren is gekarteerd waar zeegras is aangetroffen. Figuur naar (Tolman en Pranger 2015)

NB: dit is dus niet het totaal percentage gekarteerde cellen dat zeegras bevat; het geeft een beeld van de 'patchiness' van de zeegras bedekking binnen het gebied dat elk jaar is gekarteerd. Tussen 2011 en 2012 is het percentage cellen met zeegras op alle locaties toegenomen. Dat betekent dat op alle locaties de zeegrasbedekking meer aaneengesloten was. Tussen 2013 en 2014 is overal een forse terugval te zien, wat er op duidt dat het zeegras meer in losse 'patches' aanwezig was dan in een aaneengesloten veld.

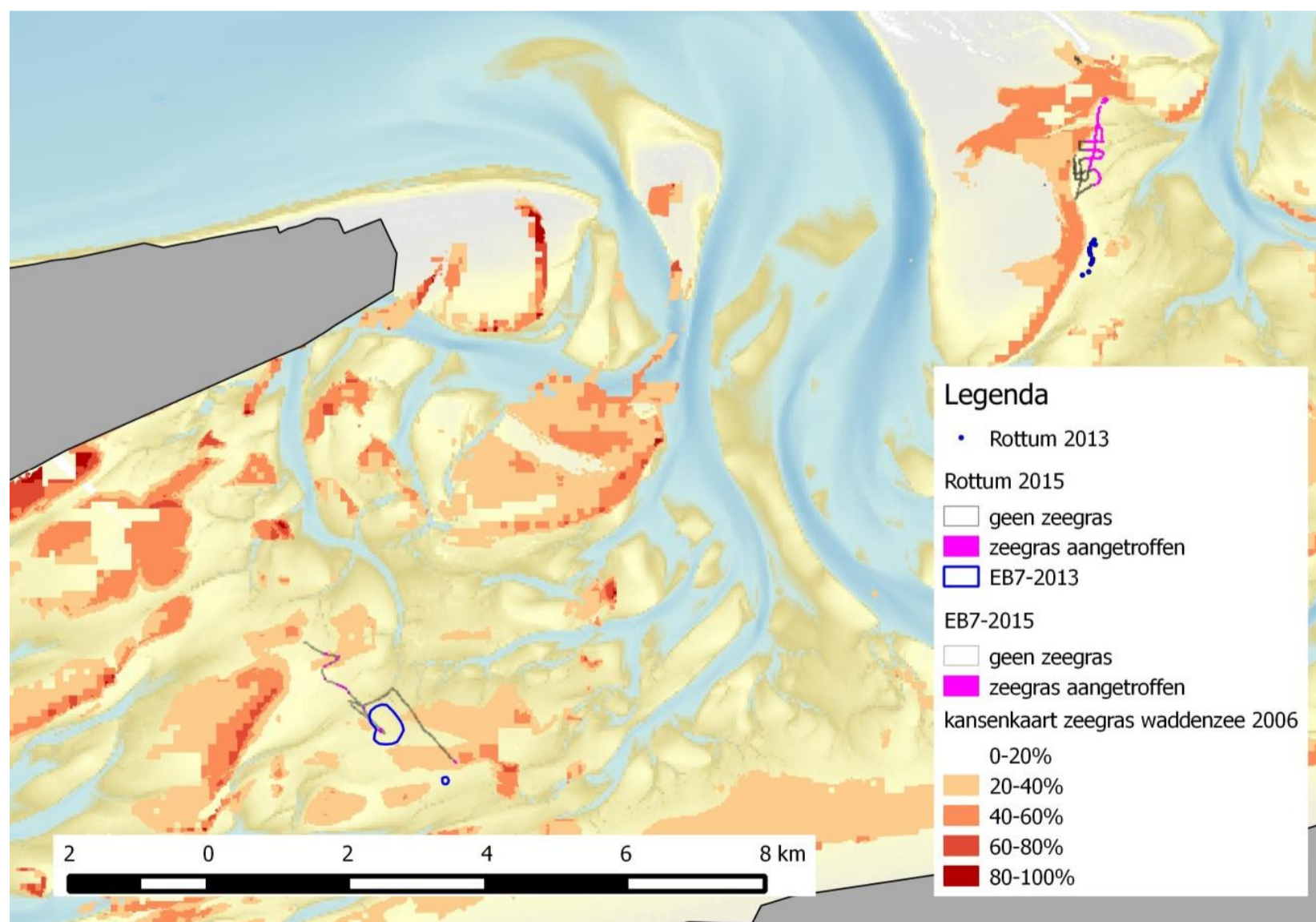
De getallen in Figuur 3.5 geven een iets vertekend beeld vanwege de ligging van de uitzaalocaties van 2011 en 2012. Op het Balgzand ligt alleen uitzaalocatie 2011 binnen het altijd gekarteerde gebied. Uitzaalocatie 2012 en die van 2015 van het Waddenfondsproject liggen op ruim 700 m afstand. Op Schiermonnikoog en Uithuizen liggen de locaties vrij dicht bij elkaar en vallen beide locaties geheel of gedeeltelijk binnen het altijd gekarteerde gebied. Dat verklaart daarmee waarom in deze twee gebieden het percentage cellen met zeegras toeneemt in die cellen, terwijl in Balgzand een afname te zien is. De afstand tussen de uitzaalocatie 2015 en de altijd gekarteerde cellen is hier te groot om direct aanvulling te krijgen na een jaar van uitzaaien. De uitbreiding die te zien is op alle locaties tussen 2012 en 2013 komt op het Balgzand dan ook waarschijnlijk vrijwel volledig op het conto van lokale reproductie van planten die in 2011 zijn uitgezaaid, terwijl op de andere twee locaties dit een gevolg is van zowel lokale reproductie als de uitzaai van 2012.

3.5 Verspreiding naar andere locaties

Op basis van meldingen op de website van Rijkswaterstaat en mededelingen van wetenschappers van IMARES die bezig waren met ongerelateerd veldwerk zijn in 2013 twee locaties gevonden waar zich ook zeegrasplanten hebben gevestigd, nl. Eilanderbalg (EB7) en bij Rottum. De locatie Eilanderbalg is door mensen van de CIV in 2013, 2014 en 2015 bezocht. In 2015 zijn ook Op Rottumerplaat nog extra waarnemingen gedaan, naar aanleiding van meldingen door de vogelwacht.

In Figuur 3.6 zijn de verschillende locaties te zien. Al deze locaties zijn vlak in de buurt van locaties die in de zeegraskansenkaart (geplot op de achtergrond) als kansrijk worden aangemerkt. Dit is zeker het geval voor Rottum. Voor Eilanderbalg is dit minder duidelijk. Rondom deze locatie ligt een redelijke hoeveelheid gebied dat volgend de 2005 kanskaart 'geschikt' of 'redelijk geschikt' is. Op fijne schaal kan exacte ligging van geschikt habitat kan uiteraard over de jaren heen verplaatsen in een dynamisch gebied als de Waddenzee

Een andere locatie waar zowel tijdens de MWTL monitoring van 2014 als tijdens een veldbezoek door de CIV in 2015 zeegras is aangetroffen is op Schiermonnikoog aan de westzijde van de jachthaven. Op deze locatie zijn in jaren voor 2011 sporadisch enkele planten aangetroffen en deze locatie was tijdens de voorbereidende fase zeker in beeld als potentiële uitzaailocatie. Op praktische gronden is voor de oostkant van de jachthaven gekozen (Van Duren et al. 2013). De ca. 80 planten die hier zijn aangetroffen zijn ofwel afkomstig van de uitgezaaide planten op Schiermonnikoog, ofwel zijn ontstaan uit materiaal dat is meegekomen van schepen in de jachthaven.



Figuur 3.6: Locaties bij Rottum waar in 2013 verschillende planten werden aangetroffen (blauwe punten) en waar in 2015 meerdere planten zijn gevonden (roze punten). In oranje tinten is de habitatgeschiktheid volgens de zeegraskansenkaart weergegeven. Tevens de locaties van Eilanderbalg (EB7) waar in 2013 (blauwe

gebied) en 2015 (roze karteringscellen) planten zijn aangetroffen. De grijze lijntjes zijn gekarteerde delen bij Rottum en Eilanderbalg waar wel is gekarteerd maar geen zeegras is gevonden. De achtergrond is de dieptekaart op basis van de vaklodingen van RWS, met in geeltinten het intergetijdengebied.

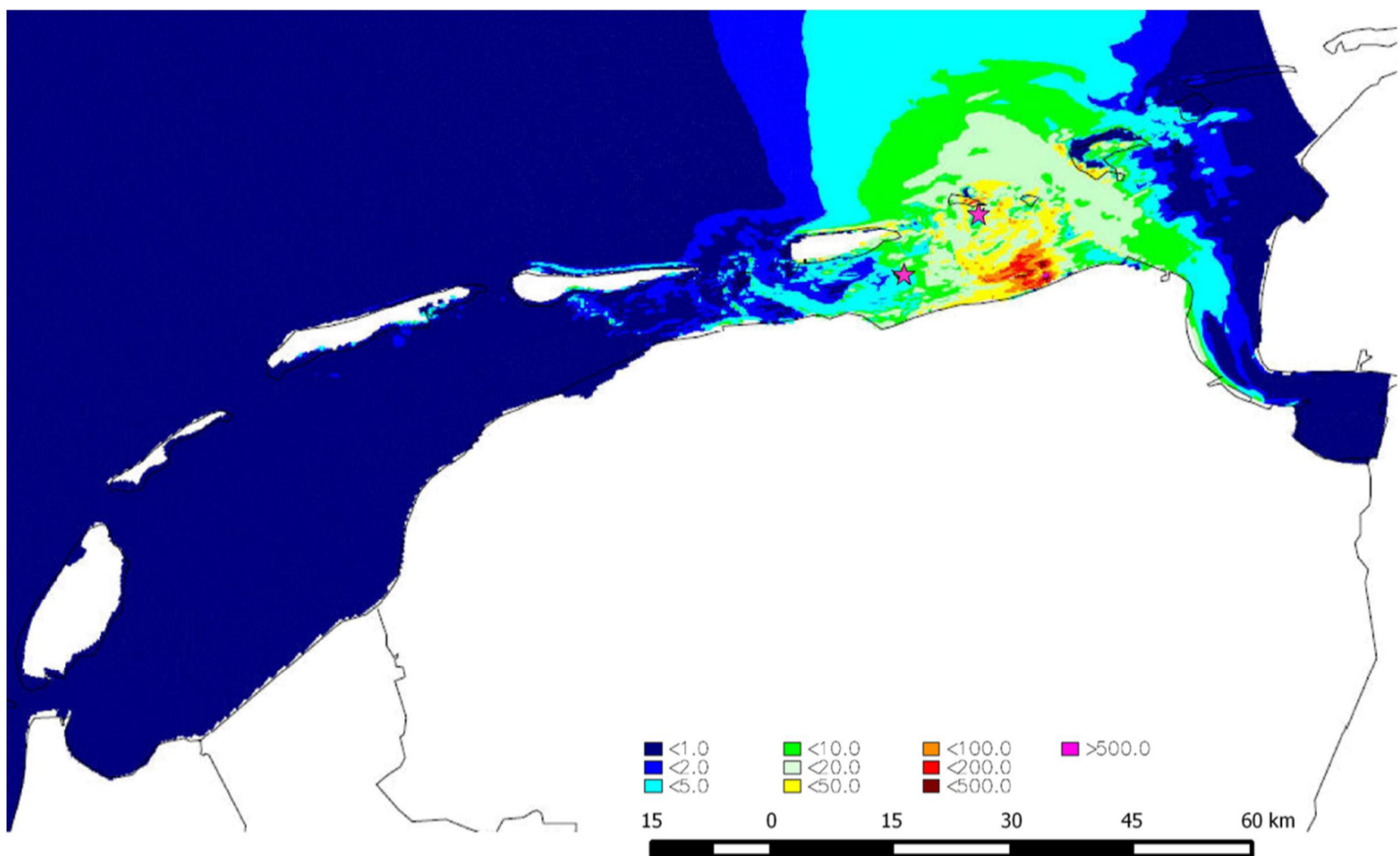
4 Discussie

4.1 Hypothese t.a.v. geschikt habitat en zaadlimitatie

Dit project is opgestart op basis van de hypothese dat er in de Nederlandse Waddenzee een redelijk areaal potentieel geschikt habitat te vinden is voor groot zeegras. De veronderstelde reden dat in dit gebied niet of nauwelijks zeegras wordt aangetroffen is het gebrek aan een populatie van zeegras in de buurt van waaruit toelevering van zaad kan plaatsvinden.

Uiteraard is in dit project niet alle areaal bekeken. Echter, het feit dat zeegras redelijk goed lijkt op te komen *zodra er zaad beschikbaar* is (hetzij van aanwezige planten van het voorgaande jaar, hetzij van uitgezaaid materiaal van andere gebieden) lijkt deze hypothese in grote lijnen te bevestigen. Het potentieel geschikt habitat volgens de zeegraskansenkaart is rond de 1750 Ha in de Nederlandse Waddenzee (De Jong et al. 2005). Een meer recente modelstudie op basis van iets andere methodologie en iets andere parameters kwam uit op een zeer vergelijkbare verdeling van potentieel gunstig habitat in de Waddenzee (Folmer 2015). De resultaten van dit herstelproject en de recentere analyses van Folmer (2015) lijken in elk geval de hypothese te bevestigen dat er in de Nederlandse Waddenzee een aanzienlijk areaal gunstig habitat aanwezig is.

Van de nieuwe locaties bij EB7 en Rottum kan uiteraard niet met zekerheid worden gezegd dat ze afkomstig zijn van de uitzaaiactiviteiten van het huidige project. Ze liggen echter wel op locaties die volgens de verspreidingsmodellen uit de voorstudie relatief gemakkelijk gekoloniseerd kunnen worden vanuit de uitzaailocatie, met name die van Uithuizen.



Figuur 4.1: Modelvoorspelling van zaadverspreiding waarbij de kans dat zaden die losgelaten zijn bij een locatie op het Groninger wad worden weer gegeven in kleurcodering (n/ha, Erftemeijer en Van Katwijk 2010). De sterren geven de locaties op Rottum en EB7 aan waar zeegras is aangetroffen sinds 2013.

Van de locatie bij Rottum is moeilijk in te schatten of dit zeegras afkomstig is van Uithuizen. Dit kan in principe ook van de Hond-Paap afkomstig zijn. In de jaren 1990 en 2000 zijn vaker individuele zeegrasplanten nabij Rottum en Rottumerplaat gesignaleerd. Een andere mogelijkheid – misschien wel de meest waarschijnlijke gezien de grotere populatieomvang – is dat dit zeegras uit de Duitse Waddenzee afkomstig is.

De EB7 locatie ligt hemelsbreed dicht bij de uitzaailocatie Schiermonnikoog. Echter die ligt aan de andere kant van het wad. Het is in principe mogelijk dat het zaad op EB7 afkomstig is van Schiermonnikoog en via bed-load transport (materiaal dat rollend over de bodem wordt getransporteerd) over het wad is gekomen, maar dit is beslist minder waarschijnlijk. Dat dit zeegras afkomt van de Hond-Paap is vanwege de afstand en de lokale stromingspatronen nog minder waarschijnlijk. Ook voor EB7 is het mogelijk dat het afkomstig is uit de Duitse Waddenzee.

Zeegras blijkt dus op te komen en tot zaadzetting te kunnen komen op locaties waarvan verondersteld wordt dat deze geschikt zijn. Echter, op alle locaties in alle jaren was er slechts in enkele cellen sprake van een bedekkingsgraad van tussen de 1 en 5% en in de overgrote meerderheid van cellen was dit minder dan 1%. De voorstudie had als doelstelling om binnen de uitzaaivakken een dichtheid van meer dan 5% te creëren om uiteindelijk een zelfvoorzienende populatie op te bouwen (Erftemeijer en Van Katwijk 2010). Bij bedekkingspercentages van minder dan 5% is de kans op voortbestaan van een zeegrasveld relatief klein. Bij een dergelijke lage dichtheid aan planten is de kans op bevruchting minder door pollenlimitatie (Reusch 2003). Bovendien kan de soort in hogere dichtheden zijn eigen leefomgeving zoals de bodemchemie en sedimentdynamiek en gevolgen van fysische stressfactoren zoals uitdroging, positief beïnvloeden en daarmee de kans op voortbestaan verbeteren (Reise 2005; Bos en Van Katwijk 2007; van der Heide et al. 2007; Eriksson et al.

2010; Valdemarsen et al. 2010; Folmer et al. 2012). Het is onzeker waarom de gemiddelde dichtheid binnen de uitzaaivakken in jaren na uitzaaien relatief laag was. Het was opmerkelijk dat in 2013 bij Schiermonnikoog de hoogste dichtheid aan planten werd aangetroffen binnen het uitzaaivak van 2011, terwijl binnen het uitzaaivak van het jaar ervoor de dichtheid onder de 1% bleef. Het feit dat de uitzaai in geen van de jaren tot velden met een bedekking van meer dan 5% heeft geleid is mogelijk van belang geweest bij de grote terugval in 2014.

De hoeveelheden zeegras die zijn uitgezaaid waren gebaseerd op aannames van retentie van zaad in de omgeving van de uitzaaivakken en ontkiemingspercentages gebaseerd op literatuurgegevens. Enerzijds was de verspreiding van zeegras rond de uitzaaivakken het eerste jaar groter dan vooraf gedacht, relatief groot, maar anderzijds was het uitzaaivak van 2011 op het Balgzand na vijf jaar nog steeds herkenbaar. Dit laatste wijst toch op een behoorlijk percentage retentie van lokaal geproduceerd zaad. Er zijn binnen dit project, vanwege budgetbeperkingen geen kiemprouven uitgevoerd om de kiemkracht van het zaad te testen. Ook zijn er geen schattingen van de aantallen opgekomen planten, om dezelfde reden. Ondanks de genomen voorzorgsmaatregelen zoals gekoeld vervoer en voldoende ruimte tussen de BUD's tijdens opslag en vervoer in de kratjes, is het goed mogelijk dat er uiteindelijk van de totale hoeveelheid meegebracht zaad een veel kleiner percentage tot ontkieming is gekomen dan in eerste instantie was ingeschat.

Deze veronderstelling wordt versterkt door de recente ontdekking van een andere ziekteverwekker *Phytophthora gemini* in zaad materiaal van *Z. marina* (Man in 't Veld et al. 2011). *Phytophthora* is een geslacht van oömycetes, schimmel-achtige organismen die verschillende planten kunnen infecteren. Van de recent ontdekte *Phytophthora* in zaadmateriaal van zeegras is nog niet vastgesteld wat de effecten zijn, maar het is aannemelijk dat dit een verminderde kiemkracht tot gevolg kan hebben (Govers et al. 2015). Als dit het geval is geweest dan zou dit betekenen dat er per uitzaaivak een veel grotere hoeveelheid zaad uitgezaaid had moeten worden om uiteindelijk de gewenste dichtheid te bereiken.

Hoewel harde bewijzen dus ontbreken, lijken de resultaten tot nu toe te wijzen op een bevestiging van de uitgangshypothesen van dit project, nl. dat er geschikt habitat voor zeegras in de Nederlandse Waddenzee aanwezig is, maar dat afwezigheid van voldoende grote, robuuste bronpopulaties voor zaad de kolonisatie van deze gebieden beperkt. Vanwege de grote natuurlijke variabiliteit van het gebied, deels voorspelbaar (zoals getijden en seizoenen), en deels stochastisch (gerelateerd aan het weer), is het eveneens van belang dat deze robuuste bronpopulaties verschillende gebieden beslaan zodat risico's gespreid worden. Hiermee wordt bedoeld dat de deelgebieden van de robuuste bronpopulaties onderling verschillende risico's moeten lopen, bijvoorbeeld een deelgebied kan beschut zijn voor stormen en tevens gevoelig zijn voor ophoping van macroalgen, terwijl een ander deelgebied juist meer geëxponereerd is aan hydrodynamiek en minder kans op macroalgenophoping heeft. De expositie van de deelgebieden is idealiter ook niet allemaal naar dezelfde windrichting, niet alleen vanuit het oogpunt van stormen, maar ook in verband met uitdroging. Op deze wijze worden de risico's gespreid, en kunnen getroffen deelgebieden vanuit nabijgelegen overlevende deelgebieden worden geherkoloniseerd (van Katwijk et al. *In press*).

4.2 Schaal

Eén van de belangrijkste uitgangspunten van dit project is geweest dat de herstelmaatregel op een voldoende grote schaal zou moeten plaatsvinden om een aantal zeegrasvelden te

vestigen die voldoende groot en voldoende dicht zijn om natuurlijke fluctuaties in groei en reproductie van zeegras op te vangen. Het vrijwel ineenstorten van de populatie in 2014 nadat in 2013 vrijwel geen rijp zaad tot ontwikkeling gekomen was, wijst er op dat deze doelstelling in elk geval niet gehaald is. In 2013 was enerzijds een zeer goed jaar voor de hoeveelheid zeegras, maar zaad kwam niet tot rijping. De bloeiwijzen leken dat jaar aangetast met een verkleuring die deed denken aan effecten van verdroging, maar in de gegevens van het KNMI zijn geen aanwijzingen te vinden die uitdroging waarschijnlijk maken. In elk geval gezocht worden in een factor die over de hele Waddenzee een effect had, i.p.v. een lokale lozing of bodemverstoring. Het voorjaar was exceptioneel koud en het heeft tot in april gevoren. Dit kan een factor zijn geweest, maar andere zaken zoals een ziekte die toevallig dat specifieke jaar bijzonder zware tol geëist heeft, zijn niet uit te sluiten. Het lijkt er op dat dat jaar door gewone, normale natuurlijke fluctuaties geresulteerd heeft in slechte rekrutering. In de andere jaren met veel minder zeegras is er wel zaadvorming en rijping waargenomen en uit de resultaten blijkt ook dat lokaal geproduceerd zaad prima tot ontwikkeling kan komen. Overigens kan ook in die jaren de lage zeegrasdichtheden wel geleid hebben tot een lagere zaadproductie, omdat pollenlimitatie op kan treden (Reusch 2003). Op dit moment hebben we te weinig inzicht in de dynamiek van zeegras in Nederland om te weten hoe vaak een dergelijk "slecht jaar" voor komt. Het zou natuurlijk kunnen zijn dat dit project gewoon pech heeft gehad dat een extreem slecht jaar is opgetreden kort nadat er zeegras is uitgezaaid en nog voordat de ingezaaide velden zich hadden kunnen uitbreiden tot een populatie met voldoende kritische massa. In dat geval zou een vervolgproject met een vergelijkbare opzet en misschien iets meer jaren van uitzaaien wel kunnen leiden tot een robuuste populatie die in staat is om klappen op te vangen.

Het zou ook kunnen zijn dat ondanks de zorgvuldige voorbereidingen de uitzaaiactiviteiten niet groot genoeg waren en dat er veel meer materiaal verzameld had moeten worden. Dit zou tot twee belangrijke vragen leiden:

- Wat is dan de minimale hoeveelheid die noodzakelijk is?
- Is het überhaupt mogelijk om voldoende zeegras te oogsten, uit te zaaien en daarmee een robuuste populatie te creëren?

Deze laatste vraag is uiteraard van zeer groot belang voor de haalbaarheid van de doelstellingen van de KRW.

Het is ongetwijfeld wel mogelijk om de activiteiten voor verzamelen van zeegras in Duitsland uit te breiden. Het was binnen dit project niet moeilijk om voldoende vrijwilligers bijeen te krijgen en het zal zeker mogelijk zijn om voldoende mensen te trainen om meer of grotere groepen te kunnen begeleiden.

Er zit echter uiteraard een grens aan de hoeveelheid zeegras die zonder gevolgen voor de donorpopulatie meegenomen kan worden. Daarnaast is *Zostera marina* ook in Duitsland een beschermde soort. Het huidige project is uitgevoerd met instemming van het National Park Wattenmeer, vanwege de steun van het AWI (zeker ook de persoonlijk inzet van prof. Karsten Reise) en de argumentatie dat er slechts twee jaar verzameld zou worden met als doel te onderzoeken hoe zeegras te herstellen in de Nederlandse Waddenzee. Zowel op grond van ecologische argumenten als vanuit sociale acceptatie in Duitsland zal het zeer belangrijk zijn om een beter idee te krijgen over de minimale hoeveelheid inspanning en bronmateriaal die er nodig zal zijn voor een succesvolle permanente herintroductie van zeegras in Nederland.

Een andere optie is om planten te kweken in binnendijkse gebieden en/of ander donormateriaal te betrekken, bijvoorbeeld uit Noord-Frankrijk, Engeland of de relatief zoutere wateren van Scandinavië. Het importeren van donormateriaal van buiten de Waddenzee brengt echter een groot risico met zich mee op invasieve soorten. Vermijden van dit risico

was een belangrijk criterium om voor de huidige opzet te kiezen. Ook is de kans dat het donormateriaal goed aanslaat minder groot wanneer het donormateriaal afkomstig is uit gebieden met zeer afwijkende abiotische omstandigheden zoals een ander zoutgehalte. Het is bekend dat in het veld vrij snel genetische selectie optreedt voor genotypen die het beste aangepast zijn aan de lokale omstandigheden (Oetjen et al. 2009). Dat betekent dat opkweken van zaad materiaal binnendijks of gebruik van zaadmateriaal van buiten de Waddenzee minder wenselijk is.

4.3 Water- en bodembeweging

De Waddenzee is van nature een dynamisch systeem met veel sedimentbeweging (zand en slib) op grote en kleine schaal (Elias et al. 2006; Van Kessel 2014). Vooral de resultaten van 2012, na de eerste uitzaai, wezen op een behoorlijk sediment transport rond de uitzaailocaties. Op basis van maximale waterstanden, stroomsnelheden en gerapporteerde zinksnelheden van zeegraszaad (Orth et al. 1994; Orth et al. 2006) kan snel worden geconcludeerd dat de kiemkrachtige zaden binnen enkele tientallen meters van de uitzaailocaties op de bodem moeten komen. In 2012 werd echter zeegras tot enkele honderden meters van de uitzaaivakken gevonden. Op Balgzand was dit beperkt tot ongeveer 200 m op de andere twee locaties aanmerkelijk meer, tot ongeveer 700 m. Dit laatste betrof dan wel slechts enkele planten. De verspreiding van zaad door transport over de bodem heeft vrijwel zeker ook bijgedragen aan het “verdunnen” van de zaadconcentratie op de uitzaailocaties en de lage bedekkingsgraad.

Op Schiermonnikoog was de uitzaailocatie 2011 zo gekozen dat deze enigszins in de luwte lag van een mosselbank. Deze is echter in de winter van 2011 / 2012 weggeslagen, waardoor deze locatie dynamischer is geworden dan voorheen was ingeschat. Fijnschalige topografie kan waarschijnlijk een belangrijk effect hebben op de retentie van zaad bij de bodem (Orth et al. 2003). Zo is in de Waddenzee ook aangetoond dat de foerageerkuilen, achtergelaten door watervogels de rekrutering van zeegras kunnen bevorderen (Zipperle et al. 2010), waarschijnlijk omdat zaadmateriaal zich in deze kuilen concentreert.

Het is daarmee aantrekkelijk om na te denken over het uitvoeren van dit soort restauratieactiviteiten in combinatie met de aanleg van b.v. biogene structuren (zoals mossel- of oesterbanken) of artificiële structuren (bv. kribben of rijshouten dammetjes zoals in de kwelderwerken worden gebruikt, of afbreekbare materialen). Dit vergt echter zorgvuldige voorbereiding. Uit de proeven met oesterrifaanleg uit de Oosterschelde (Wallis et al. 2015) en mosselbanken in de Waddenzee (Donker et al. 2013) blijkt dat na de aanleg de omgeving van deze structuren sterk kan veranderen. Dit kan positief uitwerken voor zeegras, maar ook kan door opslibbing de bodemhoogte dusdanig veranderen dat de lokale droogvalduur te kort wordt voor zeegras. Op dit moment is onze kennis van deze processen nog onvoldoende om op elke gewenste locatie de gevolgen van aanleg van structuren te kunnen voorspellen.

Een andere benadering is om op basis van fijnschalige, lokale data en modellen locaties te selecteren die al langere tijd relatief stabiel zijn. Dit vergt een ander soort modellen dan de hydrodynamische modellen die gebruikt zijn om verspreiding van zeegras te modelleren. Hiervoor zijn ofwel fijnschalige, morfodynamische modellen nodig, die goed gevalideerd moeten zijn met veldmetingen. Ofwel kunnen hier data-gestuurde statistische modellen zoals ontwikkeld door Folmer et al. (2015), bij gebruikt worden. In het aanpalende onderzoek in 2012 aan sedimentdynamiek in en rond de uitzaailocaties is gemeten dat de lokale variatie in bodemhoogte binnen het groeiseizoen op Schiermonnikoog minder was dan op het Balgzand of Uithuizen, hoewel de drie locaties in het algemeen zeer vergelijkbaar zijn qua bodemdynamiek (Suykerbuyk et al. 2013). Zeer waarschijnlijk zal dit het jaar ervoor anders geweest zijn vanwege het wegslaan van die mosselbank in 2011. Het is waarschijnlijk dat

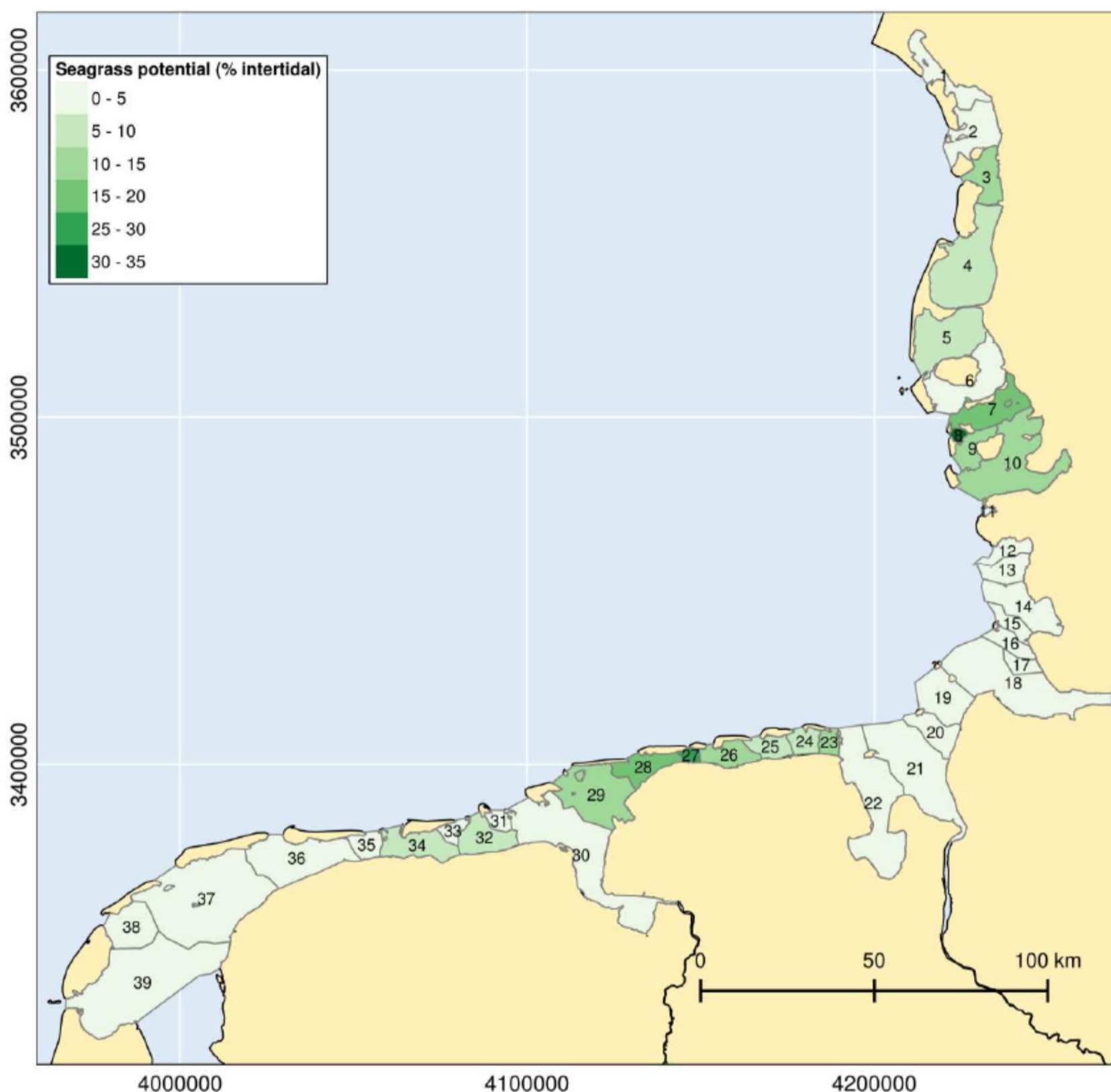
hierdoor in de winter voorafgaand aan het groeiseizoen van 2012 de dynamiek daar juist groter geweest is. Kwalitatieve waarnemingen in het veld bevestigden dit. Echter daarna was het een relatief stabiele locatie met weinig sedimentatie en erosie. Het is uiteraard niet met zekerheid vast te stellen dat dit doorslaggevend geweest is voor het feit dat deze locatie zich het beste weet te handhaven na de slechte rekrutering in 2014, maar ook andere onderzoekers hebben veranderingen in sedimentbeweging aangegeven als een factor die vestiging en overleving van zeegras negatief kunnen beïnvloeden (Reise 2005; Reise et al. 2009; Volkenborn et al. 2009).

4.4 Vooruitzichten Nederland

4.4.1 Afwezigheid van bufferpopulatie

Het is mogelijk dat het verdwijnen van de grote ondergedoken zeegraspopulatie voor Nederland tot gevolg heeft gehad dat een belangrijke buffer om fluctuaties in rekrutering op te vangen is weggevallen. Ondergedoken zeegras vormt wel grote hoeveelheden zaad (van Lent en Verschuure 1994), maar plant zich primair via wortelstokken voort en vermeerdert zich minder via zaadverspreiding (Qin et al. 2014). Echter de ondergedoken populaties zijn veel minder onderhevig aan de extremen van vorst, ijsgang in de winter en hitte en droogte in de zomer dan de intertidale populatie. Het is dus goed mogelijk dat in jaren met zeer slechte rekrutering en achteruitgang van het intertidale zeegras de ondergedoken populatie een belangrijke bijdrage heeft geleverd aan de herkolonisering van de intertidale populatie. Onderzoek op de Scilly Isles heeft ook daar het belang aangetoond van een subtidale bufferpopulatie voor het voortbestaan van een kwetsbaardere intertidale populatie (Potouroglou et al. 2014).

Ondanks het vrijwel verdwijnen van de ondergedoken variant van zeegras in Duitsland, heeft het intertidale zeegras zich daar wel kunnen herstellen vanuit overgebleven intertidale populaties. In de Duitse gebieden waar zeegras zich hersteld heeft is volgens de analyses van Folmer (2015) echter een veel groter potentieel voor gunstig habitat in het intertidaal (Figuur 4.1). Daarmee is ook de kans voor het handhaven van een bronpopulatie in het Duitse intergetijdengebied groter dan in het Nederlandse deel.



Figuur 4.1: Oppervlakte geschikt zeegrashabitat per komberging in de gehele Waddenzee, uitgedrukt als percentage gunstig habitat t.o.v. van het totale oppervlak van het intergetijdengebied. Figuur overgenomen uit Folmer (2015).

4.4.2 Gevolgen Phytophthora

Dat de wierziekte *Labyrinthula zosterae* een belangrijke rol heeft gespeeld in de afname van zeegras in het waddengebied wordt algemeen aangenomen. Welke rol de nieuw ontdekte pathogeen *Phytophthora* heeft binnen het ecosysteem is nog niet bekend. Op dit moment wordt hieraan onderzoek uitgevoerd door Laura Govers aan de Radboud Universiteit in Nijmegen (Govers et al. 2015). Ook is niet zeker hoe lang deze pathogeen al in het Waddensysteem aanwezig is, maar waarschijnlijk al meer dan 15 jaar (Man in 't Veld en Meffert 2012).

4.5 Conclusies

Puntsgewijs kunnen de conclusies van dit project als volgt worden samengevat:

- De herstelmethode m.b.v. zeegras zaad, verzameld door vrijwilligers is geschikt voor intertidaal zeegras. De deze methode staat toe om projecten op veel grotere schaal

uit te voeren dan voorheen is toegepast. Werken met vrijwilligers is goed uitvoerbaar, kostenefficiënt en heeft een goede positieve uitstraling in communicatie met het publiek. Deze aanpak kan daarmee draagvlak in de maatschappij voor herstelprojecten vergroten.

- Er is momenteel geen reden om te twifelen aan de schattingen van de zeegraskansenkaarten m.b.t. de aanwezigheid van geschikt areaal voor intertidaal groot zeegras. De potenties voor herstel lijken in het oostelijk deel van de Waddenzee groter dan in de westelijke Waddenzee.
- Van de drie locaties die binnen dit project gebruikt zijn heeft de Balgzand locatie de minst goede perspectieven om andere gebieden van de Waddenzee te koloniseren. Zowel de locatie Uithuizen als Schiermonnikoog liggen in gebied waar relatief veel geschikt habitat aanwezig is. De locatie Uithuizen had zich in eerste instantie het sterkst uitgebreid, maar bleek ook het meest gevoelig voor de gevolgen van de slechte zaadontwikkeling in 2013.
- De uitgevoerde maatregel binnen dit project lijkt niet grootschalig genoeg geweest te zijn om jaren met slechte rekrutering op te vangen. Enerzijds is er wel in 2013 een zeer grote verspreiding van zeegras bereikt (totaal rond de 300 ha, nadat er 2 x 3 plots van 1 ha zijn uitgezaaid). Anderzijds is de uiteindelijke bedekkingsgraad van zeegras onder de gewenste dichtheid gebleven. Het is zeer onzeker wat wel een voldoende schaalgrootte zou zijn, zowel in termen van bedekkingsgraad als oppervlak en risicospreiding.
- Er is onzekerheid over de kiemkracht van het zaad. Niet duidelijk is of de schattingen waarop de voorstudie gebaseerd zijn te optimistisch waren, of dat in recente jaren de kiemkracht van zaad (bv. onder invloed van infecties door *Phytophthora*) is afgenomen.
- Het is daarmee nog steeds onzeker of het daadwerkelijk mogelijk zal zijn om een voldoende grote herstelmaatregel uit te voeren om een zelfvoorzienende stabiele populatie te ontwikkelen. In ieder geval zal een eventueel vervolg zeer goede afstemming met het Duitse Waddengebied vergen.
- Bij eventuele toekomstige herstelprojecten (niet alleen voor zeegras, maar ook andere soorten en habitats) moet in tussentijdse communicatie naar het publiek sterker rekening gehouden worden met kwetsbaarheid van initieel succes.

5 Advies m.b.t. KRW-doelstellingen

Volgens de modelschattingen van Folmer (2015) is er rond de 6100 ha geschikt habitat voor zeegras in de Nederlandse Waddenzee. Deze schatting is wel sterk afhankelijk van parameterinstellingen en van welke meetwaarden van nutriëntenconcentraties worden gebruikt (Folmer pers. com). Echter, deze schatting is ruim voldoende om de 3240 ha groot zeegras te halen die nodig is voor het behalen van een “zeer goede” toestand volgens de KRW maatlatten. Het is echter, vanwege de beperking van zaadaanvoer nog erg onzeker of het daadwerkelijk mogelijk is om binnen afzienbare tijd een levensvatbare populatie zeegras terug te krijgen in de Nederlandse delen van de Waddenzee. Ondanks deze onzekerheid is het echter ook nog te vroeg om onmiddellijk te concluderen dat de referenties en maatlatten voor de Waddenzee niet haalbaar zijn en naar beneden toe moeten worden bijgesteld. Het is immers mogelijk dat met een veel grotere hoeveelheid donormateriaal en een verbetering van de zaadretentie en/of kieming een grotere dichtheid aan zeegras verkregen kan worden, waardoor de positieve terugkoppelingen die van een biobouwer als zeegras verwacht kunnen worden daadwerkelijk kunnen plaatsvinden. Daarnaast is het ook goed om op te merken dat voor de KRW doelstellingen areaal zeegras pas meetelt wanneer de bedekkingsgraad boven

de 5% is. Het overgrote deel van de 300 ha die in 2013 aanwezig was zou dus niet meetellen voor de KRW doelstellingen.

Het verdient sterk aanbeveling om eerst m.b.v. kleinere hoeveelheden zeegraszaad uit een donoromgeving, een aantal gerichte experimenten uit te voeren m.b.t. de kiemkracht van deze zaden en de mogelijkheden om zaadretentie te vergroten (middels bodemstabilisatie, zie bijvoorbeeld het juist gestarte STW-project BESE: Biodegradable Elements for Starting Ecosystems). Voordat er over wordt gegaan op grootschaliger herstelmaatregelen is het essentieel om inzicht te krijgen in factoren die tijdens verzamelen, vervoer en opslag de kiemkracht kunnen beïnvloeden, om zo de maximale opbrengst te garanderen en de mogelijkheden van zaadconcentratie te vergroten. Achteraf gezien is het mogelijk dat er minder kiemkrachtig zaad in het systeem is aangebracht dan de bedoeling was (Govers et al. 2015).

Het ligt zeer voor de hand dat er beperkingen zijn aan de hoeveelheden zeegraszaad die uit Duitsland kunnen worden geïmporteerd zonder dat er schade optreedt aan de donorpopulatie en zonder dat de steun uit Duitsland, die voor dit soort activiteiten onontbeerlijk is, gaat afbreken. Dit project was gebaseerd op het spreiden van effort en materiaal in ruimte en tijd om daarmee risico's van slechte locatiekeuze en slechte jaren zoveel mogelijk te verdelen. Op basis van de ervaringen binnen dit project verdient het misschien aanbeveling om voor een vervolg het materiaal te concentreren op de beste locaties om de kans te maximaliseren dat de kritische massa voor een robuuste populatie wel wordt bereikt, waarbij binnen hetzelfde gebied wel naar risicospreiding moet worden gestreefd. Schiermonnikoog zou daarbij de locatie zijn met de beste perspectieven. Hier is zeegras het minst achteruit gegaan in 2014 en vanuit deze locatie zijn er goede perspectieven om andere gebieden met geschikt habitat te koloniseren. Ook zijn er potentiële gebieden met enigszins verschillende expositierichting (aan weerszijden van de jachthaven) en beschutting.

Daarnaast verdient het ook aanbeveling om bij toekomstige keuzes van locaties nog wat meer aandacht te besteden aan de lokale beweging van de bodem en gebieden te selecteren met een vrij stabiele bodemligging. Hierbij moet gebruik gemaakt worden van fjnschalige, lokale data en eventueel lokale modellen. Mogelijkheden om stabilisatie tijdelijk te verhogen kunnen wellicht worden verkend in aansluiting op andere projecten (b.v. BESE).

Er is veel discussie over de effecten van bodemberoering op de herstel mogelijkheden van zeegras. Zeker is dat subtidaal zeegras met de huidige druk van garnalenvisserij en baggerwerkzaamheden zich zeer moeilijk zal kunnen vestigen. Echter zelfs als we deze antropogene druk wegnemen is het echter niet erg waarschijnlijk dat dit type zeegras zich snel zal kunnen herstellen, vanwege de grootschalige morfologische veranderingen in het systeem sinds de bouw van de Afsluitdijk. Naast veranderingen in de mobiliteit van de bodem is de huidige 'natuurlijke' slibdynamiek in het systeem dusdanig groot dat de slibfluxen ten gevolge van menselijke bodemberoering daarbij in het niet vallen. In het intertidaal, waar wel geschikt habitat is, is de hoeveelheid bodemberoering beperkt. Alleen het handmatig kokkels verzamelen en pierensteken zijn activiteiten die in gunstig habitat voor zeegras kunnen plaatsvinden. Het verdient daarom aanbeveling om voorzichtig te zijn met vergunningen voor handkokkelen en pierensteken in gebieden waar zeegras zich gemakkelijk kan vestigen en dit te verbieden in gebieden waar zeegras is waargenomen. Dit laatste zou in principe al gedekt moeten zijn vanuit de NB-wet vergunning. Mochten er in de toekomst toch kansen ontstaan voor herstel van subtidaal zeegras, dan zal uitsluiten van bodemberoering op relatief grote oppervlakten wel een hoge prioriteit moeten gaan krijgen.

Herstel van groot zeegras in de Nederlandse Waddenzee is zeker nog steeds wenselijk, al is onduidelijkheid over de haalbaarheid om dit met menselijke inspanningen te realiseren. Ook als zeegras zich wel opnieuw zal kunnen vestigen zal dit mogelijk een kwestie zijn van lange adem. De succesvolle herintroductie van *Z. marina* in het kustgebied van Virginia is ook tot stand gekomen met 11 jaar zaad toevoegen in 369 uitzaaivakken (Orth et al. 2012) en het uitzaaien vindt nog ieder jaar plaats.

Het advies is dus om voorlopig de maatlaten te houden op de huidige niveaus, ook al betekent dat, dat het onzeker is of in de komende KRW periode deze doelstellingen gehaald kunnen worden. Zeker gezien het waarschijnlijke belang van een bufferpopulatie en het feit dat er voldoende geschikt habitat lijkt te zijn, ligt het niet voor de hand de maatlat te reduceren naar een lager niveau. Op basis van de gegevens die we nu hebben is een kleine populatie kwetsbaar en kan niet gezien worden als een “goede ecologische toestand”. Mocht na gedegen onderzoek blijken dat het niet mogelijk is om aan voldoende donormateriaal te komen om de zaad-limitatie op te heffen en een robuuste populatie te laten ontstaan, dan ligt het eerder voor de hand om dan te accepteren dat we het Nederlandse deel van de Waddenzee moeten beschouwen als ongeschikt voor groot zeegras. In dat geval zou zeegras als ecologische kwaliteitsparameter voor de Waddenzee niet meer gehandhaafd moeten worden.

6 Referenties

- Bergwerff, J. W. and J. Buiks. 2012. Monitoring Herstel Groot Zeegras Waddenzee 2012. RWS - Data-ICT-Dienst.
- Bockelmann, A. C., K. Beining, and T. B. H. Reusch. 2012. Widespread occurrence of endophytic *Labyrinthula* spp. in northern European eelgrass *Zostera marina* beds. *Marine Ecology Progress Series* **445**:109-116.
- Bos, A. R. and M. M. Van Katwijk. 2007. Planting density, hydrodynamic exposure and mussel beds affect survival of transplanted intertidal eelgrass. *Marine Ecology Progress Series* **336**:121-129.
- Bouma, T. J., S. Olenin, K. Reise, and T. Ysebaert. 2009a. Ecosystem engineering and biodiversity in coastal sediments: posing hypotheses. *Helgoland Marine Research* **63**:95-106.
- Bouma, T. J., V. Ortells, and T. Ysebaert. 2009b. Comparing biodiversity effects among ecosystem engineers of contrasting strength: macrofauna diversity in *Zostera noltii* and *Spartina anglica* vegetations. *Helgoland Marine Research* **63**:3-18.
- De Jong, D. J., M. M. van Katwijk, and A. G. Brinkman. 2005. Kanskaart Zeegras Waddenzee: Potentiële groeimogelijkheden voor zeegras in de Waddenzee. RIKZ.
- Dolch, T., C. Buschbaum, and K. Reise. 2013. Persisting intertidal seagrass beds in the northern Wadden Sea since the 1930s. *Journal of Sea Research* **82**:134-141.
- Dolch, T. and K. Reise. 2010. Long-term displacement of intertidal seagrass and mussel beds by expanding large sandy bedforms in the northern Wadden Sea. *Journal of Sea Research* **63**:93-101.
- Donker, J. J. A., M. van der Vegt, and P. Hoekstra. 2013. Wave forcing over an intertidal mussel bed. *Journal of Sea Research* **82**:54-66.
- Elias, E. P. L., J. Cleveringa, M. C. Buijsman, J. A. Roelvink, and M. J. F. Stive. 2006. Field and model data analysis of sand transport patterns in Texel Tidal inlet (the Netherlands). *Coastal Engineering* **53**:505-529.
- Elias, E. P. L. and A. J. F. van der Spek. 2006. Long-term morphodynamic evolution of Texel Inlet and its ebb-tidal delta (The Netherlands). *Marine Geology* **225**:5-21.

- Erftemeijer, P. L. A. and M. M. Van Katwijk. 2010. Zeegrasproef Waddenzee. Grootschalig zeegrasherstel in de Nederlandse Waddenzee door middel van zaadverspreiding. Deltares, Delft.
- Eriksson, B. K., T. van der Heide, J. van de Koppel, T. Piersma, H. W. van der Veer, and H. Olf. 2010. Major Changes in the Ecology of the Wadden Sea: Human Impacts, Ecosystem Engineering and Sediment Dynamics. *Ecosystems* **13**:752-764.
- Folmer, E. O. 2015. Vestigingsmogelijkheden voor litoraal zeegras in de Waddenzee. Programma naar een Rijke Waddenzee.
- Folmer, E. O., M. van der Geest, E. Jansen, H. Olf, T. Michael Anderson, T. Piersma, and J. A. van Gils. 2012. Seagrass-Sediment Feedback: An Exploration Using a Non-recursive Structural Equation Model. *Ecosystems* **15**:1380-1393.
- Giesen, W., M. M. van Katwijk, and C. de Hartog. 1990a. Eelgrass condition and turbidity in the Dutch wadden Sea. *Aquatic Botany* **37**:71-85.
- Giesen, W. B. J. T., M. M. van Katwijk, and C. den Hartog. 1990b. Eelgrass condition and turbidity in the Dutch Wadden Sea. *Aquatic Botany* **37**:71-85.
- Govers, L. L., J. P. Meffert, P. C. J. van Rijswijk, W. A. Man in 't Veld, J. Heusinkveld, M. M. Van Katwijk, H. Bouma, and T. Van der Heide. 2015. Effecten van *Phytophthora* spp.-besmetting op de zaadkieming van groot zeegras (*Zostera marina*) Implicaties voor zeegrasherstel. .
- Jager, Z. and K. Kolbe. 2013. Wax and wane of *Zostera marina* on the tidal flat Hond-Paap/Hund-Paapsand in the Ems estuary; examinations of existing data. ZiltWater Report 201302, Ziltwater.
- Jones, C. G., J. H. Lawton, and M. Shachak. 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos* **69**:373-386.
- Keil, K., A. C. Bockelmann, and T. B. H. Reusch. 2011. Assessing subtidal seagrass (*Zostera marina*) in the North Frisian Wadden Sea; Analysis of the origin of populations and an experimental test of restoration methods. 0608.451014, Leibniz-Institut für Meereswissenschaften IFM-GEOMAR, Kiel.
- Man in 't Veld, W. A. and J. Meffert. 2012. Exotische en hybride *Phytophthora* soorten als mogelijke bedreiging voor natuurlijke ecosystemen. *De levende natuur* **113**:45-48.
- Man in 't Veld, W. A., K. C. H. M. Rosendahl, H. Brouwer, and A. W. A. M. de Cock. 2011. *Phytophthora gemini* sp. nov., a new species isolated from the halophilic plant *Zostera marina* in the Netherlands. *Fungal Biology* **115**:724-732.
- Oetjen, K., S. Ferber, I. Dankert, and T. B. H. Reusch. 2009. New evidence for habitat-specific selection in Wadden Sea *Zostera marina* populations revealed by genome scanning using SNP and microsatellite markers. *Marine Biology* **157**:81-89.
- Oetjen, K. and T. B. H. Reusch. 2007. Genome scans detect consistent divergent selection among subtidal vs. intertidal populations of the marine angiosperm *Zostera marina*. *Molecular Ecology* **16**:5156-5167.
- Orth, R. J., J. R. Fishman, M. C. Harwell, and S. R. Marion. 2003. Seed-density effects on germination and initial seedling establishment in eelgrass *Zostera marina* in the Chesapeake Bay region. *Marine Ecology Progress Series* **250**:71-79.
- Orth, R. J., M. C. Harwell, and G. J. Inglis. 2006. Ecology of seagrass seeds and seagrass dispersal processes. Pages 111-133 *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation*.
- Orth, R. J., M. Luckenbach, and K. A. Moore. 1994. Seed dispersal in a marine macrophyte: Implications for colonization and restoration. *Ecology* **75**:1927-1939.
- Orth, R. J., S. R. Marion, K. A. Moore, and D. J. Wilcox. 2010. Eelgrass (*Zostera marina* L.) in the Chesapeake Bay region of mid-Atlantic coast of the USA: Challenges in conservation and restoration. *Estuaries and Coasts* **33**:139-150.
- Orth, R. J., K. A. Moore, S. R. Marion, D. J. Wilcox, and D. B. Parrish. 2012. Seed addition facilitates eelgrass recovery in a coastal bay system. *Marine Ecology Progress Series* **448**:177-195.
- Peralta, G., T. J. Bouma, and L. A. van Duren. 2008. Consequences of shoot density and stiffness for ecosystem engineering by benthic macrophytes in flow dominated areas: a hydrodynamic flume study. *Marine Ecology Progress Series* **368**:103-115.

- Pickerell, C. H., S. Schott, and S. Wyllie-Echeverria. 2005. Buoy-deployed seeding: Demonstration of a new eelgrass (*Zostera marina* L.) planting method. *Ecological Engineering* **25**:127-136.
- Potouroglou, M., E. J. Kenyon, A. Gall, K. J. Cook, and J. C. Bull. 2014. The roles of flowering, overwinter survival and sea surface temperature in the long-term population dynamics of *Zostera marina* around the Isles of Scilly, UK. *Marine Pollution Bulletin* **83**:500-507.
- Qin, L. Z., W. T. Li, X. M. Zhang, M. Nie, and Y. Li. 2014. Sexual reproduction and seed dispersal pattern of annual and perennial *Zostera marina* in a heterogeneous habitat. *Wetlands Ecology and Management* **22**:671-682.
- Reise, K. 2005. Coast of change: habitat loss and transformations in the Wadden Sea. *Helgoland Marine Research* **59**:9-21.
- Reise, K., T. J. Bouma, S. Olenin, and T. Ysebaert. 2009. Coastal habitat engineers and the biodiversity in marine sediments. *Helgoland Marine Research* **63**:1-2.
- Reusch, T. B. H. 2003. Floral neighbourhoods in the sea: How floral density, opportunity for outcrossing and population fragmentation affect seed set in *Zostera marina*. *Journal of Ecology* **91**:610-615.
- STOWA. 2012. Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de kaderrichtlijn water 2015-2021. 2012-31, STOWA, Amersfoort.
- Suykerbuyk, W., K. Giesen, and M. M. Van Katwijk. 2013. Maatregel Herstel Groot Zeegras Waddenzee; Werkpakket 4 Sedimentdynamiek. Radboud Universiteit Nijmegen, Nijmegen.
- Tolman, M. E. and D. P. Pranger. 2015. Monitoring Herstel Groot zeegras Waddenzee 2015. BM14.19.
- Valdemarsen, T., P. Canal-Verges, E. Kristensen, M. Holmer, M. D. Kristiansen, and M. R. Flindt. 2010. Vulnerability of *Zostera marina* seedlings to physical stress. *Marine Ecology Progress Series* **418**:119-130.
- Van der Heide, T., A. J. P. Smolders, B. G. A. Rijkens, E. H. Van Nes, M. M. Van Katwijk, and J. G. M. Roelofs. 2008. Toxicity of reduced nitrogen in eelgrass (*Zostera marina*) is highly dependent on shoot density and pH. *Oecologia* **158**:411-419.
- Van der Heide, T., M. M. Van Katwijk, and G. W. Geerlings. 2006. Een verkenning van de groeimogelijkheden van ondergedoken Groot zeegras (*Zostera marina*) in de Nederlandse Waddenzee. Radbouduniversiteit Nijmegen, Nijmegen.
- van der Heide, T., E. H. van Nes, G. W. Geerling, A. J. P. Smolders, T. J. Bouma, and M. M. van Katwijk. 2007. Positive feedbacks in seagrass ecosystems: Implications for success in conservation and restoration. *Ecosystems* **10**:1311-1322.
- van der Heide, T., E. H. van Nes, M. M. van Katwijk, H. Olf, and A. J. P. Smolders. 2011. Positive feedbacks in seagrass ecosystems - Evidence from large-scale empirical data. *PLoS ONE* **6**.
- van Duren, L. A. 2014. Eelgrass restoration in the Dutch Wadden Sea. Results 2014. 1203892-000-ZKS-0044, Deltares, Delft.
- Van Duren, L. A. and M. M. Van Katwijk. 2013. Eelgrass restoration in the Dutch Wadden Sea, Results 2013. 1203892-000-ZKS-0040, Deltares, Delft.
- Van Duren, L. A., M. M. Van Katwijk, J. Heusinkveld, and K. Reise. 2013. Eelgrass restoration in the Dutch Wadden Sea; Methodology and first results. 1203892-000-ZKS-0033, Deltares.
- van Katwijk, M. M., G. W. Geerling, R. Rašín, R. van 't Veer, A. R. Bos, D. C. R. Hermus, M. van Wieringen, Z. Jager, A. Groeneweg, P. L. A. Erftemeijer, T. van der Heide, and D. J. de Jong. 2006. Macrophytes in the western Wadden Sea: monitoring, invasion, transplantations dynamics and European policy. Pages 89-98 in K. Laurensen, editor. *Proceedings of the 11th International Scientific Wadden Sea Symposium*. NERI, Esbjerg.
- Van Katwijk, M. M. and D. C. R. Hermus. 2000. Effects of water dynamics on *Zostera marina*: Transplantation experiments in the intertidal Dutch Wadden Sea. *Marine Ecology Progress Series* **208**:107-118.
- Van Katwijk, M. M., D. C. R. Hermus, D. J. De Jong, R. M. Asmus, and V. N. De Jonge. 2000. Habitat suitability of the Wadden Sea for restoration of *Zostera marina* beds. *Helgoland Marine Research* **54**:117-128.

- van Katwijk, M. M., A. Thorhaug, N. Marbà, R. J. Orth, C. M. Duarte, G. A. Kendrick, I. H. J. Althuisen, E. Balestri, G. Bernard, M. L. Cambridge, A. Cunha, C. Durance, W. B. J. T. Giesen, Q. Han, S. Hosokawa, W. Kiswara, T. Komatsu, C. Lardicci, K. S. Lee, A. Meinesz, M. Nakaoka, K. R. O'Brien, E. I. Paling, C. Pickerell, A. M. A. Ransijn, and J. J. Verduin. *In press*. Global analysis of seagrass restoration: the importance of large-scale planting. . *Journal of Applied Ecology*.
- Van Katwijk, M. M. and L. J. M. Wijgergangs. 2004. Effects of locally varying exposure, sediment type and low-tide water cover on *Zostera marina* recruitment from seed. *Aquatic Botany* **80**:1-12.
- Van Kessel, T. 2014. Opzet en toepassing slibmodel Waddenzee. 1209473-000-ZKS-0015, Deltares, Delft.
- van Lent, F. and J. M. Verschuure. 1994. Intraspecific variability of *Zostera marina* L. (eelgrass) in the estuaries and lagoons of the southwestern Netherlands. II. Relation with environmental factors. *Aquatic Botany* **48**:59-75.
- Vergeer, L. H. T., T. L. Aarts, and J. D. de Groot. 1995. The 'wasting disease' and the effect of abiotic factors (light intensity, temperature, salinity) and infection with *Labyrinthula zosterae* on the phenolic content of *Zostera marina* shoots. *Aquatic Botany* **52**:35-44.
- Volkenborn, N., D. M. Robertson, and K. Reise. 2009. Sediment destabilizing and stabilizing bio-engineers on tidal flats: cascading effects of experimental exclusion. *Helgoland Marine Research* **63**:27-35.
- Wallis, B., J. Salvador de Paiva, B. C. van Prooijen, T. Ysebaert, and A. C. Smaal. 2015. The Ecosystem Engineer *Crassostrea gigas* Affects Tidal Flat Morphology Beyond the Boundary of Their Reef Structures. *Estuaries and Coasts* **38**:941-950.
- Zipperle, A. M., J. A. Coyer, K. Reise, W. T. Stam, and J. L. Olsen. 2010. Waterfowl grazing in autumn enhances spring seedling recruitment of intertidal *Zostera noltii*. *Aquatic Botany* **93**:202-205.