



Zeegrasherstel Zee & Delta en Noord Nederland

Rapportage kennisontwikkeling Klein zeegras NN

Rijkswaterstaat

8 maart 2023



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Project Opdrachtgever Zeegrasherstel Zee & Delta en Noord Nederland
Rijkswaterstaat

Document Rapportage kennisontwikkeling Klein zeegras NN
Status Definitief 2
Datum 8 maart 2023
Referentie 129454/23-004.240

Projectcode 129454
Projectleider Drs. L.G. Turlings
Projectdirecteur Ir. R. Bouw

Auteur(s) F. Versloot, M.A.T. Marijt, S. Weisscher, T. van der Werf, E.M. van der Zee, L.L. Govers
Gecontroleerd door J. Latour
Goedgekeurd door Drs. L.G. Turlings

Paraaf



Adres Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V. | Deventer
Daalsesingel 51c
Postbus 24087
3502 MB Utrecht
+31 (0)30 765 19 00
www.witteveenbos.com
KvK 38020751

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden veeelvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

	SAMENVATTING	5
1	INLEIDING	7
1.1	Achtergrond en aanleiding	7
1.2	Beleidsmatige status	8
1.3	Doel kennisrapportage klein zee gras Noord-Nederland	9
1.4	Aanpak	9
1.5	Afbakening	9
1.6	Leeswijzer	10
2	KLEIN ZEEGRAS: ECOLOGIE EN VOORKOMEN	11
2.1	Ecologie	11
2.2	Historisch voorkomen	13
2.3	Huidig voorkomen	14
2.4	Oorzaken afname en gebrek aan natuurlijk herstel	15
3	KLEIN ZEEGRASHERSTEL WADDENZEE	17
3.1	Herstelprojecten in de tijd	17
3.2	Abiotische succes- en faalfactoren	21
3.3	Biotische succes- en faalfactoren	24
3.3.1	Biotische interacties met negatief effect op de aanwas van zee gras	25
3.3.2	Biotische interacties met positief effect op de aanwas van zee gras	28
3.3.3	Klein en groot zee gras interactie	29
3.3.4	Het effect van zee gras op de lokale biodiversiteit	31
3.4	Succes- en faalfactoren van het verzamelen en verwerken van donormateriaal	31
3.4.1	Donorlocaties & verzamelen	31
3.4.2	Verwerking donormateriaal en bewaren zaden	32
3.5	Succes- en faalfactoren van het planten en uitzaaien	35
3.5.1	Bare-Root Methodiek	35
3.5.2	Core methodiek	35
3.5.3	Dispenser Injection seeding (DIS)	36
3.5.4	Zaai- en plantdichtheid en schaal	37

3.6	Samenvatting belangrijkste succes- en faalfactoren	37
4	BELANGRIJKSTE VERVOLGVragen KLEIN ZEEGRASHERSTEL	39
4.1	Geschikte locaties	39
4.2	Methodiek	40
4.3	Kennisontwikkeling stuurfactoren	40
5	REFERENTIES	42
	Laatste pagina	48
	Bijlage(n)	Aantal pagina's
	-	

SAMENVATTING

Zeegrasvelden zijn van grote ecologische betekenis. Ze vormen een cruciaal habitat voor diverse mariene soorten in verschillende levensfasen, dragen enorm bij aan biodiversiteit en vervullen tal van andere ecosystemendiensten zoals kustbescherming en CO₂-opslag. Wereldwijd verdwijnen zeegrasvelden en in Nederland is dat niet anders.

Het herstel van zeegrasvelden is een doelstelling en een maatregel in het Natura 2000 beheerplan en de Kaderrichtlijn Water. Rijkswaterstaat zet met het project Zeegrasherstel Zee & Delta en Noord-Nederland in op verdere kennisontwikkeling en herstelwerkzaamheden. Het uiteindelijke doel is om grotere oppervlakten aan zichzelf instandhoudende zeegrasvelden te ontwikkelen, waardoor ook de ecologische kwaliteit van de betreffende gebieden zal verbeteren.

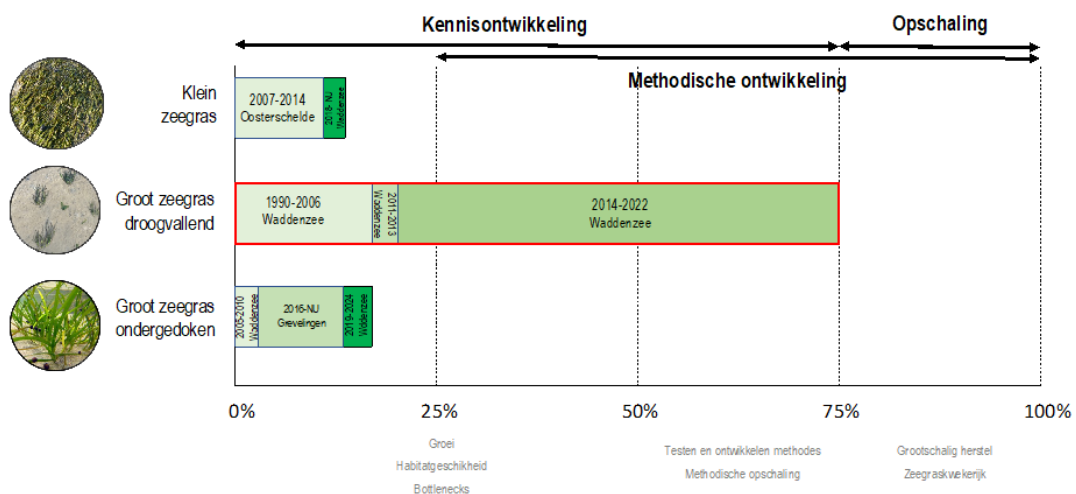
Voorliggende kennisrapportage geeft een overzicht van de bestaande kennis over het herstel van klein zeegras in de Waddenzee. Het vormt input voor het plan van aanpak voor de herstelwerkzaamheden en zal jaarlijks aangevuld worden op basis van monitoringsresultaten uit het project.

Klein zeegras komt voor op droogvallende wadplaten en lage kweldergebieden. Deze meerjarige vaatplant kan in de winter overleven op het suiker en zetmeel dat in de zomer wordt opgeslagen in de wortelstokken. Klein zeegras plant zich zowel klonaal als via zaden voort. Het kan gemengd met groot zeegras voorkomen.

De geleidelijke afname van klein zeegras in de Waddenzee heeft vooral te maken met achteruitgang van de waterkwaliteit door vermesting en met een toename van wadpiëren die de bodem omwoelen (sedimentdestabilisatie). Het oppervlak aan klein zeegrasvelden is in het laatste decennium weer voorzichtig gegroeid.

Vanaf 1992 is er onderzoek gedaan naar klein zeegrasherstel, maar vooral als onderdeel van groter onderzoek naar groot zeegras. Klein zeegrasonderzoek dat plaatsvond in de Oosterschelde tussen 2007 en 2014 heeft nieuwe inzichten gebracht, die ook relevant kunnen zijn voor de Waddenzee. Meer recent, vanaf 2019, zijn er experimenten gedaan in de Waddenzee. Toch is er nog veel onbekend over het verzamelen en bewaren van donormateriaal, zaaien, planten en waar de belangrijkste knelpunten liggen. Voor klein zeegras zitten we dus nog in de kennisontwikkelingsfase, terwijl voor groot zeegras al opgeschaald kan worden met de herstelwerkzaamheden.

Afbeelding: Status van zeegrasherstel van klein zeegras, droogvallend groot zeegras en ondergedoken groot zeegras*



* De balken geven de status van ervaring en kennis van een soort/groei vorm aan. De letters in de balken geven de projecten aan waarin deze kennisontwikkeling heeft plaatsgevonden.

In dit State-of-the-art kennisdocument brengen we succes- en faalfactoren voor klein zeegrasherstel in kaart. Als op een locatie de *abiotische* factoren droogvalduur, golfwerking, stroomsnelheid, zoutgehalte en ammonium-flux gunstig zijn voor zeegras, kan deze worden aangemerkt als kansrijk voor zeegrasherstel.

Biotische faalfactoren voor zeegrasherstel zijn onder meer wadpieren die het wad omwoelen, zeeduizendpoten, krabben, macroalgen en epifyten een bedreiging. Onder de biotische succesfactoren vallen bijvoorbeeld wadslakjes, die juist grazen op epifyten. Voor een aantal van deze factoren geldt dat ze tot nog toe alleen zijn onderzocht voor groot zeegras, maar dat de verwachting is dat de effecten vergelijkbaar zijn voor klein zeegras.

De *methodiek* voor onderzoek naar klein zeegrasherstel is in ontwikkeling en daarom voorlopig grotendeels gebaseerd op die voor groot zeegras. Ze blijken niet altijd even goed te werken. Zo blijkt het verzamelen van zaad van klein zeegras arbeidsintensiever en minder oogst op te leveren. Ook de zogenaamde Bare-root-methode heeft zijn beperkingen. De core-methode waarbij hele planten getransplanteerd worden met behulp van een pvc-buis, is waarschijnlijk effectiever bij klein zeegrasherstel. De Dispenser Injection Seeding-methode, waarbij met een kitspuit een mengsel van sediment en zeegraszaad op de gewenste locatie in de bodem gespoten wordt, lijkt ook te werken. Voor deze twee laatstgenoemde methodes geldt dat verder onderzoek en verbetering nodig is om planten, zaaien en oogsten van klein zeegras te optimaliseren.

De komende jaren ligt de focus op kennisontwikkeling ten aanzien van de optimale abiotische en biotische condities voor klein zeegras en op het verbeteren van de methodiek. Zo kan er mogelijk na 2027 ook opschaling voor klein zeegras plaatsvinden.

1

INLEIDING

1.1 Achtergrond en aanleiding

Zeegrasvelden zijn van groot belang voor de gezondheid van kustecosystemen. Tot de jaren 1930 stonden er in de Waddenzee honderden hectaren litoraal klein en groot zeegras en duizenden hectaren sublitoraal groot zeegras. Over het aandeel klein zeegras ten opzichte van het totale zeegrasareaal is weinig bekend, omdat de verspreiding van klein zeegras in het verleden nauwelijks in kaart is gebracht. Door de bouw van de Afsluitdijk en een uitbraak van de 'wierziekte' (*Labyrinthula zosterae*) nam vooral het sublitorale zeegras sterk af en keerde het niet op een natuurlijke manier terug. Ook het litorale groot en klein zeegras leek af te nemen (Polderman & den Hartog, 1975). De Nederlandse trend is niet uniek. Inmiddels wordt wereldwijd de noodklok geluid om het voortbestaan van zeegrasvelden veilig te stellen (Short and Wyllie-Echeverria, 1996; Orth *et al.*, 2006; Waycott *et al.*, 2009). Naar schatting gaan zeegrasvelden op wereldwijde schaal achteruit met een schrikbarende snelheid van 7 % per jaar en meer dan 30 % is al verdwenen (Waycott *et al.*, 2009). Dit is te wijten aan menselijke activiteiten in overvolle kustgebieden. De belangrijkste voorbeelden hiervan zijn toegenomen hoeveelheden meststoffen in oppervlaktewater, baggerwerkzaamheden, erosie vanaf het land, aquacultuur, veranderingen in saliniteit en overbevissing (Orth *et al.*, 2006). Door deze ontwikkelingen behoren zeegrasvelden tot de meest bedreigde ecosystemen op aarde, samen met koraalriffen en tropische regenwouden.

De ecologische betekenis van zeegrasvelden is groot. Ze zijn van belang voor kustbescherming, waterzuivering, koolstofopslag, instandhouding van de biodiversiteit en als kraamkamer voor (commerciële) vissoorten. Tegenwoordig worden dit ecosysteemdiensten genoemd (Lamb *et al.*, 2017; Mtwana Nordlund *et al.*, 2016). Vanwege het belang van zeegras en zijn ecosysteemdiensten, worden er al decennialang herstelproeven in de Waddenzee uitgevoerd (met een allereerste proef in 1950 door Prof. Den Hartog). Bij deze eerste herstelproeven lag de focus vooral op het herstel van groot zeegras (*Zostera marina*), hoewel in 1993 ook al aanplantproeven van klein zeegras werden gedaan bij Balgzand (van Katwijk *et al.*, 2005) en later in de Oosterschelde. Ondanks de vele leerpunten die deze proeven hebben opgeleverd, leidden de eerste experimenten nog niet tot zichzelf instandhoudende populaties. In de eerste jaren (1990 – 2006) is, mede door een trial-and-error proces, veel kennis vergaard over de sleutelfactoren voor zeegrasherstel (van Katwijk *et al.*, 2009). De belangrijkste leerpunten van deze experimenten waren:

- 1 het is noodzakelijk om voorafgaand aan herstel zo goed mogelijk de menselijke oorzaken van habitatdegradatie te beperken;
- 2 het is belangrijk om zorgvuldig de meest geschikte locatie voor herstel te selecteren;
- 3 een geschikte en vergelijkbare donorlocatie is nodig om een herstellocatie te voorzien van planten/zaad;
- 4 het is nodig om een strategie te volgen met meerdere locaties om het risico te spreiden, omdat het nog steeds lastig is te anticiperen welke locaties aanslaan en welke niet (van Katwijk *et al.*, 2009).

In de periode vanaf 2006 zijn een aantal van die lessen vertaald in grotere projecten en vanaf 2007 werd voor het eerst in de Oosterschelde geëxperimenteerd met klein zeegras (*Zostera noltii*). Het bleek niet eenvoudig om zeegrasvelden duurzaam te herstellen. Duidelijk werd dat er nog onvoldoende kennis was over zowel klein als groot zeegras om te kunnen opschalen (Van Duren & Van Katwijk, 2005). In de periode 2015-2022 vonden drie opeenvolgende projecten gericht op kennisontwikkeling plaats, met name op het gebied van groot zeegras (Govers *et al.*, 2022, 2016).

Vanaf 2018 werd klein zeegras meegenomen in deze herstelprojecten in de Waddenzee. Onderzoek wijst namelijk uit dat een toename in bentische biodiversiteit niet afhankelijk is van de soort zeegras en de plantdichtheid. Herstel van klein zeegras dus ook zeer interessant (Gräfnings *et al.*, in prep).

Rijkswaterstaat (RWS) heeft in 2021 het initiatief genomen om klein en groot zeegrasvelden te herstellen. Het herstel is een doelstelling en een maatregel in het Natura 2000 (N2000) beheerplan en de Kaderrichtlijn Water (KRW). RWS heeft tegen deze achtergrond actie ondernomen om het proces van herstel op te gaan schalen, zodat er mogelijk een groter oppervlak aan zeegrasvelden komt. Dit moet de ecologische kwaliteit van de gebieden in de toekomst verbeteren. RWS heeft als doel om zeegras zodanig terug te brengen dat het areaal zichzelf in stand kan houden. Hiervoor zullen in de komende jaren intensieve herplantingen worden uitgevoerd voor zowel klein als groot zeegras. Daarnaast is het ook mogelijk dat, al dan niet als bijeffect van dit project, er meer autonoom herstel zal gaan plaatsvinden vanuit het huidige groot en klein zeegrasveld bij Griend. Ter voorbereiding hiervan worden voor groot en klein zeegras kennisdocumenten opgesteld waarin een gedegen en State-of-the-art beschrijving wordt gegeven van de faal- en succesfactoren bij zeegrasherstel.

1.2 Beleidsmatige status

In het N2000-beheerplan Waddenzee staat dat herstel van zeegras essentieel is voor de biodiversiteit in de Waddenzee. Er zijn in dat beheerplan echter geen kwantitatieve doelen gesteld. Maatregelen ten aanzien van zeegrasherstel lopen via de verbeterdoelstelling van de kwaliteit van het habitatype slik- en zandplaten (H1140A). Voor verbetering van de kwaliteit van dit habitatype wordt in het beheerplan gesteld dat het herstel van droogvallende mosselbanken en zeegrasvelden noodzakelijk is.

In KRW verband is de doelstelling wel kwantitatief uitgewerkt. Zeegras valt hier onder het kwaliteitselement Macrofyten/Angiospermen voor zoute wateren. Voor de deelmaatlat zeegras zijn doelen gesteld op basis van oppervlak van velden (kwantiteit), gemiddelde bedekking (kwaliteit) en soortensamenstelling. De biologische doelen van de KRW zijn uitgedrukt in een getal genaamd de Ecologische Kwaliteitsratio (EKR). Dit getal geeft aan in hoeverre de huidige ecologische toestand overeenkomt met de natuurlijke referentietoestand (0 - geen overeenkomst, 1 - volledige overeenkomst). De Waddenzee is binnen de KRW richtlijnen opgedeeld in twee gebieden; Waddenzee (natuurlijke waterlichaam) en Waddenzee vaste land kust (sterk veranderd waterlichaam). Voor de hoeveelheid (kwantiteit) zeegras in de Waddenzee is het doel voor een Goede Ecologische Toestand (GET) gesteld op een kwaliteitsratio van 0,6. Dit komt overeen met 3,8 % van het oppervlak van de Waddenzee (STOWA, 2018), ofwel een oppervlakte van 8187 ha zeegras (met een bedekkingsgraad van minstens 5 %). Voor de hoeveelheid zeegras in het Waddenzee vaste land kust is het KRW doel gebaseerd op een Goed Ecologisch Potentieel (GEP) van 0,28. Dit komt neer op 1,7 % van het Waddenzee kustgebied (STOWA, 2018), ofwel 479 ha (met een bedekkingsgraad van minstens 5 %). Naast kwantiteit wordt ook naar de kwaliteit van een zeegrasveld gekeken. Het doel voor kwaliteit is voor groot zeegras dat 21 % van het veldoppervlak een bedekking heeft van minimaal 60 %. Voor klein zeegras is het doel dat 41 % van het veldoppervlak een bedekking heeft van minimaal 60 %. Als laatste wordt gekeken naar de soortensamenstelling. In een goede situatie varieert de bedekking van beide soorten zeegras tussen de 1 % en 90 % van het oppervlak. Alleen wanneer beide zeegrassoorten aanwezig zijn kan de maximale EKR waarde van 1 worden gehaald.

Het oppervlak en de bedekking van zeegrasvelden is momenteel beneden het gewenste (goede) ecologisch toestandsniveau. In het meest recente Stroomgebiedbeheerplan (2022-2027) zijn daarom (vervolg)maatregelen opgenomen, waaronder het opschalen van het uitzaaien van zeegras, om te onderzoeken of en hoe dit niveau haalbaar is. Middels het project Zeegrasherstel Zee & Delta en Noord-Nederland (2022 – 2027) wil RWS inzicht krijgen in hoeverre actief zeegrasherstel kan bijdragen aan de KRW-beleidsopgave. In 2027 vindt er een ijkmoment plaats waarin de vorderingen gekwantificeerd worden en waarin gekeken wordt hoe de beleidsopgave ná 2027 moet worden ingevuld.

1.3 Doel kennisrapportage klein zeegras Noord-Nederland

Het voorliggende deelproject heeft tot doel om een kennisrapportage op te stellen over de succes- en faalfactoren van zeegrasherstelprojecten gericht op klein zeegras. Dit project is een onderdeel van het project Zeegrasherstel Zee & Delta en Noord-Nederland (2022 – 2027). Binnen dit overkoepelende project vinden herstelwerkzaamheden en kennisontwikkeling plaats. De rapportage Kennisontwikkeling klein zeegras Noord-Nederland (NN) gaat in op de opgedane kennis uit eerdere zeegrasprojecten omtrent het herstel van klein zeegras in de Waddenzee. Deze kennis zal jaarlijks worden aangevuld met monitoringresultaten vanuit het project. De rapportage kennisontwikkeling zal jaarlijks als input dienen voor een gedetailleerd 'Plan van Aanpak' voor zeegrasherstelwerkzaamheden voor het daaropvolgende seizoen/jaar. Hiermee borgen we dat de werkzaamheden evidence-based uitgevoerd worden.

1.4 Aanpak

In het eerste jaar van dit project wordt een State-of-the-art kennisdocument opgesteld. Hierin wordt een duidelijk overzicht gegeven van de huidige beschikbare kennis t.a.v. klein zeegras in de Waddenzee. Dit document dient als startpunt voor de komende jaren. Vervolgens komen er jaarlijks monitoringsrapporten met data uit het voorgaande veldseizoen/jaar. Aan het eind van het project worden alle beschikbare data samengevoegd en volgt een integraal eindrapport met alle opgedane kennis uit voorgaande jaren.

Voor deze eerste rapportage Kennisontwikkeling klein zeegras Noord-Nederland wordt de volgende input gebruikt:

- data van voorgaande zeegrasherstelprojecten, met expliciet ook de data van 2022 ten behoeve van plannen voor 2023;
- monitoringsdata van voorgaande seizoenen;
- wetenschappelijke literatuur over zeegrasherstel die relevant is voor Nederland, t.a.v. methodiek, voorkomen, haalbaarheid en abiotische en biotische randvoorwaarden;
- grijze literatuur, zoals de Kanskaart zeegras, Ecotopenkaart en diverse Nederlandstalige rapporten;
- (Systeem)analyses die uitgevoerd worden binnen het project t.a.v. stuurfactoren, zelfredzaamheid, kansrijke locaties, methodiek en slagingskans (vanaf 2023);
- jaarlijkse rapportage kennisontwikkeling Klein zeegras met lopende onderzoeks- monitoringsdata (vanaf 2023).

Gedurende de looptijd van dit project worden de volgende kennisdocumenten opgesteld voor klein zeegras Noord Nederland:

1. bij aanvang van het project: Basisdocument rapportage State-of-the-art kennisdocument (2022 / begin 2023);
2. jaarlijks: Jaarlijkse rapportage Kennisontwikkeling klein zeegras NN met lopende onderzoeken en monitoringsdata (2024-2026);
3. eind: Eindrapport inclusief integratie van alle data verkregen binnen project (2027).

1.5 Afbakening

Deze kennisrapportage is gericht op de ontwikkeling van litoraal klein zeegras (*Zostera noltii*) binnen de Waddenzee (incl. Eems-Dollard). Hierin wordt de beschikbare kennis opgenomen die relevant is voor klein zeegrasherstel in de Waddenzee. Voor de ontwikkeling van groot zeegras in de Waddenzee is een op zichzelf staand kennisdocument opgesteld.

1.6 Leeswijzer

Dit rapport is als volgt opgebouwd: in hoofdstuk 2 wordt kort de ecologie van klein zeegras beschreven, gevolgd door het historische en huidige voorkomen. Hoofdstuk 2 sluiten we af met de oorzaken van de afname in zeegras en waarom er geen tot weinig natuurlijk herstel optreedt. In hoofdstuk 3 gaan we in detail in op klein zeegrasherstel in de Waddenzee. Hierbij worden de abiotische, biotische en methodische succes- en faalfactoren benoemd. In hoofdstuk 4 gaan we in op de vervolgvragen die er liggen ten aanzien van klein zeegrasherstel.

2

KLEIN ZEEGRAS: ECOLOGIE EN VOORKOMEN

2.1 Ecologie

Klein zeegras (*Zostera noltii*) is een zeegrassoort die op droogvallende wadplaten en in kweldergebieden voorkomt (litoraal). Groeilocaties liggen op beschutte zandige en/of slikkige bodems, grofweg tussen de - 0.1m en +0.3m NAP (van Katwijk *et al.*, 2005). Klein zeegras vormt dichtbegroeide velden bestaande uit bladeren die direct uit de wortelstokken groeien en maximaal 25 cm worden. Het is een meerjarige vaatplant die in de winter kan overleven op het suiker en zetmeel dat in de zomer wordt opgeslagen in de wortelstokken (Govers *et al.*, 2015). Het meeste blad wordt in de winterperiode afgestoten. Klein zeegrasvelden kunnen zich zowel klonaal als via zaden voortplanten (Zipperle *et al.*, 2009). Bij zeegrasvelden in Portugal is waargenomen dat de voortplantingsstrategie kan afhangen van de staat van het zeegrasveld (Cabaço, Santos & Sprung, 2012). Koloniserende zeegrasplanten zetten daarbij voornamelijk in op seksuele voortplanting via zaden, terwijl stabiele zeegrasvelden zich klonaal uitbreiden door middel van een horizontaal groeiende wortelstokken (rhizomen). Klonale uitbreiding in de Waddenzee vindt voornamelijk plaats in de periode april-eind juli en is daarbij afhankelijk van voldoende licht en fotosynthese (Philippart, 1995; Vermaat & Verhagen, 1996). In de periode juli-augustus worden mannelijke en vrouwelijke bloemen gevormd waarna in augustus-september de zaden via stroming worden verspreid. In april komen de eerste zaden uit en worden er bladeren gevormd bij de overwinterde wortelstokken. Deze voortplantingsstrategie waarbij zowel klonale als seksuele voortplanting plaatsvindt, is vergelijkbaar met de voortplantingsstrategie van meerjarig ondergedoken (sublitoraal) zeegras.

Afbeelding 2.1 De levenscyclus van meerjarig klein zeegras

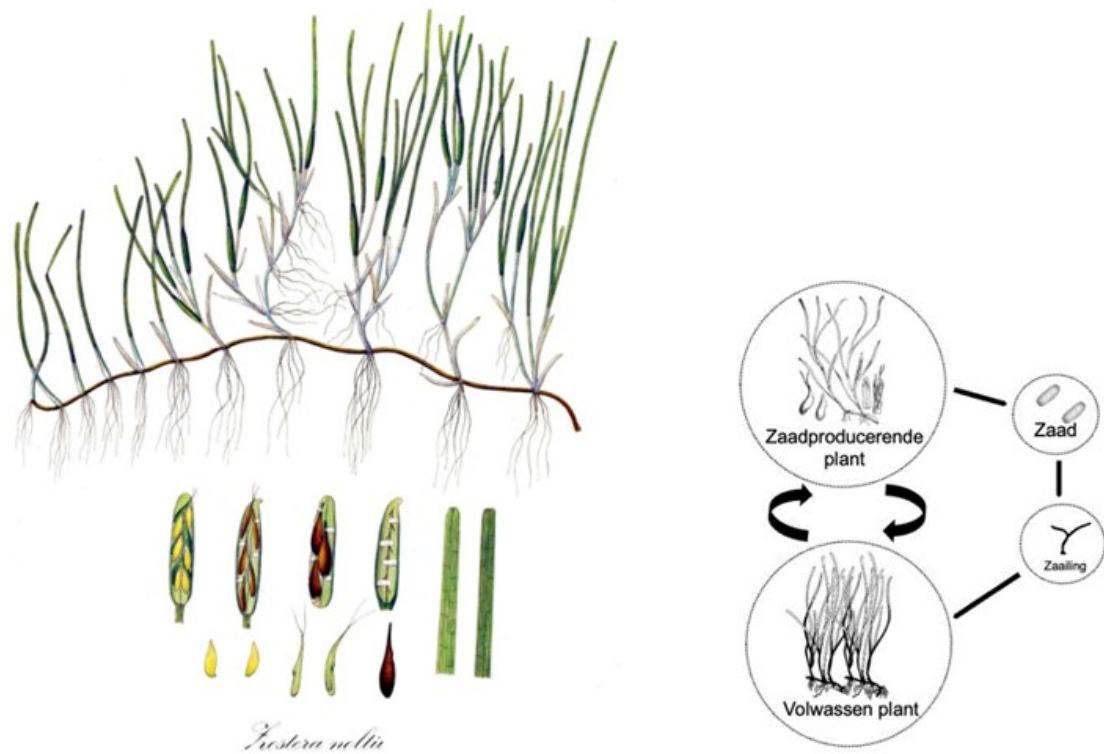


Image and copyright: O. Tackenberg.

Meerjarige klein zeegrasvelden bestaan vooral uit volwassen planten die soms bloeien (niet jaarlijks). Populatie-aanwas vanuit zaad vindt onregelmatig plaats en deze velden bereiden zich vooral uit door middel van wortelstokken

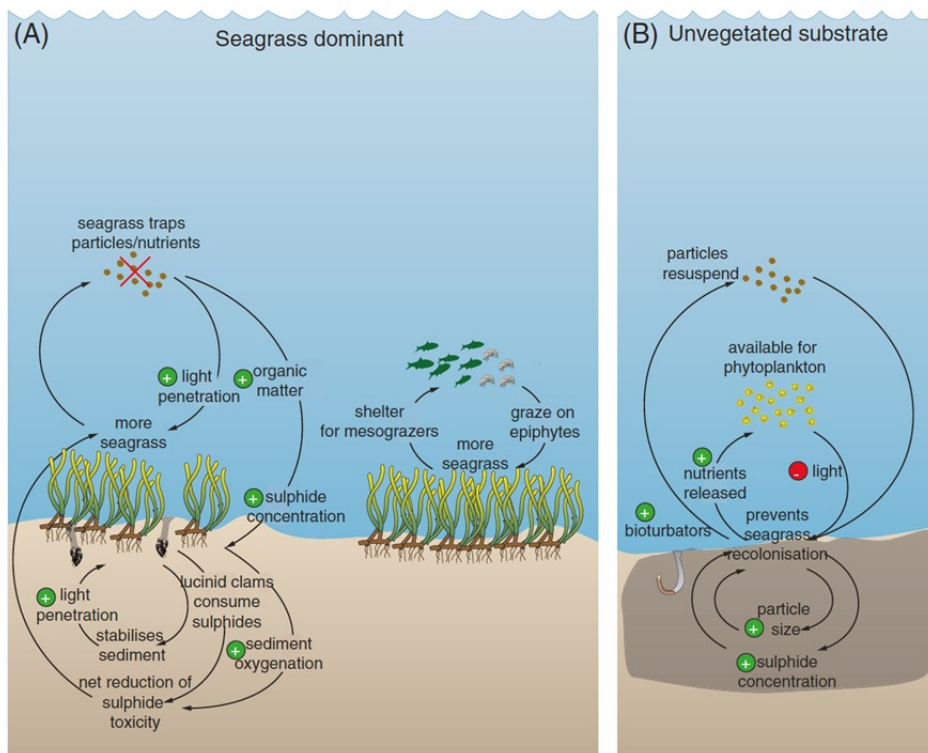
Klein zeegras kan gemengd met litoraal groot zeegras voorkomen. De voornaamste verschillen tussen groot zeegras en klein zeegras zijn de voortplantingsstrategie (meerjarig vs. eenjarig) en het bladformaat. Daarnaast heeft klein zeegras een lagere groeisnelheid. Klein zeegras is minder gevoelig voor uitdroging dan groot zeegras en bevindt zich dus vaak op hogere locaties – al dan niet zelf gefaciliteerd door zandinvanging. In het veld kan klein zeegras makkelijk worden verward met snavelruppia (*Ruppia maritima*). Deze soort is zowel ondergedoken als droogvallend waargenomen in de Waddenzee. Snavelruppia wordt voornamelijk aangetroffen op locaties met sterk fluctuerende zoutgehaltes (van Katwijk, 2005).

Zowel klein als groot zeegras modifieren hun fysische en biotische omgeving – en worden daarom ook wel biobouwers genoemd (Jones *et al.*, 1994). Zeegras draagt bij aan een verandering van het microklimaat, waar andere soorten van kunnen profiteren. De bladeren van zeegrassen beïnvloeden de stroming en golfslag. De stroomsnelheid neemt lokaal af wanneer het tegen de zeegrasbladeren 'aanbotst'. Hierdoor kunnen fijne slibdeeltjes die in het water zijn opgelost bezinken, waardoor de troebelheid van het water vermindert. Op deze manier verbetert zeegras haar eigen lichtklimaat (Maxwell *et al.*, 2017). Deze biobouwende eigenschappen zijn echter wel aan voorwaarden gebonden. Zo kunnen zeegrassen alleen het water helder maken als de bladeren in voldoende hoge dichtheden aanwezig zijn. In te lage dichtheden zal deze functie snel minder worden, waardoor het zeegras minder licht krijgt. En minder licht heeft een negatief effect op de dichtheid. Dit kan leiden tot een neerwaartse spiraal (Van der Heide *et al.*, 2007). Er treden dus positieve en negatieve terugkoppelingsmechanismen – feedbacks – op in zeegrasvelden.

Deze feedbacks maken zeegrasvelden bij gunstige condities heel robuust: bij voldoende hoge dichtheden kunnen ze zichzelf in stand houden. Maar dit betekent ook dat ze bij lage dichtheden makkelijk over het randje kunnen worden geduwd, omdat ze dan in een neerwaartse spiraal terecht komen. Dit kan leiden tot het vrij plotseling verdwijnen van zeegrasvelden (Van der Heide *et al.*, 2007; Van der Heide *et al.*, 2011; Maxwell *et al.*, 2017).

Zeegrasvelden zijn van groot belang voor de gezondheid van kustecosystemen. Zeegrasvelden behoren zelfs tot de meest productieve en waardevolle ecosystemen ter wereld (Costanza *et al.*, 1997). Deze waardering komt voort uit de talrijke ecosystemediensten die zeegrasvelden leveren (Barbier *et al.*, 2011). Zeegrasvelden dragen bijvoorbeeld bij aan kustbescherming door het dempen van golven en het bijhouden van de zeebodem met hun uitgebreide wortelstokkennetwerk (James *et al.*, 2019; Mtwana Nordlund *et al.*, 2016). Ze slaan koolstof op, en zijn daarmee 35 x zo efficiënt als tropische regenwouden (Mcleod *et al.*, 2011). Dit draagt bij aan de buffering tegen klimaatverandering. Zeegrassen vormen ook een kraamkamer voor tal van commerciële vissoorten (Duffy, 2006; Nagelkerken *et al.*, 2002). Daarnaast zijn zeegrasvelden biodiversiteitshotspots (van der Zee *et al.*, 2016).

Afbeelding 2.2 Illustraties van terugkoppelingsmechanismen (feedbacks) in substraat met (A) en zonder (B) zeegras*



* (A) voorbeelden van terugkoppelingsmechanismen zijn het invangen van slib en organisch materiaal door dichte zeegrasbladeren (links) en het beschikbaar stellen van habitat voor grazende vissen die op hun beurt de epifyten van de bladeren verwijderen (rechts). (B) Zonder zeegras wordt ingevangen sediment/slib weer omgewoeld door stroming en golven waardoor de lokale lichtcondities minder worden. Figuur uit Maxwell *et al.*, 2017.

2.2 Historisch voorkomen

Door de economische waarde van groot zeegras is de historische verspreiding en de populatiedynamica van sublitoraal groot zeegras veel beter gedocumenteerd dan die van litoraal klein en groot zeegras. Van klein zeegras zijn geen gegevens op kaart gezet, voor zover bekend.

Klein en litoraal groot zeegras was met slechts maximaal circa 500 ha in de Nederlandse Waddenzee aanwezig (Wanink & van der Graaf, 2008). Ondanks de geringere hoeveelheid beschikbare gegevens, lijkt er tussen 1950 en 1973 sprake te zijn van een afname van beide soorten (Polderman & den Hartog, 1975). Voor beide soorten samen worden de volgende oppervlaktes geschat (de Jonge *et al.*, 1993):

1950-1960: 400-450 ha

1972-1973: 160 ha

1988: 260 ha

De toename die vervolgens te zien is tussen 1973 en 1988 komt grotendeels door de, in de kwelderwerken langs de Groninger kust ontstane, velden van klein zeegras (Philippart & Dijkema 1995). In deze kwelderwerken bleken de velden van klein zeegras (260 ha) die in 1988 werden waargenomen te zijn gereduceerd tot slechts 6 ha in 1991. Daarna nam het areaal van deze velden weer onregelmatig toe tot 80 ha in 2003 (Erttemeijer, 2005). De lange termijnontwikkeling van zeegras in de periode 1988-2003 in de gehele Nederlandse Waddenzee toont een gestage toename in de ruimtelijke verspreiding van zeegrassen (zowel klein als litoraal groot zeegras). Het totale areaal van klein en litoraal groot zeegras is toegenomen tot ruim 360 ha in 2003. Het betreft hier in 2003 totaal ca. 100 ha klein zeegras (waarvan dus het grootste deel langs de Groninger kust) en ca. 260 ha groot zeegras.

2.3 Huidig voorkomen

Het bruto areaal (d.w.z. het areaal met bedekkingspercentage >0 %) van klein zeegras in de Waddenzee is het laatste decennium flink toegenomen. In 2020 was het areaal klein zeegras 386 ha (Schutter *et al.* 2020). Dit komt grotendeels door de toename in areaal bij Noord-Groningen (met name Groninger kust - Uithuizen) en voor een klein deel door de toevoeging van Griend als deelgebied. Het netto areaal (het areaal gecorrigeerd met een omrekenfactor voor het gemiddelde bedekkingspercentage, zie Schutter *et al.* 2020) van klein zeegras is echter na 2011 flink afgenomen. Dit is voornamelijk te verklaren door een afname in het voorkomen van hogere bedekkingsklassen van klein zeegras (>5 %) bij de Groninger kust - Uithuizen.

De huidige vindplaatsen van klein zeegras in de Waddenzee zijn Balgzand, Den Oever, Griend, Terschelling, Eilander Balg, Rottumerplaat, de kust van Groningen, Noordpolderzijl/gasstation en Voolhok.

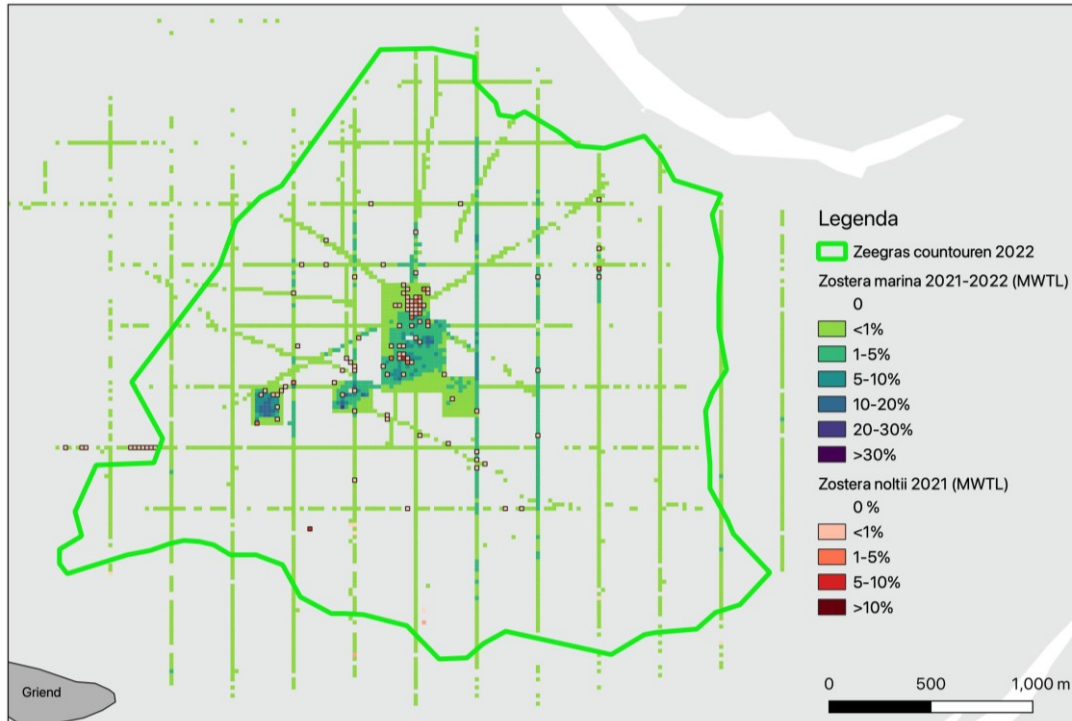
Afbeelding 2.4 Voorkomen van zeegras in de Nederlandse Waddenzee op basis van de MTWL-kartering 2020 (Schutter *et al.*, 2020) en Griend (Govers *et al.* unpublished)*



* In blauw staat klein zeegras weergegeven, in groen groot zeegras. De kleur geeft de populatiebedekking in percentage aan.

Ten noordoosten van Griend zijn in 2014 voor het eerst een paar kleine patches klein zee gras ontdekt en in 2017 is er litoraal *Ruppia maritima* (snavelruppia) aangetroffen tussen deze patches. Op deze locatie wordt ook geëxperimenteerd met het herstel van klein zee gras. Hierbij wordt voornamelijk gekeken of de aanwezigheid van klein en groot zee gras elkaar kunnen versterken.

Afbeelding 2.5 Voorkomen van zee gras in de Grienderwaard ten noordoosten van het eiland Griend*



* De dikke groene lijn geeft de contouren van het huidige (2022) groot zee grasveld aan van ~650 ha. Dit veld is in 2021 en 2022 met de MTWL-oppervlakteschatting methode gekarteerd waarbij zowel groot (groen-blauwtinten) als klein zee gras (roodtinten) in kaart zijn gebracht. De vlakken waarin vlakdekkend is gekarteerd zijn de zaaiproefvlakken 2018-2021.

2.4 Oorzaken afname en gebrek aan natuurlijk herstel

De afname van klein zee gras in de Waddenzee ging in vergelijking met groot zee gras veel langzamer en over een langere tijdsperiode. Waar groot zee gras in de Waddenzee grotendeels verdween door de wierziekte (ziekteverwekker *Labyrinthula zosterae*) (Den Hartog, 1987; Short, 1987), was dit bij klein zee gras niet of minder het geval (Vergeer & Den Hartog, 1991). Onderzoek toonde later aan dat klein zee gras wel degelijk besmet kan raken met de wierziekte en dat de besmettingskans tussen groot en klein zee gras ongeveer even groot is. In wilde populaties leek klein zee gras echter veel minder vaak te zijn aangetast door de wierziekte dan groot zee gras (Vergeer & Den Hartog, 1991). De geleidelijke afname van klein zee gras had te maken met een combinatie van factoren, zoals de toegenomen stroomsnelheden in de Waddenzee, slechte waterkwaliteit door vermessing, competitie met Engels Slijkgras en bioturbatie door wadpieren (De Jong *et al.*, 2004; Reneerkens *et al.*, 2005; Loebel *et al.*, 2006; De Blauwe, 2011). Mogelijk heeft ook het afsluiten van zoet-zoutwaterovergangen, locaties waar klein zee gras vaak voorkwam, een rol gespeeld in de afname van klein zee gras (De Jong *et al.*, 2004). Deze veranderingen in de Waddenzee verklaren ook het gebrek aan herstel. De veranderingen in de bovengenoemde abiotische factoren zijn veelal ongewijzigd gebleven, waardoor niet aan de ecologische randvoorwaarden voor natuurlijk herstel werd voldaan. Op plaatsen waar er nog enigszins aan de randvoorwaarden wordt voldaan, groeit er heden ten dage nog steeds klein zee gras van nature.

Hydrodynamiek (d.w.z. geremde golfwerking) lijkt in sommige delen van de kwelderwerken geschikt voor de ontwikkeling van klein zee gras, mits de opslibbing van sediment niet te hoog wordt (van der Graaf & Wanink 2007). Philippart *et al* (2020) hebben dit nader onderzocht, maar vonden geen aanwijzingen dat het huidige damonderhoud in de kwelderwerken invloed heeft op de lokale ontwikkelingen van het zee gras.

3

KLEIN ZEEGRASHERSTEL WADDENZEE

3.1 Herstelprojecten in de tijd

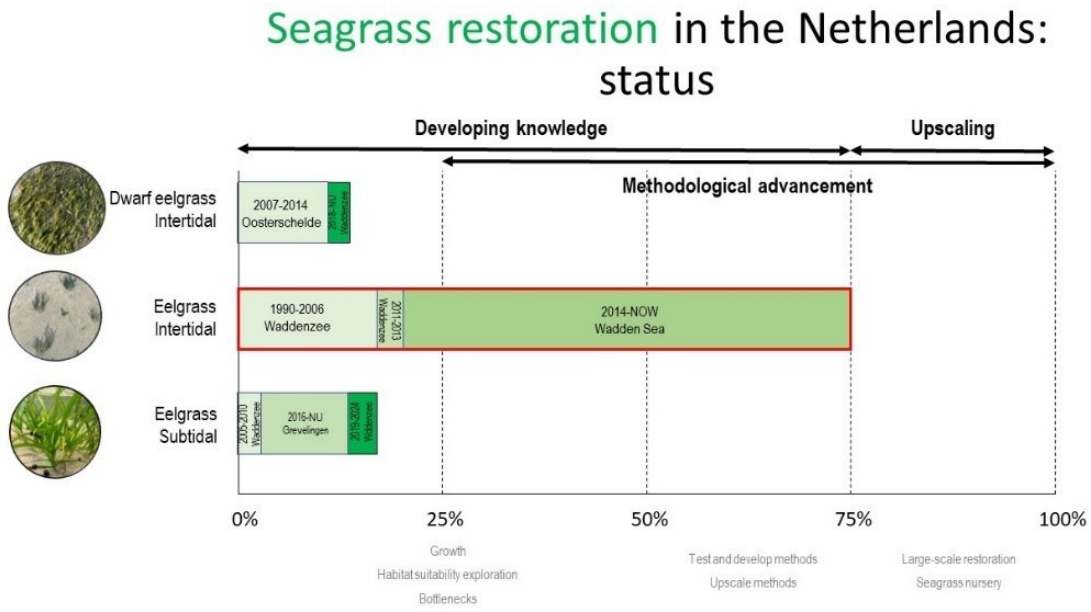
Vanaf 1992 werden kleinschalige transplantaties van planten uitgevoerd met voornamelijk groot zeegras, maar ook met klein zeegras in 1992 en 1993 (Hermus, 1995; van Katwijk & Hermus, 2000; van Katwijk, 2003; Bos *et al.*, 2004, 2005a,b). De zeegrassen werden getransplanteerd op het wad bij Terschelling en op het Balgzand, in het uiterste westen van de Waddenzee (van Katwijk *et al.*, 2005). De zeegrasherstelwerkzaamheden die in de periode daarna in het intergetijdengebied van de Waddenzee zijn uitgevoerd, waren voornamelijk gericht op groot zeegras (zie ook de Kennisrapportage Groot zeegras). In een aantal onderzoeken werd klein zeegras wel meegenomen, maar waren de experimenten klein van opzet (mede ook door een beperkte hoeveelheid donormateriaal) (tabel 3.1).

Onderzoek naar klein zeegrasherstel in de Oosterschelde tussen 2007 en 2014 heeft inzichten opgeleverd die ook relevant kunnen zijn voor klein zeegrasherstel in de Waddenzee (tabel 3.1). De focus van het onderzoek in de Oosterschelde lag voornamelijk op kennisontwikkeling, om te kunnen bepalen onder welke condities zeegrasherstel mogelijk is. Zeegrasherstel is getest op basis van zaaien, maar dit bleek onvoldoende succesvol in de Oosterschelde. De experimenten met levende scheuten op kansrijke locaties zijn daarentegen goed aangeslagen en deze methode zal daarom ook verder onderzocht worden.

Vanaf 2019 werd jaarlijks een klein oppervlak in de Waddenzee (minder dan 100 vierkante meter) met klein zeegras ingezaaid (Gräfnings, 2022). Deze experimenten met klein zeegras vonden plaats naast het veel grootschaliger inzaaien van droogvallend groot zeegras. Het doel van deze experimenten was om de potentie van klein zeegrasherstel te bepalen op basis van zaad. De belangrijkste bevindingen waren dat het verkrijgen van klein zeegraszaad veel meer werk vergt en dat de zaadkwaliteit minder dan dat van groot zeegras. Daarnaast zorgt de sterkere afhankelijkheid van klonale uitbreiding ervoor dat kleine zeegrasvelden in vergelijking tot groot zeegras veel langzamer terugkomen. Gevestigd klein zeegras kan wel veel beter overleven dan groot zeegras.

Hoewel er al een aantal herstelprojecten met klein zeegras zijn uitgevoerd (tabel 3.1), is nog veel onbekend ten aanzien van het verzamelen en bewaren van donormateriaal, het zaaien en/of planten en waar voor klein zeegras de belangrijkste knelpunten liggen. Naar verwachting zullen factoren die belangrijk zijn voor groot zeegrasherstel, zoals de aanwezigheid van wadpieren en zeeduizendpoten, ook van invloed zijn voor klein zeegras. Dit zal nader onderzocht moeten worden. Voor klein zeegras zitten we nu dus nog in de fase van kennisontwikkeling, terwijl bij groot zeegras al de slag gemaakt kan worden naar opschaling (afbeelding 3.1).

Afbeelding 3.1 Status van zeegrasherstel van klein zeegras, droogvallend groot zeegras en ondergedoken groot zeegras*



* De balken geven de status van ervaring en kennis van een soort/groei vorm aan. De letters in de balken geven de projecten aan waarin deze kennisontwikkeling heeft plaatsgevonden.

Tabel 3.1 Overzicht van zeegrasherstelprojecten waarin klein zeegras is meegenomen in Nederland sinds 1990

Tijdlijn	Soort	Locatie	Project-Referentie
1991-2004	<u>Zostera marina</u> litoraal (plant)	Waddenzee	Radboud Universiteit/RWS/Ministerie LNV Dr. M. Van Katwijk <i>et al.</i> , 1999, 2000, 2004, 2009
2007-2014	<u>Zostera noltii</u> litoraal (plant) Zeegras verplaatst: 2.782 m ²	Oosterschelde 5 mitigatielocaties: Krabbenkreek Noord, Roelshoek, Dortsman, Krabbenkreek Zuid en Viane Oost	Zeegrasmittigatie Oosterschelde Projectbureau Zeeweringen/Radboud Universiteit/NIOZ/Provincie Zeeland/RWS Doel: zeegrasmittigatie – succesvol verplaatsen van klein zeegras in de knel door dijkwerkzaamheden Resultaat: Grote uitzaaiing op locatie Roelshoek (2.600 m ² in 2013), geen handhaving op andere locaties. Leerpunten: <ul style="list-style-type: none"> - Wadpieren zijn negatief en zijn uit te sluiten d.m.v. aanbrengen schelpenlaag. Wadpiedichtheden >25 m⁻² worden gezien als schadelijk voor klein zeegras - Grotere plots (9x 2.25 m²) doen het aanvankelijk beter dan kleinere plots (5x 2.25 m²) - Macroalgen werken negatief (verstikkend) op klein zeegras - Zetmeel in de wortelstokken is een indicator voor transplantatiesucces - Een laagje water op klein zeegras werkt positief voor het transplantatiesucces - Locaties met te veel sedimentmobiliteit (>3 cm per jaar) zijn negatief voor klein zeegras, evenals extreme dynamiek - Aanplant is het meest succesvol in mei/begin juni - Min. 10 % bedekking van donor patches/cores - Aanplant van losse planten was niet succesvol (zodes wel)
2018-2022	<u>Zostera marina</u> litoraal (zaad) 15.366 m ² <u>Zostera noltii</u> litoraal (zaad) ~ 15 m ²	Waddenzee Griend Uithuizen Schiermonnikoog Balgzand Vlieland	Giesen <i>et al.</i> , 2014, Suykerbuyk <i>et al.</i> , 2012, 2015, 2016 Sleutelen aan Zeegrasherstel Herstelproeven Natuurmonumenten/tFC/RUG Gefinancierd door het Waddenfonds Doel: Advies (on)mogelijkheden droogvallend groot zeegrasherstel. (Eerste stappen zaadwekerij) Resultaat: <ul style="list-style-type: none"> - Geoptimaliseerde, schaalbare methode - Best Practice ontwerp (schaal & dichtheid) - Vergelijking NL – Duitsland: eutrofiëring en biotiek (wadslakjes, schelpdieren, zeeduizendpoten) waarschijnlijk nog limiterend voor zeegras voorkomen zuidelijke Waddenzee - Eerste positieve resultaten DIS methode klein zeegras - Nog geen andere geschikte locaties gevonden (naast Griend) Vestiging 650 ha groot zeegrasveld bij Griend als gevolg van zaaierwerkzaamheden - Zeegrasherstel leidt tot snel biodiversiteitsherstel Leerpunten:

Tijdlijn	Soort	Locatie	Project-Referentie
			<ul style="list-style-type: none"> - Schaal en dichtheid belangrijker: hoe groter hoe meer groei en lange termijn succes. Hoe minder dicht hoe efficiënter zaadgebruik - Zeeduizendpoten eten kiemend zeegraszaad en zijn een bottleneck voor vestiging - De kanskaart is niet een op een vertaalbaar naar geschikte locaties in het veld. - Continuïteit noodzakelijk voor herstelsucces - Donorzaad op den duur limiterend voor grootschalig herstel
2022	Zostera marina litoraal (zaad) 3200 m ² <u>Zostera noltii litoraal (zaad)</u> ~1300 m ²	Waddenzee Griend	<p>Gräfnings, 2022; Gräfnings <i>et al.</i>, in prep. Tussenjaar zeegrasherstel Waddenzee RWS/tFC/RUG Doel: Onderzoeken of groot zeegras klein zeegrasherstel kan faciliteren. DIS methode testen voor klein zeegras Resultaat: nog onbekend, DIS methode is geschikt voor klein zeegras Leerpunten: langjarige monitoring nodig voor klein zeegras vanwege langzame groei. Data wordt uitgewerkt in januari/februari 2023</p>
2022-2027	Zostera marina litoraal (zaad) <u>Zostera noltii litoraal (plant/zaad)</u> Zostera marina sublitoraal (plant)	Waddenzee Grevelingen Veerse Meer	<p>Zeegrasherstel NN & ZD Herstelproeven & Opschaling. RUG/tFC/W+B/A&W/RWS. Gefinancierd door RWS Doel: Opschalen zeegrasherstel Grevelingen & Veerse Meer Opschalen groot zeegrasherstel op een andere locatie in de Waddenzee. Ontwikkelen klein zeegras herstel naar opschaalbare oplossingen</p>

3.2 Abiotische succes- en faalfactoren

Klein zee gras groeit in de Waddenzee voornamelijk in de litorale zone tussen de laagwater- en hoogwatergrens. Klein zee gras gedijt goed op beschutte locaties met weinig golfwerking. Dit betekent gemiddeld genomen op locaties met een strijklengte korter dan 20 km voor de heersende windrichting. Verder kan klein zee gras groeien bij grote stroomsnelheden tot 1,5 m/s, maar zal het beter groeien bij lagere stroomsnelheden. Bij stromingscondities boven de 1,5 m/s zal de bodem eroderen, waardoor de rhizomen en de zaadbank in de 20 cm toplaag verloren kunnen gaan (Holt *et al.*, 1997). Klein zee gras kan binnen vier maanden door een sedimentlaag van 2 cm groeien, maar sterfte treedt op bij grotere bedekking (Vermaat *et al.*, 1996; Cabaço & Santos, 2007). Zeegrasherstel kan tussen de vijf en tien jaar duren, maar in veel gevallen langer (Holt *et al.*, 1997). Daarom heeft het voortbestaan van klein zee gras baat bij een redelijk constant sedimentregime waarin weinig erosie of sedimentatie plaatsvindt. Wanneer niet aan deze conditie wordt voldaan, zal klein zee grasherstel traag zijn of helemaal niet plaatsvinden. Op slib en modderige zandbodems groeit klein zee gras het best. Desondanks kan de toename van het slibgehalte in de bodem kan voor een omslag zorgen, aangezien er dan minder uitwisseling van poriënwater plaats kan vinden. Hierdoor neemt de concentratie sulfide toe en daalt het zuurstofgehalte in de bodem (De Fouw *et al.*, 2022). Dit kan schadelijk zijn voor klein zee gras. De conclusie van een herplantingsproject van klein zee gras in Noord-Spanje was dan ook dat litoraal zee gras een hogere overlevingskans had op modderige bodems (Valle *et al.*, 2015).

De kleine bladeren van klein zee gras creëren wrijving voor de stroming, waardoor de stroomsnelheid afneemt en golven worden gedempt. Dit stimuleert de neerslag van sediment (veelal slib en organisch materiaal) op de bodem. Bij groot zee gras kan sedimentatie in kleine velden leiden tot uitdroging en sterfte en in grote velden juist leiden groei en tot helderder water. Mogelijk zijn deze feedback-mechanismen minder aan de orde bij klein zee gras omdat klein zee gras beter bestand is tegen uitdroging.

Daarnaast is bekend dat klein zee gras voor zijn overleving veel minder afhankelijk is van de weersomstandigheden dan litoraal groot zee gras, waarvan bekend is dat onder ongunstige condities complete populaties kunnen verdwijnen (de Jong & de Jonge, 1989; de Jonge *et al.*, 1997). Dit komt doordat de populatie van éénjarig groot zee gras ieder jaar opnieuw moet worden opgebouwd uit kiemplanten, terwijl klein zee gras goed kan overwinteren dankzij de wortelstokken.

Estuarien klein zee gras kan grote verschillen in zoutgehalte aan, namelijk tussen de 10 en 40 ‰. Dit is vermoedelijk omdat klein zee gras in de litorale zone groeit. Over het algemeen kan klein zee gras (tijdelijk) meer troebelheid verdragen dan groot zee gras. Door de opslag van koolwaterstoffen kan klein zee gras een acute hevige troebelheid (tot minder dan 2 % van de lichtinval op het wateroppervlak) goed overleven. Als deze stress langer dan een paar weken duurt, zal het klein zee gras echter langzaam afsterven. Met name rondom de laagwatergrens kan dit spelen.

Tabel 3.1 Samenvatting van de optimale abiotische condities voor klein zee gras (*Zostera noltii*).

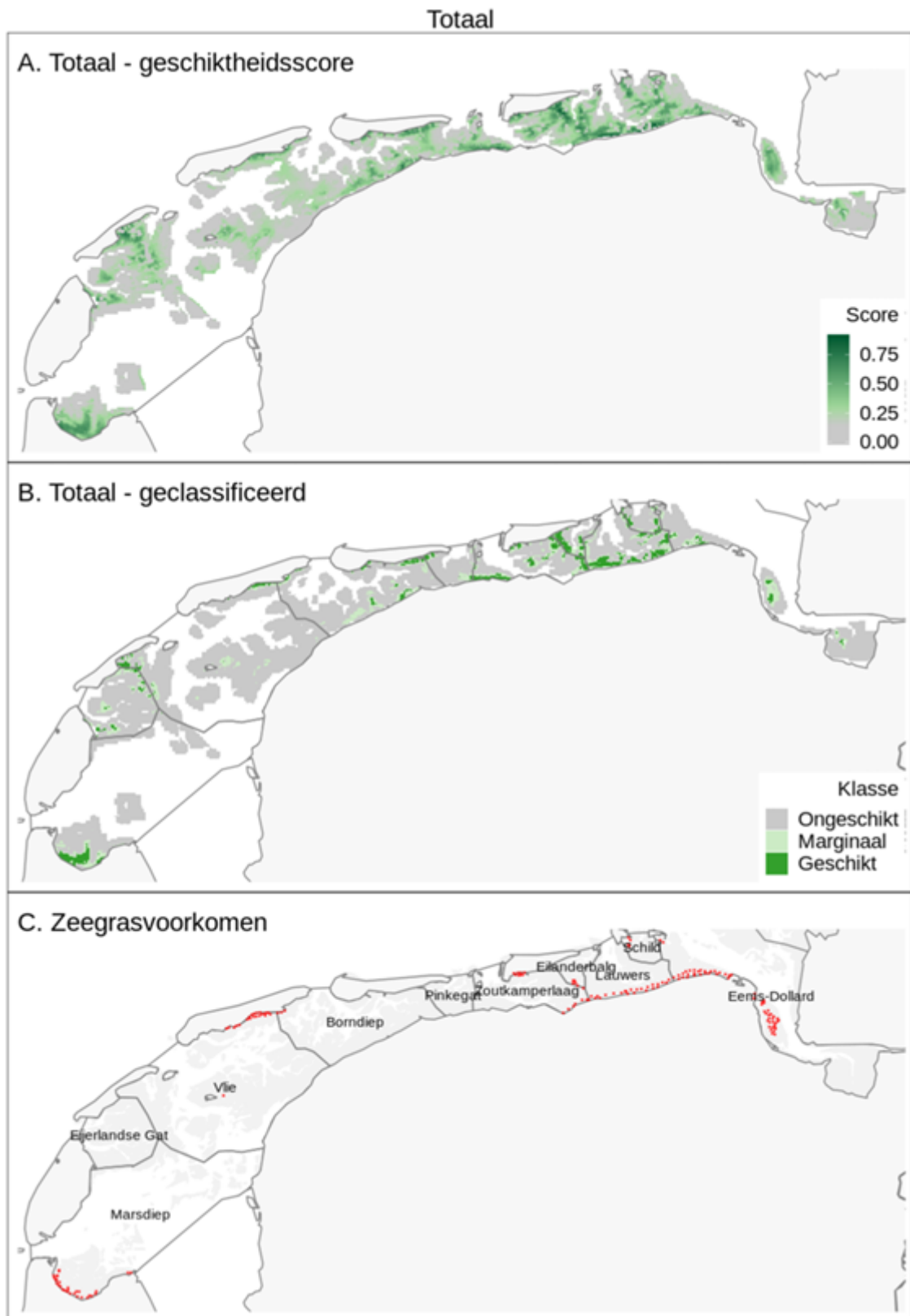
Abiotische condities	Klein zee gras	Referenties
Substraat	<ul style="list-style-type: none">- kleilig zand (50-80 % zand, 20-50 % slib)- zandige klei (50-80 % slib, 20-50 % zand)- klei (>80 % slib)	https://www.marlin.ac.uk/species/detail/1409
Stroomsnelheid	<1,5 m/s	Holt <i>et al.</i> (1997)
Strijklengte	< 3 – 20 km in heersende richting	https://www.marlin.ac.uk/species/detail/1409
Zoutgehalte	2 – 40 ‰	(Fernández-Torquemada & Sánchez-Lizaso 2011)
Lichtinval	>2 % SD (lichtinval op wateroppervlak)	Erfteemeijer (2006)
Diepte	intergetijdengebied	https://www.marlin.ac.uk/species/detail/1409

Abiotische condities	Klein zeegras	Referenties
Droogvalduur	50 –60 %	De Jong <i>et al.</i> (2005)
Temperatuur	5 – 30 °C	https://www.marlin.ac.uk/species/detail/1409

Bovenstaande condities beschrijven de abiotiek die klein zeegras nodig heeft om te kunnen goed te gedijen. Dit maakt het mogelijk om een habitatgeschiktheidskaart te ontwikkelen waarin de belangrijkste abiotische factoren zijn meegenomen (Folmer E, 2019) (afbeelding 3.3). In deze habitatgeschiktheidskaart is geen onderscheid gemaakt tussen groot en klein zeegras. Deze soorten komen voor een groot deel op dezelfde plaatsen voor en gedijen bij enigszins vergelijkbare abiotische condities, dus de resultaten van de regressieanalyses komen ook redelijk overeen (Folmer, 2019).

De abiotische factoren zijn: droogvalduur, golfwerking, stroomsnelheid, zoutgehalte en ammonium-flux uit de bodem. Locaties waar al deze factoren gunstig uitpakken voor zeegras worden gezien als kansrijk voor zeegrasherstel. Zo moet de golflaag niet te groot zijn en moet er voldoende licht tot de bodem doordringen. Op een aantal van zulke kansrijke locaties zijn inmiddels zeegrasherstelprojecten uitgevoerd. Hieruit is gebleken dat zeegrasherstel niet per se gunstiger verloopt op meer kansrijke locaties. Dit is gedeeltelijk te wijten aan dat biotische interacties met bijvoorbeeld zeeduizendpoten niet zijn meegenomen. Het voorkomen van wadpieren en algen is al wel meegenomen in de analyses. Andere tekortkomingen van de huidige habitatgeschiktheidskaart voor zeegras is de grove resolutie van de onderliggende lagen en het gebrek aan onderscheid tussen klein en groot zeegras. Op deze punten kan nog een verbeteringslag gemaakt worden.

Afbeelding 3.2 A. De geschiktheidsscore op basis van zeegrasvoorkomen, abiotiek, algen en wadpielen. B*



* De geschiktheidsklassen van het littorale habitat voor zeegras. C. Werkelijk zeegrasvoorkomen in de periode 1991-201 (figuur uit Folmer, 2019). Hierin is geen onderscheid gemaakt tussen klein en groot zeegras.

Er is relatief weinig bekend over de effecten van vervuiling op klein zeegras, door bijvoorbeeld zware metalen, pesticiden en PCBs. Volgens Den Hartog & Polderman (1975) was vervuiling een van de belangrijkste factoren in de achteruitgang van litoraal klein en groot zeegras in de Waddenzee (Den Hartog & Polderman 1975). Een review literatuurstudie over antropogene verstoringen op zeegras concludeerde echter dat klein zeegras niet heel gevoelig is voor vervuiling in vergelijking met andere zeegrassoorten zoals groot zeegras (Boudouresque *et al.* 2009). Dit werd geconcludeerd omdat klein zeegras vaak nog voorkwam op vervuilde locaties, nadat het gebied was blootgesteld aan antropogene ontwikkelingen. In het artikel werden de vervuilende stoffen niet gespecificeerd.

3.3 Biotische succes- en faalfactoren

Klein zeegras heeft een grote diversiteit aan ecologische functies in een ecosysteem (Van der Zee *et al.* 2016), zo kan het dienen als kraamkamer voor vissen (Polte & Asmus 2006a; Polte & Asmus 2006b; Bertelli & Unsworth, 2014), fungeren als schuilplaats voor diverse organismen voor predatoren en fysieke verstoring (Polte & Asmus 2006a; Boström, Jackson & Simenstad, 2006), kan het een regio geschikter maken voor de aanhechting van schelpdieren zoals mosselen (Fales *et al.*, 2020 ;Gagnon *et al.*, 2020) en kan het dienen als voedselbron (Nacken & Reise 2000; Zipperle *et al.* 2010; Gamble *et al.*, 2021). Met name met deze laatste factor dient rekening te worden gehouden bij de aanplant van zeegras, aangezien omgevingen met een hoge dichtheid aan soorten die zeegraszaad consumeren kan leiden tot een lager, of onsuccesvol aanplantsucces. Ook kunnen bepaalde bodemberoerende soorten een omgeving minder geschikt maken voor de aanplant van klein zeegras (Phillipart CJ, 1994; Compton *et al.* 2013; Folmer, E. 2019).

In het volgende deel worden de belangrijkste biotische factoren besproken die een negatief dan wel positief effect kunnen hebben op het succesvol aanplanten van klein zeegras. De biotische factoren beslaan een breed scala aan effecten. Zo kan zeegras negatieve effecten ondervinden van pathogenen en concurrerende plantensoorten en hebben wadslakjes juist een positief effect. Tabel 3.2 geeft een overzicht van de biotische factoren en bijbehorend effect. In paragraaf 3.3.1 en 3.3.2 worden de effecten en interacties in detail toegelicht.

Tabel 3.2 Overzicht van biotische factoren die zeegrasherstel beïnvloeden, de aard geeft aan wat het effect van de biotische factor op klein zeegras is

Soort	Interactie met zeegras	Aard	Referentie
Pathogenen			
Labyrinthula zosterae	Pathogeen voor ondergedoken klein zeegras (wierziekte), pathogeniteit afhankelijk van de variant	0	Vergeer & Den Hartog, 1991
Phytophthora spp.	Zaadpathogeen voor zeegraszaad	-	Man in 't Veld <i>et al.</i> , 2019
Plasmodiophora bicaudata	Parasitaire schimmel	-	Den Hartog, 1994
Fauna			
Hediste diversicolor (veelkleurige zeeduizendpoot)	Consumeert kiemende zaden. Kan in hoge dichtheden volledig zaailingvestiging beperken.	-	Hughes <i>et al.</i> , 2000
Arenicola marina (wadpier)	Woelt het sediment om (bioturbatie). Kan zaden te diep begraven en kieming beperken. Hoge dichtheden kunnen vestiging van zaailingen beperken	-	Suykerbuyk <i>et al.</i> , 2016; Costa <i>et al.</i> 2022
Carcinus maenas (strandkrab)	Consumptie zaden, omwoeling bodem	-	Infantes <i>et al.</i> , 2016
Pagurus benhardus gewone heremietkreeft	Consumptie zaden, beschadigen van zaden	-	Infantes <i>et al.</i> , 2016

Soort	Interactie met zeegras	Aard	Referentie
Watervogels (rotgans, smient)	Consumptie adulte planten incl. wortelstokken, foerageerkuilen kunnen ruimte maken voor herkolonisatie	+/-	Zipperle <i>et al.</i> , 2010 Van der Heide <i>et al.</i> , 2012
Peringia ulvae (wadslakje)	Graast epifytische algen van zeegrasblad	+	Phillipart C.J.M. 1995
Bivalven (tweekleppigen)	Waterkwaliteitsverbetering, positieve indicator voor voorkomen zeegras, schelpdierriffen kunnen luwte creëren voor zeegrasgroei	+/-	Gagnon <i>et al.</i> , 2020; Fales <i>et al.</i> , 2020
Flora			
Macroalgen	Verstikken van zeegras	-	Den Hartog, 1994; Valdemarsen <i>et al.</i> , 2010
Epifyten	Overgroeien, competitie voor licht	-	Gamble <i>et al.</i> , 2021

3.3.1 Biotische interacties met negatief effect op de aanwas van zeegras

Pathogenen

Labyrinthula zosterae

Labyrinthula zosterae sp., in het Engels bekend als *Eelgrass wasting disease* is misschien wel het belangrijkste pathogeen voor zeegras. *Labyrinthula* is verantwoordelijk voor de grote afsterving van de zeegrasvelden in de jaren 1930, toen circa 90 % van al het wilde zeegras verdween. Klein zeegras leek in de jaren 1930 echter niet te lijden onder de ziekte. Het is onbekend waardoor dit kwam, omdat dit nooit is onderzocht. Mogelijk heeft het te maken met de hogere groeilocaties van klein zeegras en het feit dat klein zeegras oorspronkelijk groeide op plaatsen met een hoge influx van zoetwater, iets waar *labyrinthula* minder goed tegen kan (Vergeer & Den Hartog 1991; De Jong *et al.* 2004). In studies is aangetoond dat *L. zosterae* wel degelijk een soortgelijk negatief effect op klein zeegras kan hebben als op groot zeegras (Vergeer & Den Hartog 1991). *L. zosterae* is een protist die de chloroplasten van klein zeegras aanvalt en consumeert. De protist is te herkennen op zeegras aan geïnfecteerde bladeren met een zwarte schimmel (Gamble *et al.*, 2021) (afbeelding 3.3). De pathogeniteit van *L. zosterae* is afhankelijk van de hoeveelheid stressfactoren waaraan een zeegrasplant wordt blootgesteld, en is niet heel pathogeen onder geen of lage stressfactoren (Reneerkens *et al.* 2005; Govers *et al.*, 2016). *L. zosterae* heeft een voorkeur voor warmere watertemperaturen, waarin het pathogeen ook een groter effect heeft. Dit zou, gelet op klimaatverandering ervoor kunnen zorgen dat het pathogeen in de toekomst meer problemen in de Waddenzee veroorzaakt (Graham *et al.*, 2021). Er is geen recente literatuur beschikbaar over het voorkomen van *L. zosterae* in de Nederlandse kustwateren. Vermoedelijk komt het nog steeds voor, maar is het niet heel pathogeen onder de huidige condities.

Afbeelding 3.3 De bladeren van groot zeegras geïnfecteerd met *Labyrinthula*, te herkennen aan de zwarte schimmel op het blad
(Foto van Michiel Vos (www.anbollenessor.com))



Waterschimmels: mariene Phytophthora

Phytophthora spp. zijn plantenziekten veroorzakende organismen die behoren tot de waterschimmels. *Phytophthora* zijn vaak soortspecifiek en kunnen grote schade aanrichten. Een bekend voorbeeld van een *Phytophthora* is de aardappelziekte. Ook in de mariene omgeving komen *Phytophthora* voor, die een negatief effect hebben op klein zeegras (Man in 't Veld *et al.*, 2019). Zo werd in deze studie *Salisapilea sapeloensis* aangetoond in klein zeegras. Uit recente studies aan groot zeegras door Govers *et al.* (Govers *et al.*, 2016; Govers *et al.*, 2017) bleek dat sommige natuurlijke zeegrasspopulaties een besmettingspercentage tot wel 99 % hadden van *Phytophthora* soorten. Het ging in deze studies met name over *Phytophthora gemini*, *Phytophthora inundata*, *Phytophthora chesapeakeensis* en *Halophytophthora sp.* Deze soorten hebben met name een negatief effect op de seksuele reproductie en populatiefitness van groot zeegras. Dit effect is sterker op groot zeegras in het intergetijdengebied, omdat zeegras zich hier vrijwel uitsluitend seksueel voortplant. De *Halophytophthora* en *Phytophthora* soorten hebben ook een sterk negatief effect op de ontkieming van zaden. Uit het onderzoek van Govers *et al.* (2016) bleek ook dat de pathogenen zorgden voor een afname van de ontkieming met 44 %. Er is geen literatuur beschikbaar over het effect van *Phytophthora* op klein zeegras. Mogelijk ondervindt klein zeegras er minder hinder van omdat het zich voornamelijk klonaal uitbreidt, maar dit zal nader onderzocht moeten worden. Daarnaast kan het ook effect hebben bij het gebruik van klein zeegrasszaden in herstelprojecten.

Plasmodiophora bicaudata

P. bicaudata is een parasitaire schimmel die gallen vormt op de bladeren van klein zeegras (Den Hartog, C. 1994). De gallen vormen zich alleen op de corticale en epidermale cellen, wat het effect op bladgroei beperkt. De wortels van aangetaste planten zijn echter vaak onderontwikkeld als effect van de schimmel (Feldmann, G. 1956). *P. bicaudata* is meerdere keren aangetoond op klein zeegras in Nederland, onder andere in de Oosterschelde en op Terschelling (Den Hartog & Polderman, 1973; Den Hartog, 1994). Er is geen recente literatuur beschikbaar over *P. bicaudata* in de Nederlandse kustwateren of wat het mogelijke effect hiervan is op de populatie.

Benthische soorten

Zeeduizendpoten

In de Waddenzee is een grote diversiteit aan zeeduizendpootsoorten te vinden (bijv. veelkleurige zeeduizendpoot, zager). Een recente studie van Gräfnings *et al.* (*in review*) liet zien dat het voorkomen van groot zeegras in de trilaterale Waddenzee negatief gecorreleerd was met de aanwezigheid van de veelkleurige zeeduizendpoot (*Hediste diversicolor*). In een eerdere studie werd al aangetoond dat zeeduizendpoten een negatief effect hebben op de distributie en aanplanting van klein zeegras (Hughes *et al.* 2000). Dit is waarschijnlijk te verklaren doordat zeeduizendpoten kiemend zeegrassaad consumeren, ongeacht of er ook nog andere voedselbronnen beschikbaar zijn (Kwakernaak *et al.*, 2023).

Daarnaast kunnen zeeduizendpoten ook een effect hebben op klein zeegras door hun bioturbierende/sedimentomwoelende activiteiten (Han *et al.* 2012).

Wadpieren

Wadpieren (*Arenicola marina*) komen algemeen voor in de Waddenzee. De dichtheden van wadpieren kunnen oplopen tot enkele honderden individuen per m². Hoge dichtheden van adulte wadpieren (>50) kunnen de groei en overleving van klein en groot zeegras beperken (Reise, 1985; Philippart, 1994; Valdermalsen *et al.*, 2011; Suykerbuyk *et al.*, 2016; Costa *et al.* 2022). Dit negatieve effect komt door bodemomwoeling. Deze bodemberoering zorgt ervoor dat zeegraszaad en planten in het sediment kunnen verdwijnen (Valdermalsen *et al.*, 2011). Onderzoek heeft aangetoond dat bioturbatie door wadpieren in dichtheden van 42,5-85 wadpieren per m², leiden tot een sedimentverplaatsing van 14 tot 33 cm per jaar (Cadeé, 1976). Grote sediment verplaatsingen hebben een negatief effect op de groei en overleving van klein zeegras (Han *et al.* 2012). Ook vindt er door de graafbewegingen van de wadpieren bioturbatie plaats van het poriewater naar het oppervlaktewater (Philippart, 1994; Hughes *et al.*, 2000; Suykerbuyk *et al.*, 2016). Dit leidt tot een afname van geschikte nutriënten in de bodem voor groot zeegras. Tegelijkertijd leidt de toename van nutriënten in het water tot de groei van epifyten op de bladeren van zeegras (Kwakernaak *et al.*, 2023). Dit maakt gebieden met hoge dichtheden aan wadpieren dus ongeschikt voor de groei van litoraal klein en groot zeegras. Experimenten van Reise (1985) en van Philippart (1994) (Reise, 1985; Philippart, 1994) bevestigen dit.

In beide experimenten werden gebieden wadpivrij gemaakt, waarna klein zeegras werd aangeplant. Deze gebieden werden vergeleken met een controlegebied met de reguliere hoeveelheid wadpieren. Beide studies lieten zien dat wadpieren de aanwas van klein zeegras beperkten. Een mogelijke manier om bioturbatie door wadpieren tegen te gaan is het aanbrengen van een schelpenlaag in het sediment (Suykerbuyk *et al.*, 2016). Wadpieren eten geen zeegraszaad, want dat kunnen ze niet verteren (Blackburn & Orth, 2013).

Krabben

Diverse soorten krabben hebben een negatief effect op de aanwas van zeegras. Zo is bekend dat de strandkrab de zaden van groot zeegras consumeert in aantallen tot wel 10 per dag. De strandkrab is in staat om hele, nog niet ontkiemde zaden van het zeegras te consumeren (Infantes *et al.* 2016). Tegelijkertijd consumeren krabben ook algale mesograzers zoals het wadslakje, wat leidt tot een toename aan epifyten op het blad van zeegras (Infantes *et al.* 2016). Door het gravende gedrag van krabben woelen ze de bodem om, wat zeegrasscheuten in de bodem kan verstoren en daarmee destabiliseren. Dit negatieve effect is onder andere aangetoond bij het Zuiderzeekrabbetje, dat aangeplante zeegrasscheuten zonder complex wortelsysteem verstoort in hun groei (Engström, 2020). Mogelijk leidt dergelijke bodemberoering door krabben tot effecten die vergelijkbaar zijn met effecten van bioturbatie door wadpieren en zeeduizendpoten. De meeste studies zijn uitgevoerd aan groot zeegras. Toch is de verwachting dat deze effecten ook spelen bij klein zeegrasherstel, waarbij gebruik wordt gemaakt van zaden en losse zeegrasscheuten.

Gewone heremietkreeft

De gewone heremietkreeft is in staat zeegraszaad te consumeren en te beschadigen, maar heeft relatief een kleiner effect dan de strandkrab (Infantes *et al.* 2016).

Herbivore vogels

Voor de smient, meerkoet, zwanen en andere soorten watervogels kan klein zeegras een belangrijke voedselbron zijn. Deze vogels eten zowel de scheuten als de wortels van de plant (Nacken & Reise 2000; Zipperle *et al.* 2010). Bepaalde soorten, zoals de wilde eend, staan erom bekend dat ze het zaad van zeegras eten in Noord-Amerika (Fishman & Orth, 1996; Orth *et al.*, 2006). Hoewel herbivore vogelsoorten een negatief effect kunnen hebben op zeegras door actieve begrazing, kunnen de soorten ook een positief effect hebben op zeegras doordat ze ruimtelijke heterogeniteit creëren (Zipperle *et al.* 2010). De aanwas van zeegras leidt tot de aanzet van sediment, wat vervolgens lokaal leidt tot lichte bodemverhoging. Op de plaatsen waar vogels foerageren neemt deze sedimentaanzet af, en ontstaan kuiltjes. Vogels kunnen hier efficiënt foerageren of ploeteren. De vogels consumeren niet al het zeegras, tussen de 5 en de 15 % blijft staan. Bij deze lage dichtheden is het foerageren voor de vogels niet langer rendabel. Hierdoor ontstaat er in de loop van de tijd een mozaïeklandschap met ruimtelijke heterogeniteit (van der Heide *et al.*, 2012).

Ruimtelijke heterogeniteit is vaak essentieel voor het functioneren van het ecosysteem, en heeft daarmee ook een positief effect op de aanwas van zeegras (Eriksson *et al.*, 2010; Pringle *et al.*, 2010).

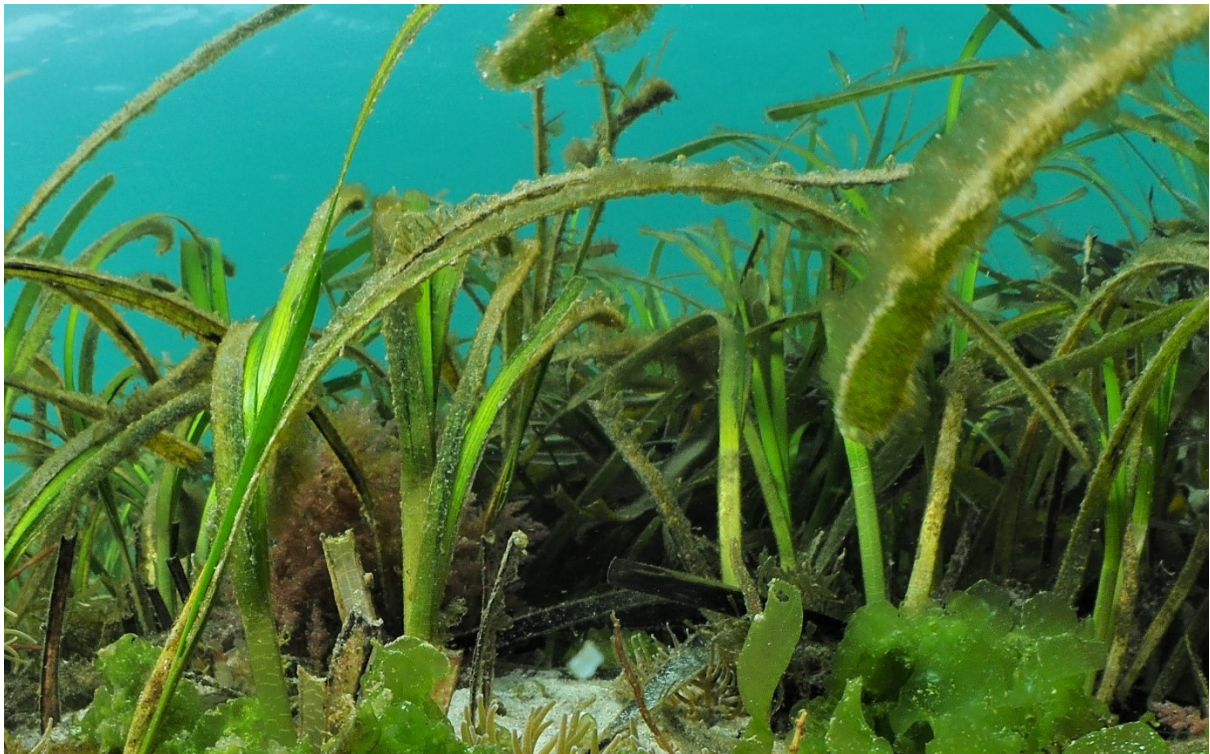
Macroalgen

Macroalgen hebben een negatief effect op zeegrasvelden. Zo kunnen macroalgen zeegras beschadigen en zelfs doen verdwijnen door verstikking. In het herstelproject aan klein zeegras in de Oosterschelde bleek dit een van de knelpunten te zijn. Enkele voorbeelden van macroalgen met een negatief effect op zeegras zijn *Enteromorpha radiata*, *Fucus vesiculosus*, *Ulva lactuca* en *Chaetomorpha sp.* (Reise, 1985; den Hartog, 1994). Verdere negatieve effecten van macroalgen komen door lichtreductie en ongunstige redoxcondities (Hauxwell *et al.*, 2001). Ook hebben macroalgen mogelijk een negatief effect door wrijvingen die door getijdenstroming ontstaan tussen de macroalgen (en aangehecht zwaar materiaal) en zeegras (Valdemarsen *et al.*, 2010).

Epifyten

Epifyten zoals haar- en draadvormige algen verstigen zich aan en groeien op de bladeren van klein zeegras en hebben daarmee een negatief effect op de groei van planten (afbeelding 3.4). Epifyten groeien over het blad van zeegras en reduceren zo de hoeveelheid licht waaraan de plant wordt blootgesteld (Phillipart C.J.M. 1995). De groei van epifyten wordt meestal veroorzaakt door een overvloed aan nutriënten in het poriewater (Gamble *et al.*, 2021).

Afbeelding 3.4 Zeegras overgroeit met epifyten. (foto van Michiel Vos, www.anbollenessor.com)



3.3.2 Biotische interacties met positief effect op de aanwas van zeegras

Wadslakjes

Wadslakjes hebben een positief effect op klein zeegras in de Waddenzee (Phillipart C.J.M. 1995). De Nederlandse Waddenzee is redelijk nutriëntenrijk, wat de groei van epifyten op klein zeegras bevordert. Wadslakjes die actief op deze epifyten grazen, onder andere op het blad van klein zeegras, verbeteren zo de groei van klein zeegras (Phillipart C.J.M. 1995). Met name de ondergrondse biomassa van klein zeegras neemt toe, wat de kans op een succesvolle overwintering vergroot. Wadslakjes zijn een belangrijke indicator van habitatgeschiktheid voor de groei van zeegras. Hogere dichtheden van wadslakjes hadden een positief effect op voorkomen van zeegras (Phillipart, C.J.M. 1995; Folmer, E 2019).

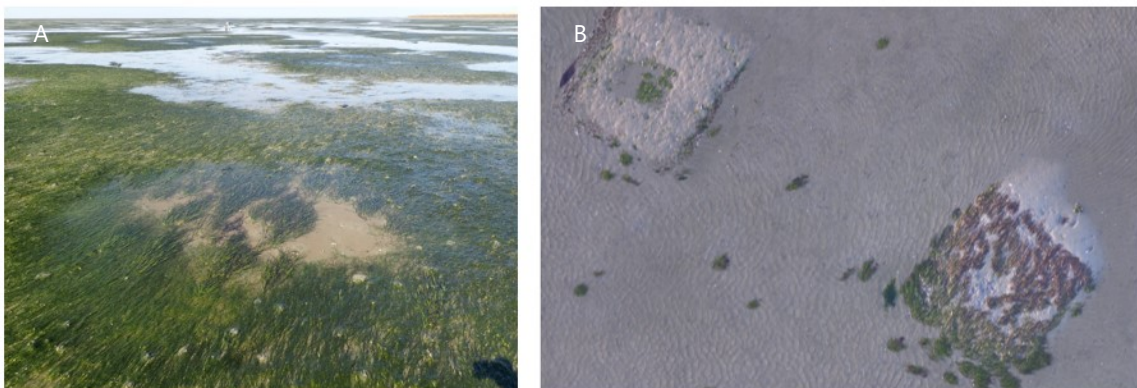
Tweekleppigen

Tweekleppigen (bivalven) staan erom bekend dat ze een positief effect hebben op de groei van litoraal zeegras (Gagnon *et al.*, 2020; Fales *et al.*, 2020). Zo dragen ze bij aan de-eutrofiering van het water, wat leidt tot helderder zeewater en meer lichtinval. Tegelijkertijd zorgen tweekleppigen voor een stabilisering van het sediment en voor een toename van de beschikbare nutriënten in de bodem, terwijl giftige sulfiden in de bodem afnemen (De Fouw *et al.*, 2016) (van der Heide *et al.*, 2012). De stabilisering van het sediment is onder andere belangrijk in zware weersomstandigheden zoals storm en droogte, omdat steviger sediment verspoeling kan voorkomen. Uit de studie van Gräfnings *et al.* blijkt dat het algehele effect van tweekleppigen, zoals kokkels en mossels, uitsluitend positief is. In de studie bleek dat de kans op het voorkomen van litoraal groot zeegras significant toeneemt in omgevingen met hogere aantallen tweekleppigen. Omdat het sediment hier minder last heeft gehad van bodemberoering (visserij, baggerwerkzaamheden etc.) is het mogelijk dat tweekleppigen eigenlijk een indicator zijn van een gebied met een relatief stabiel sediment (Gräfnings *et al.*, *in prep*). Hoewel de meeste studies over groot zeegras gaan, is de verwachting dat tweekleppigen een soortgelijk effect hebben op klein zeegras, maar dit zal nader onderzocht moeten worden.

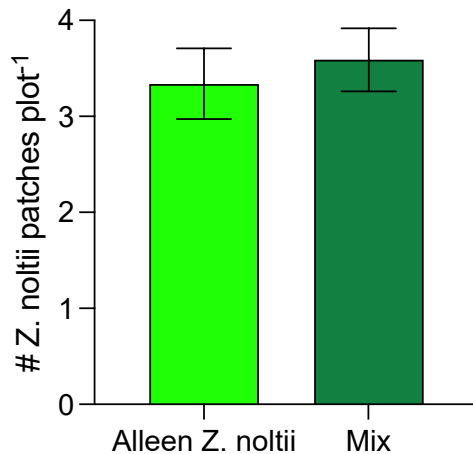
3.3.3 Klein en groot zeegras interactie

In de periode 2018-2022 is ook de interactie tussen klein en groot zeegras onderzocht. In 2019 is een experiment uitgevoerd om de mogelijke positieve effecten van klein zeegras op groot zeegras te onderzoeken. In de natuurlijke Duitse zeegraspopulaties was geobserveerd dat beide soorten vaak samen voorkwamen (Gräfnings *et al.*, *nog niet gepubliceerd*). In populaties zoals in Hamburger Hallig groeit groot zeegras vaak in poeltjes gevormd door sedimentinvang van klein zeegras (afbeelding 3.5A). In 2019 zijn deze effecten experimenteel nagebootst. Omdat het niet mogelijk was om op schaal hiervoor met klein zeegras te werken is gebruik gemaakt van klein zeegras 'mimics': raffia slingers die aan biologisch afbreekbare structuren (BESE) zijn geknoopt. In het veld bleek inderdaad dat de overleving van groot zeegras in de poeltjes omgeven door kunst klein zeegras (afbeelding 3.5B) hoger was dan in de zaaiplots met alleen groot zeegras (rechts). De door 'klein zeegras' gemaakte poeltjes houden groot zeegras nat en beschermen het tegen de effecten van hittegolven/uitdroging. De conclusie van dit experiment (*unpublished*) is dat klein zeegras door landschapsvorming (poelvorming) groot zeegras (groei en overleving) kan faciliteren. Om dit toe te passen in zeegrasherstel is echter herstel op landschapsschaal van beide soorten nodig, waarbij klein zeegras eerst de kans moet krijgen om zich te ontwikkelen voordat dit positieve effect op kan treden.

Afbeelding 3.5 A Groot zeegras groeit op Hamburger Hallig omgeven door klein zeegras en B) Experiment waarbij klein zeegras is nagebootst. Groot zeegras in de 'poel' links overleeft een hittegolf terwijl groot zeegras rechts uit is gedroogd



Afbeelding 3.6 Eerste monitoringsresultaten (juni 2022) klein + groot zeegrasproef Griend. Alleen *Z. noltii* staat voor plots waar alleen klein zeegras is ingezaaid. Mix staat voor plots waar beide soorten zijn ingezaaid



Aanvullend hierop is in 2022 een proef gedaan waarbij andersom ook is gekeken naar de mogelijkheden voor groot zeegras om klein zeegras te faciliteren. Dit was van belang omdat 2/3 van de uiteindelijke KRW-doelstelling klein zeegras betreft. Daarnaast werd in het veld geobserveerd dat klein zeegras dat in de buurt van groot zeegras groeide (ook enigszins bedekt door een laagje water) een hogere scheutdichtheid had dan klein zeegras dat zonder groot zeegras op 'bulten' groeide. De onderliggende hypothese was dat 1) klein zeegras, ondanks de hoge tolerantie voor droogvallen, toch een voorkeur heeft voor een 'nattere' plek die door groot zeegras wordt gecreëerd en 2) de nabijheid van groot zeegras zorgt ervoor dat klein zeegras geen/minder sediment invangt en dus minder hoog en droog komt te liggen. Alleen de allereerste resultaten (juni 2022, afbeelding 3.6) zijn inmiddels bekend. Conclusie van deze resultaten was dat er in de vestigingsfase nog geen verschillen te zien waren tussen het aantal gevestigde klein zeegras (*Z. noltii*) patches per gemengde plot (groot + klein zeegras) in vergelijking met plots waar alleen klein zeegras was gezaaid (afbeelding 3.6). Er zijn echter aanvullende metingen verricht in augustus, en deze metingen zullen nog worden herhaald in augustus 2023 omdat klein zeegras zich veel langzamer ontwikkelt dan eenjarig groot zeegras. Om tot een sluitende conclusie over deze proef te komen, zijn met name de langetermijneffecten (>1 jaar) van belang.

Afbeelding 3.7 Monitoring van de gemengde zaaiploot. De onderzoekers staan bij een patch klein zeegras om metingen te verrichten (foto RWS, augustus 2022)



3.3.4 Het effect van zeegras op de lokale biodiversiteit

Zeegrassvelden zijn een van de meest productieve ecosystemen op aarde, en vormen een cruciaal habitat voor diverse mariene soorten in verschillende fases van hun levenscyclussen (Heck *et al.*, 2003; Bertelli & Unsworth, 2014). Zo zijn het belangrijke kraamkamers en foerageergebieden voor diverse soorten vissen en schaaldieren (Hemminga & Duarte 2000; Gamble *et al.*, 2021). De dichtheid van vissen in zeegrassvelden is zeer variabel en overvloedig, met dichtheden die wel 4,5 x zo hoog zijn als in nabijgelegen kale zanderige habitats. Voorbeelden van vissen die vroeger veelvuldig voorkwamen in de Waddenzee, en voor een belangrijk deel van hun levenscyclussen, wanneer het beschikbaar was, in het zeegras (zowel sublitoraal als litoraal) doorbrachten zijn kabeljauw, haring en de paling (Wolff, W. 2005; Lotze, H.K. 2007; Gamble *et al.*, 2021). Litoraal klein zeegras is met name belangrijk voor de geep, haring en de driedoornige stekelbaars. Al deze soorten maken gebruik van droogvallend klein zeegras om hun eitjes op af te zetten (Polte & Asmus 2006b). Tegelijkertijd zijn klein zeegrassvelden een belangrijke kraamkamer voor diverse soorten vissen, zoals de koornaarvis, bot, diklipharder, paling, geep, ansjovis en zandspiering (Polte & Asmus 2006a). Uit dit onderzoek van Polte & Asmus in de Duitse Waddenzee nabij Silt kwam naar voren dat juveniele exemplaren van de bovengenoemde vissoorten in veel hogere dichtheden voorkwamen in klein zeegras dan daarbuiten. Recent onderzoek laat zien dat groot zeegrasherstel al op vrij korte termijn kan bijdragen aan het herstel van lokale biodiversiteit (Gräfnings *et al.*, in prep). Deze studie laat zien dat de biodiversiteit van met name de epibenthische soorten (soorten die op de bodem voorkomen) binnen 2 jaar al met 32 % was toegenomen.

Deze toename van biodiversiteit in het herstelde veld bij Griend was gelijk aan het biodiversiteitsverschil tussen zeegrassvelden en kale wadplaten elders in de Waddenzee. De totale biomassa van benthische soorten in zeegrassvelden is over het algemeen bijna 3x zo hoog als die van kale wadplaten. Met name de hoeveelheid grazers (aliekruiken, zeepissebedden, wadslakjes en vlokreeften) en mosselen namen toe in het herstelde veld.

3.4 Succes- en faalfactoren van het verzamelen en verwerken van donormateriaal

Het ontwikkelen van de meest optimale methodiek t.a.v. zeegras planten en zaaien is een doorlopend proces. Voor klein zeegras is de methodiek nog in ontwikkeling. Voorlopig is de methodiek grotendeels gebaseerd op die voor groot zeegras. De donorlocaties voor klein zeegras en groot zeegras zijn vrijwel identiek. In onderstaande paragrafen wordt hoofdzakelijk ingegaan op de methodiek die op dit moment in gebruik is. Ieder jaar zullen we dit evalueren, om verbeteringen aan het gehele proces door te kunnen voeren.

3.4.1 Donorlocaties & verzamelen

Locaties

In de zeegrasherstelprojecten tot 2011 werd gebruik gemaakt van donorlocaties binnen Nederland (Waddenzee en Oosterschelde) en van Sylt voor relatief kleinschalig onderzoek. In de afgelopen jaren is dit donormateriaal verzameld op Sylt bij Puan Klent (Govers *et al.*, 2022). Sinds 2018 is ook een locatie op het wad bij het Hamburger Hallig, in de Duitse deelstaat Schleswig Holstein, in gebruik. Deze locaties zijn in samenwerking met het Alfred Wegner Instituut (AWI) op Sylt geselecteerd. In zijn algemeenheid geldt dat er maximaal 1 % van deze populatie mag worden geoogst om de invloed van het oogsten op de donorpopulatie te beperken. Voor de waarborging hiervan wordt er op voorhand een goed beeld gevormd van de status-quo en wat dat betekent voor de te oogsten aantallen en kilo's. Dit wordt gedaan aan de hand van grondtellingen van de plantdichtheden, in combinatie met dronebeelden waarop de totale omvang van het veld wordt geschat. Dit resulteert in een maximaal aantal planten dat mag worden geoogst om niet boven de 1 % uit te komen. In het veld wordt een conversie van plantmateriaal naar gewicht gemeten. Hierbij wordt meteen de zaaddichtheid meegenomen, zodat op basis van de kilo's een eerste schatting van het aantal verzamelde zaden kan worden gemaakt.

Op moment van schrijven zijn er nog geen concrete nieuwe alternatieve locaties in beeld. In het Plan van Aanpak en Notitie Donormateriaal binnen het project Zeegrasherstel wordt dit als aandachtspunt meegenomen. De laatste jaren zijn de zeegrasdichtheden op de donorlocatie Sylt namelijk beperkt toereikend of zelf ontoereikend om duurzaam te kunnen oogsten. Daarnaast is bekend dat op andere locaties in de Waddenzee in Schleswig Holstein goede zeegrasvelden aanwezig zijn. Volgend jaar kan het gesprek over donorlocaties eerder worden gestart om de mogelijkheden te verkennen.

Afbeelding 3.8 Zeegras verzamelen in Hamburger Hallig 2022 (foto's Paul Vertegaal)



Verzamelen

Donormateriaal verzamelen is zeer arbeidsintensief. Het donormateriaal wordt dan ook verzameld door een grote groep van 15-20 personen, bestaande uit medewerkers van The Fieldwork Company, de RUG, studenten, andere consortiumpartners en vrijwilligers. De werkzaamheden worden aangestuurd door werknemers van The Fieldwork Company. Gedurende de periode van laagwater wordt handmatig zeegras geplukt. Voor klein zeegras werden tot op heden enkel de zaadscheuten verzameld. Door de ondiepe ligging van klein zeegras kan het verzamelen plaatsvinden in de periode van 4,5 uur voor tot 4,5 uur na laagwater. Het verzamelde materiaal werd gekoeld (~7 graden) getransporteerd naar Nederland.

3.4.2 Verwerking donormateriaal en bewaren zaden

In de herstelprojecten t.a.v. klein zeegras die voor 2018 zijn uitgevoerd, werd plantmateriaal verzameld (d.w.z. zoden en/of gehele planten) en het verzamelde donormateriaal werd zo snel mogelijk geplant op de onderzoekslocaties. Na 2018 zorgde de ontdekking van de bestrijding van *Phytophthora* met koper ervoor dat het verzamelde donormateriaal eerst verwerkt moest worden om de zaden te oogsten en die vervolgens te behandelen met koper. Om ook het grote verlies van zaden in de winterperiode tegen te gaan, werden de behandelde zaden bewaard en in het voorjaar uitgezaaid met de daarvoor ontwikkelde DIS-methodiek (zie hoofdstuk 3.5). Het bewaren en de DIS-methodiek was in eerste instantie gericht op groot zeegras, maar werd in 2019 ook getest voor klein zeegras. De verwerkingsprocessen worden hieronder nader toegelicht. Wederom is het proces voor klein zeegras grotendeels gelijk aan dat van groot zeegras. Vanaf 2023 zullen er experimenten plaatsvinden gericht op het verbeteren van de verwerking en de opslag van klein zeegraszaden om de ontkiemingskans voor klein zeegraszaad te verhogen. Hierbij valt te denken aan zoetwater- en koperbehandelingen, en experimenten met blootstellingen aan verschillende temperaturen en hoeveelheden licht specifiek gericht op klein zeegras.

Verwerking van plantmateriaal

Sinds 2018 wordt het donormateriaal van klein zee gras verwerkt binnen de zee grasfaciliteit van The Fieldwork Company. De zaadhoudende scheuten worden gespoeld en steekproefsgewijs gewogen en geteld volgens een protocol (aantal rijpe/onrijpe zaden; volgens het *Z. marina* protocol, zie Notitie Donormateriaal) Voor *Z. noltii* moet nog een protocol worden opgesteld. Er zit hier een klein verschil in methodiek voor klein zee gras ten opzichte van groot zee gras. Waar de zaadhoudende scheuten van groot zee gras voor 7 weken worden gespoeld, is dat bij klein zee gras voor 12 weken het geval. Na het wassen worden de scheuten in zeven geplaatst die in tanks met zeewater worden gehangen.

Binnen deze tanks wordt het materiaal met een bubbelstelsel belucht zodat zuurstofloze (anaerobe) omstandigheden worden gemedend en te snelle rotting van het plantmateriaal wordt voorkomen (Govers *et al.*, 2022).

Het zeewater dat wordt gebruikt heeft dezelfde saliniteit als de donorlocatie. In de eerste experimenten werd zeewater uit de dichtstbijzijnde haven van Lauwersoog gehaald. Dit zeewater had een saliniteit van gemiddeld 27 ppt (Rijkswaterstaat Waterdata). In de huidige opzet wordt het zeewater aangemaakt met 'Tropic Marin' zeezout. De scheuten worden maximaal 5 weken in de zeven gehouden. In deze periode rijpt het zaad en komt deze los van de plant. De ervaring heeft geleerd dat de duur van de rijping sterk kan variëren. Wanneer de zaden loskomen van het plantmateriaal, zinken ze samen met zand, wadslakjes (*Peringia ulvae*) en klein rottend plantmateriaal door de zeef naar de bodem. Wekelijks (soms tweewekelijks) wordt het bezinksel afgevangen, en wordt het zeewater verversd. Het bezinksel wordt daarna verder uitgezeefd om de zaden te scheiden van het andere materiaal. Deze methodiek verschilt jaarlijks door de variëteit in het aantal wadslakken en ander materiaal wat gescheiden moet worden. Methodieken die hiervoor worden toegepast zijn bubbelen, trillen, scheiden door stroming, zeven en overzanden van de zaden. Na het uitzeven worden de zaden in de winteropslag geplaatst. Binnen de huidige methodieken kan worden gesteld dat nog grofweg 47 % van de verzamelde zaden verloren gaat binnen het proces (Govers *et al.*, 2022). Voor de verdere ontwikkeling binnen het klein zee gras herstel kan optimalisatie op dit gebied kansen bieden.

Het verzamelen van het zaad van klein zee gras is veel arbeidsintensiever dan het verzamelen van groot zee graszaad. Zaden van klein zee gras kunnen ook niet in dezelfde hoeveelheden worden geoogst als die van groot zee gras. Zo werd er in 2022 slechts 6,5 tot 7 kg aan zaaddragende scheuten van klein zee gras verzameld, ten opzichte van 425 kg aan zaaddragende scheuten van groot zee gras. De combinatie van de arbeidsintensievere verzameling en de relatief kleinere hoeveelheid zaden maken herplantingsprojecten voor klein zee gras duur. Daar komt nog bij dat de zaden van klein zee gras vaak van lagere kwaliteit zijn. De beperktere hoeveelheid beschikbaar zaad vormt ook een limitering voor de schaal en het aantal herplantingsprojecten die voor klein zee gras kunnen worden uitgevoerd. Voordat restauratie op grotere schaal plaats kan vinden is het daarom van belang om te kijken of de kwaliteit van de zaden en de kans op succesvolle ontkieming verhoogd kan worden.

Afbeelding 3.9 Zeewater tanks in de loods van The Fieldwork Company



Winteropslag & koperbehandeling

De uitgezeefde zaden worden vervolgens opgeslagen in stroomgoten van 4 m x 10 cm. Een laag van ~2 cm belucht kunstmatig zeewater (30 ppt, Tropic Marin zeezoutmix) stroomt constant door de stroomgoten. De zaden bevinden zich verspreid over de goten met een maximale laagdiepte van 0,5 cm om zuurstofloze condities binnen de stroomgoten te voorkomen. Vroegtijdige kieming wordt tegengehouden door natuurlijke winterse temperatuur (~5 graden) en lichtcondities (donkere omgeving) aan te houden. De aanwezigheid van de pathogenen *Phytophthora gemini* en *Halophytophthora* spp in het zaadmateriaal kan de kieming van groot zeegraszaden sterk reduceren (Govers *et al.*, 2016). Om de kiemkracht te vergroten is daarom geëxperimenteerd met het behandelen van de zaden tegen deze pathogenen. Experimenten toonden aan dat zowel lage saliniteit (0,05 ppt) en koperbehandeling (≥ 0.2 ppm) ervoor zorgden dat de infectie verdween (Govers *et al.*, 2017). Doordat de lage saliniteit ook direct de kiemkracht negatief beïnvloed, werd daarom gekozen om enkel de koperbehandeling toe te passen tijdens de winteropslag. Hiervoor wordt 0.5-2.0 ppm kopersulfaatoplossing (CuSO_4) aan het zoutwater toegevoegd. Onderzoek (Van der Zee *et al.*, 2015) heeft aangetoond dat behandeling van zaden namelijk alleen zin heeft als de behandeling langere tijd duurt. De zaden worden gespoeld met zoetwater voordat ze in het veld worden gebracht. Hiermee wordt voorkomen dat de koperoplossing in het natuurlijke systeem komt.

Aan het einde van de winter wordt een sample zaden naar de Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit (NVWA) gestuurd om te testen of er nog *Phytophthora* aanwezig is. De winteropslag en koperbehandeling is ontwikkeld voor groot zeegras. Voor klein zeegras is deze methode ook gehanteerd, maar nader onderzoek is nodig om de opslag voor klein zeegras te optimaliseren.

Bepalen rijpe kiemkrachtige zaden

Jaarlijks wordt het percentage rijpe kiemkrachtige zaden bepaald om op basis van deze informatie de benodigde zaaddichtheid te kunnen bepalen binnen het zaad-sediment mengsel voor de DIS-methode, waarmee vervolgens de beoogde plantdichtheid wordt behaald (zie kennisrapportage groot zeegras). Op basis van de zaaddichtheden en percentages kiemkracht wordt beoogd om per injectie ~1 plant te realiseren in het veld. De kiemkracht van de verzamelde en met koper behandelde zaden wordt bepaald door steekproefsgewijs kiemtesten uit te voeren. Kiemtesten om ratio kiemkrachtige zaden te bepalen gebeurt op de volgende manieren: 1) de NVWA test jaarlijks deze kiemkracht in zoetwater, 2) The Fieldwork Company doet simultaan kiemtesten in sediment in petrischalen met zoutwater (in vivo/in vitro) en 3) The Fieldwork Company doet simultaan kiemtesten in sediment in mesocosms met zoutwater (in vivo/in vitro). Hiermee wordt het percentage kiemkrachtige zaden bepaald (Govers *et al.*, 2022).

Voor klein zee gras is nog niet alles vastgelegd in protocollen wat betreft het verzamelen, verwerken, en bewaren. Daarnaast liggen er methodische vragen om de omstandigheden te optimaliseren ten aanzien van kiemcondities, de kiemkracht en de hoeveelheid geoogste zaden voor klein zee gras.

3.5 Succes- en faalfactoren van het planten en uitzaaien

Onderzoek naar klein zee grassherstel in de Waddenzee is beperkt en kleinschalig. Tot 2018 is vooral geëxperimenteerd met het transplanteren van zoden en planten. Dit gebeurde zowel in de Waddenzee als in de Oosterschelde. Na 2018 werd klein zee graszaad uitgezaaid in de Waddenzee m.b.v. de DIS-methode. De verschillende methodieken voor het planten en uitzaaien van klein zee gras worden hieronder verder besproken.

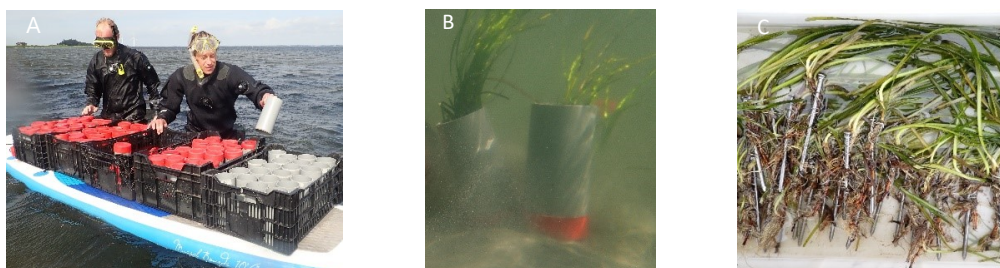
3.5.1 Bare-Root Methodiek

Voor de eerste herstelwerkzaamheden van klein zee gras in de jaren 1990 lag de focus op methodieken waarbij plantfragmenten van een donorlocatie naar de restauratie locatie werden gebracht. Hierbij werd gebruik gemaakt van de 'bare-root' methodiek. Het donormateriaal van klein zee gras was afkomstig van Sylt en Terschelling (Giesen & Van Katwijk, 2011). De wortels van het donormateriaal werden ontdaan van sediment voordat ze koel en vochtig werden getransporteerd en opnieuw werden aangeplant d.m.v. transplantunits (TPU's, figuur 3.10). Transplantunits worden opgebouwd uit een drietal scheuten en rhizoomfragmenten en verzwaard met een spijker. De tijd tussen het oogsten en aanplanten van het donormateriaal was maximaal 48 uur. Deze methodiek werd zowel voor groot als klein zee gras toegepast maar bleek voornamelijk succesvol voor klein zee gras (Giesen & Van Katwijk, 2011), met name op de Balgzand, waar het zee gras 13 jaar na de transplantatie nog stond. Tussen 2007 en 2012 werd deze methodiek ook toegepast in de Oosterschelde (Suykerbuyk *et al.*, 2016). Hier was het echter geen succes. De uitvoering van de bare-root methodiek was erg arbeidsintensief en logistiek uitdagend doordat de planten binnen korte tijd geoogst en geplant moesten worden. Daarnaast had het grote impact op de donorpopulaties. Opschalen middels de 'bare-root' methodiek was daardoor niet ideaal.

3.5.2 Core methodiek

Een andere zee grassherstelmethodiek die toegepast kan worden voor klein zee gras is de core methodiek. Bij het gebruik van cores worden gehele planten incl. een deel van de wortelstokken getransplanteerd. Cores worden uitgestoken in een PVC-buis. Hierbij wordt in de core ook een kleine hoeveelheid gebiedseigen sediment meegenomen. Bij experimenten in de Grevelingen met groot zee gras heeft het gebruik van cores tot een betere scheutoverleving geleid dan het gebruik van transplantunits (TPUs).

Afbeelding 3.10 Gebruik van cores en TPU's. A) verzamelen van cores met zee gras in Duitsland, B) uitzetten van cores in Grevelingen, C) geknoopte TPU's van zee gras. Bron: The Fieldwork company



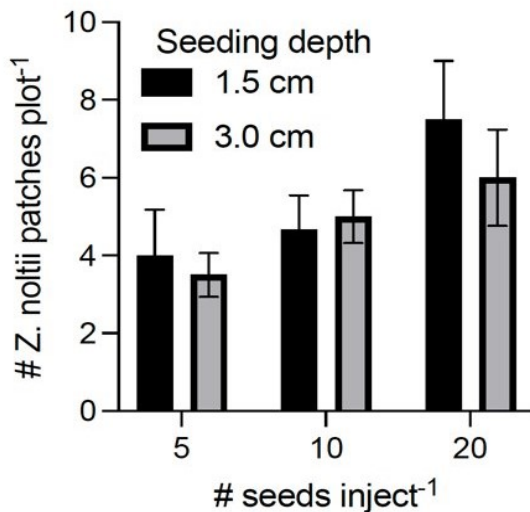
In Noord-Spanje is er een meerjarig project uitgevoerd waarbij litoraal klein zeegras door middel van cores werden aangeplant op locaties waar klein zeegras van oorsprong voorkwam (Valle *et al.*, 2015). De planten werden ingeplant in twee verschillende bodemtypen: een modderige en een zanderige bodem. Het zeegras dat was aangeplant in de modderige bodem breidde zich gedurende 5.5 jaar fors uit. De oppervlakte dat bedekt werd met klein zeegras werd gedurende de studieperiode acht keer zo groot middels natuurlijke uitbreiding. Het sedimenttype (modder) en weinig tot geen sedimentverplaatsing werden in deze studie toegewezen als belangrijke factoren voor het succes van het herplantingsproject.

Het gebruik van de core methodiek zal voor klein zeegras verder worden onderzocht. Voor de opschaalbaarheid van deze methodiek worden nog wel uitdagingen gezien zoals het effect van extractie op de donorpopulatie en de praktische uitvoerbaarheid.

3.5.3 Dispenser Injection seeding (DIS)

De Dispenser Injection Seeding (DIS) methode wordt sinds 2019 getest voor gebruik met klein zeegraszaad. Bij het gebruik van de DIS-methode wordt een kitspuit gevuld met een mengsel van sediment en zeegraszaad. Dit mengsel wordt op de gewenste locatie in de bodem gespoten. Op de kitspuit is een mondstuk gemonteerd zodat de injectiediepte kan worden ingesteld. Het sediment voor het mengsel is afkomstig uit lokale zeegrasvelden (zie voor een uitgebreide beschrijving het kennisdocument groot zeegras). Uit de eerste testen blijkt dat ook de DIS-methode een succesvolle methode is voor het herstellen van klein zeegras (Gräfnings, in prep)(afbeelding 3.11). Bij het gebruik van een hogere zaaddichtheid in de kitspuiten komt er meer klein zeegras op. De zaaidiepte lijkt geen effect te hebben, zolang het niet dieper is dan 3 cm. Hoewel de DIS methodiek succesvol lijkt, is de verwerking van het donormateriaal erg arbeidsintensief. Met het oog op mogelijke opschaling in de toekomst, is het daarom van belang om de methodieken te verbeteren en te optimaliseren t.a.v. het verzamelen van de zaden en het vergroten van de kiemkans.

Afbeelding 3.11 Het effect van het aantal zaden en zaaidiepte tijdens de DIS methode op het voorkomen van klein zeegras



3.5.4 Zaai- en plantdichtheid en schaal

Voor groot zeegras zijn experimenten gedaan met zaaidichtheid en zaaioppervlak, wat tot waardevolle inzichten heeft geleid. Voor klein zeegras is hier nog geen onderzoek naar gedaan. Dit is dan ook een van de kennisleemtes ten aanzien van klein zeegrasherstel. In de Oosterschelde heeft Suykerbuyk *et al.* (2016) wel onderzoek gedaan naar patchgrootte en patchdichtheid bij klein zeegrasherstel met zoden en planten. Dit bleek geen effect te hebben op de overleving van het litoraal klein zeegras, maar ook hier is nader onderzoek nodig als er in de toekomst gebruik gemaakt gaat worden van zoden en/of cores met planten.

3.6 Samenvatting belangrijkste succes- en faalfactoren

Het onderzoek naar klein zeegrasherstel zit nog grotendeels in de kennisontwikkelingsfase. In de Waddenzee heeft klein zeegras tot nu toe grotendeels meegelift op de aanplantingsprojecten van groot zeegras. Uit voorgaande overzicht blijkt dat er meerdere succes- en faalfactoren zijn. Deze zijn samengevat in tabel 3.3. Hoewel er al vrij veel bekend is over de abiotisch en biotische randvoorwaarden voor de ontwikkeling van klein zeegras, is er juist nog weinig bekend over zaai- en plantdichtheden en geschikte locaties. Daarnaast kan het verzamelen van donormateriaal en het zaaien en/of aanplanten geoptimaliseerd worden. Ook zijn er een aantal factoren die van belang zijn voor groot zeegrasherstel, zoals het gebruik van koper, die voor het herstel van klein zeegras nog niet goed zijn onderzocht. In 2023 wordt er daarom begonnen aan een methodische ontwikkeling voor het zaaien en de aanplanting van klein zeegras in de Waddenzee.

Tabel 3.3 Overzicht van succes- en faalfactoren ten aanzien van klein zeegrasherstel

Factor	Positief/ Negatief	Omschrijving	Referenties
Abiotiek			
sediment	+	zeegras heeft baat bij stabiel, relatief slikkig sediment	Vermaat <i>et al.</i> , 1996 Valle <i>et al.</i> 2015. Holt <i>et al.</i> 1997
stroming	-	zeegras heeft een voorkeur voor plekken met weinig stroming	Holt <i>et al.</i> 1997
nutriënten (N, P)	+/-	minimale nutriënten nodig voor groei maar negatieve effecten van eutrofiëring door mindere lichtkwaliteit en algenverstikking	Erfteemeijer, 2006
droogvalduur	+/-	50 –60 %, 0.1m en +0.3m NAP	De Jong <i>et al.</i> , 2005
zoutgehalte	+/-	10 – 40‰	Den Hartog 1970
sediment sulfide	-	sulfide toxiciteit is negatief	De Fouw <i>et al.</i> , 2022.
Biotiek			
zeeduizendpoot (Hediste diversicolor)	-	consumeren zaden en woelen bodem om	Hughes <i>et al.</i> 2000.
wadpier (Arenicola marina)	-	wadpieren begraven zeegraszaad en ondergraven kiempjes	Philippart 1994 ; Suykerbuyk <i>et al.</i> , 2016
strandkrab (Carcinus maenas)	-	consumeren zaden en planten	Infantes <i>et al.</i> , 2016; Engström, 2020
phytophthora spp.	-	zaadpathogeen, hoge besmettingsgraad kan leiden tot hoge zaadmortaliteit	Govers <i>et al.</i> , 2016 ; Govers <i>et al.</i> , 2017
macroalgen (bijv. Ulva spp)	-	verstikking groot zeegras en competitie voor licht	Reise, 1985; Den Hartog, 1994; Hauxwell <i>et al.</i> , 2001; Valdemarsen <i>et al.</i> , 2010

Factor	Positief/ Negatief	Omschrijving	Referenties
epifyten	-	concurreren met groot zeegras voor licht	Gamble et al., 2021 (Phillipart, C.J.M.
wadslakjes	+	grazers verwijderen epifyten van de bladeren	Phillipart, 1995; Folmer 2019
bivalven	+	tweekleppigen (bivalven) zijn een positieve indicatie voor het voorkomen van zeegras	Gagnon et al., 2020; Fales et al., 2020.
watervogels (rotganzen, smienten)	0	rotganzen consumeren volwassen zeegrasplanten tijdens najaarstrek maar kunnen ook successie positief beïnvloeden	Fishman & Orth, 1996; Orth et al., 2006; Eriksson et al., 2010; Pringle et al., 2010

4

BELANGRIJKSTE VERVOLGVRAGEN KLEIN ZEEGRASHERSTEL

Eén van de doelen van het project Zeegrasherstel is om een eerste stap te zetten richting het herstel van klein zee gras en om minimaal één extra geschikte locatie te vinden waar grootschalig herstel van groot en klein zee gras kan worden uitgevoerd. Hiervoor zullen in de komende jaren intensieve herplantingen en experimenten worden uitgevoerd met groot en klein zee gras, waarbij de locaties en methodiek zijn geoptimaliseerd op basis van de huidige kennis. Jaarlijks worden de locaties en methodiek geëvalueerd en daardoor ook continue verfijnd.

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste vervolgvragen ten aanzien van klein zee grasherstel op hoofdlijnen besproken. Klein zee grasherstel zit nog in de kennisontwikkelingsfase. De belangrijkste kennisvragen die er liggen, zijn hoe de zaai- en aanplantmethodiek geoptimaliseerd kan worden en wat de optimale condities zijn voor klein zee gras om te groeien en zelfredzaam te zijn. Door experimenten met klein zee gras in het veld en in het lab uit te voeren, kunnen we deze kennisvragen combineren. In onderstaande paragrafen doen we een eerste aanzet hoe we hierin meer inzicht kunnen krijgen op basis van drie onderzoekspijlers:

- 1 zoeken naar geschikte groeilocaties voor klein zee gras;
- 2 de methodiek van het zaaien en aanplanten optimaliseren;
- 3 de kennis van abiotische en biotische stuurfactoren van klein zee gras vergroten.

In het Plan van Aanpak - Aanplant groot en klein zee gras wordt hier nader op ingegaan.

4.1 Geschikte locaties

Onderzoek naar praktische herstelmethoden van klein zee gras zullen we starten op de beproefde locatie nabij Griend. Kleinschalige pilotexperimenten hebben inmiddels al aangetoond dat deze locatie ook voor klein zee gras geschikt is. Om meer geschikte locaties te vinden, zullen we op geselecteerde nieuwe locaties kleinschalige uitzaai- en aanplantexperimenten doen met zowel groot als klein zee gras.

Geschikte groeilocaties moeten voldoen aan de vereisten die klein zee gras stelt aan haar omgeving. Litoraal klein en groot zee gras hebben overlap in hun voorkomen en in groeifactoren. In de bestaande habitatgeschiktheidskaarten van De Jong (2005), Folmer (2015) en Folmer (2019) is dan ook geen duidelijk onderscheid gemaakt tussen de soorten en geschikte groeifactoren zijn grotendeels voor beiden al meegenomen. In de kanskaart van Folmer (2021) is ook de aanwezigheid van wadpieren meegenomen. Daarnaast heeft Kwakernaak *et al.*, (2023), op basis van nieuwe inzichten rondom zeeduizendpoten (*Hediste diversicolor*) als faalfactor voor groot zee grasvestiging, de kanskaart van de Jong (2005) geüpdatet (zie Kennisrapportage Groot zee gras). Van zowel wadpieren als zeeduizendpoten is bekend dat ze ook een negatief effect kunnen hebben op klein zee gras. Voor nu is de aanpak dus om de geüpdatete habitatgeschiktheidskaart van Kwakernaak *et al.* (2023) te gebruiken om geschikte locaties te vinden.

Om inzicht te krijgen in mogelijke geschikte locaties voor klein zeegras zal in het project dezelfde benadering gevolgd worden als voor groot zeegras:

- 1 locatieselectie: op basis van best beschikbare kansencarten (eind 2022) en veldwaarnemingen (2020-2022, waarneming.nl);
- 2 veldbezoeken: expert-judgement in het veld op geselecteerde locaties;
- 3 zaai-experimenten: op geselecteerde locaties;
- 4 monitoring: zaai-experimenten incl. omgevingsvariabelen;
- 5 evaluatie: geschikte locaties;
- 6 update kansencarten: met nieuwe beschikbare kennis.

Metingen en resultaten uit experimenten op verschillende locaties zullen worden gebruikt om een nieuw habitatgeschiktheidsmodel te ontwikkelen voor zowel groot als klein zeegras. Aangezien een recente Waddenzee-brede survey en recente experimenten aantonen dat facilitatie binnen de soort (patchgrootte- en dichtheidsafhankelijke sedimentstabilisatie) en tussen soorten (klein/groot zeegras, maar ook algengrazers) belangrijk zijn voor zeegrasherstel, zullen dergelijke biotische processen ook zeker worden meegenomen.

Bij potentieel geschikte locaties (incl. omgevingsgeschiktheid) zal uitgebreid worden stilgestaan in de Notitie Geschikte Locaties die binnen het project Zeegrasherstel wordt opgesteld.

4.2 Methodiek

Voor groot zeegras zijn er door de jaren heen werkbare en succesvolle methodes ontwikkeld om groot zeegraszaden te kunnen oogsten en zaaien. Klein zeegras heeft de laatste paar jaar meegelift op deze bestaande technieken, maar ze zijn nog niet geoptimaliseerd voor deze soort. Aangezien klein zeegras, in tegenstelling tot droogvallend groot zeegras, een meerjarige plant is (en dus niet noodzakelijkerwijs afhankelijk is van jaarlijkse reproductie via zaad), zullen zowel zaadinjectietechnieken als transplantatiemethoden worden getoetst. Volwassen planten voor transplantatie en zaden van klein zeegras zullen worden verkregen uit dezelfde donorpopulaties in de Duitse Waddenzee waaruit we tot dusverre ook het groot zeegraszaad hebben geoogst. Het onderzoek naar de optimalisatie van de methodiek heeft voor nu twee sporen:

- 1 de optimalisatie van het oogsten, zaaien en planten, en;
- 2 de optimalisatie van de zaadkieming van klein zeegras.

Bij Griend wordt gestart met experimenten waarbij klein zeegras wordt uitgezaaid met de DIS-methode en waarbij volwassen planten worden getransplanteerd m.b.v. cores. Langetermijn overleving van de core methode moet nog worden gemonitord, maar mogelijk biedt dit kansen voor klein zeegras omdat de zaadopbrengst uit het donormateriaal relatief beperkt is en naar verhouding zeer arbeidsintensief. Bij de experimenten zullen de groei en (lange termijn) overleving van de planten en de biotische, fysische en chemische omgevingsfactoren worden gemonitord.

Naast de experimenten in het veld zal ook onderzoek worden gedaan naar de optimalisatie van het bewaren van de zaden over de winter en de zaadkieming van klein zeegras. Dit betreft o.a. de timing van zaadoogst, om een zo groot mogelijke opbrengst te genereren per kilo geoogst zeegrasmateriaal en het optimaliseren van kieming om een zo groot mogelijke opbrengst in volwassen planten/zaad te genereren. Het optimaliseren van de kieming zal plaatsvinden met kiemexperimenten in het lab met verschillende behandelingen zoals zoetwaterbehandelingen en verschillende licht- en temperatuurbehandelingen.

4.3 Kennisontwikkeling stuurfactoren

Bovenstaande experimenten zullen leiden tot meer inzicht in de stuurfactoren die van belang zijn voor klein zeegrasherstel. De komende vier jaar zal worden gebruikt om de achterstand in kennis ten opzichte van groot zeegrasherstel in te halen, zodat er mogelijk na 2027 ook opschaling voor klein zeegras kan plaatsvinden.

Om de stuurfactoren nog beter inzichtelijk te krijgen, zal er de komende jaren, naast het onderzoek naar geschikte locaties en methodiek, ook onderzoek gedaan worden naar de volgende kennisleemtes:

- 1 historische gegevens van litoraal klein zee gras in kaart brengen;
- 2 optimale abiotische condities beter (d.w.z. zoutgehalte, chemicaliën en slibgehalte en organisch materiaal in het sediment) in kaart brengen t.a.v. litoraal klein zee gras;
- 3 effect van kwelderwerken op het voorkomen van klein zee gras onderzoeken.

5

REFERENTIES

Barbier, E. B., Hacker, S. D., Kennedy, C., Koch, E. W., Stier, A. C., & Silliman, B. R. (2011). The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, 81(2), pp. 169–193.

Bertelli, C.M., Unsworth, R.K.F., (2014). Protecting the hand that feeds us: seagrass (*Zostera marina*) serves as commercial juvenile fish habitat. *Mar. Pollut. Bull.* 83, pp. 425–429.

Blackburn, N. J., & Orth, R. J. (2013). Seed burial in eelgrass *Zostera marina*: the role of infauna. *Marine Ecology Progress Series*, 474, pp.135-145.

Bos, A.R., D.C.R. Hermus & M.M. van Katwijk. (2004). Herintroductie van *Zostera marina* in de westelijke Waddenzee (2002-2006): *resultatenrapportage 2003. Afdeling Milieukunde*, Radboud Universiteit, Nijmegen.

Bos, A.R., N. Dankers, A.H. Groeneweg, D.C.R. Hermus, Z. Jager, D.J. de Jong, T. Smit, J. de Vlas, M. van Wieringen & M.M. van Katwijk. (2005). Eelgrass (*Zostera marina* L.) in the western Wadden Sea: monitoring, habitat suitability model, transplantations and communication. In: *J.-L. Herrier, J. Mees, A. Salman, J. Seys, H. van Nieuwenhuysse & I. Dobbelaere (eds) Proceedings 'Dunes and Estuaries 2005' – International Conference on Nature Restoration Practices in European Coastal Habitats*, Koksijde, Belgium, 19-23 September 2005. VLIZ Special Publication 19: pp. 95-109.

Bos, A.R. & M.M. van Katwijk. (2005). Herintroductie van Groot zeegras (*Zostera marina*) in de westelijke Waddenzee (2002-2005). *Afdeling Milieukunde*, Radboud Universiteit Nijmegen.

Boström, C., Jackson, E., Simenstad, C.A., (2006). Seagrass landscapes and their effects on associated fauna: *A review. Estuarine, Coastal and Shelf Science* 68: pp. 383– 403.

Boudouresque, C. F., Bernard, G., Pergent, G., Shili, A., & Verlaque, M. (2009). Regression of Mediterranean seagrasses caused by natural processes and anthropogenic disturbances and stress: a critical review.

Cabaço, S., & Santos, R. (2007). Effects of burial and erosion on the seagrass *Zostera noltii*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 340(2), pp. 204-212.

Cabaço, S., Santos, R., & Sprung, M. (2012). Population dynamics and production of the seagrass *Zostera noltii* in colonizing versus established meadows. *Marine Ecology*, 33(3), pp. 280-289.

Compton, T. J., Holthuijsen, S., Koolhaas, A., Dekinga, A., ten Horn, J., Smith, J., ... & Piersma, T. (2013). Distinctly variable mudscapes: distribution gradients of intertidal macrofauna across the Dutch Wadden Sea. *Journal of Sea Research*, 82, pp. 103-116.

Costa, V., Flindt, M. R., Lopes, M., Coelho, J. P., Costa, A. F., Lillebø, A. I., & Sousa, A. I. (2022). Enhancing the resilience of *Zostera noltei* seagrass meadows against *Arenicola* spp. bio-invasion: A decision-making approach. *Journal of Environmental Management*, 302, 113969.

Costanza, R., d'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., ... & Van Den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *nature*, 387(6630), pp. 253-260.

De Blauwe, H. (2011). De slijkgrascicade *Prokelisia marginata* (Hemiptera: Delphacidae), een exoot gebonden aan Engels slijkgras *Spartina townsendii*, verovert nu ook de Belgische kust. *De Strandvlo*, 31(3-4), pp. 80-88.

De Fouw, J., Rehlmeier, K., van der Geest, M., Smolders, A. J., & van der Heide, T. (2022). Increased temperature reduces the positive effect of sulfide-detoxification mutualism on *Zostera noltii* nutrient uptake and growth. *Marine Ecology Progress Series*, 692, pp. 43-52.

De Jong, D.J. & V.N. de Jonge. (1989). Zeegras *Zostera marina* L., *Zostera noltii* Horn.: een ecologisch profiel en het voorkomen in Nederland. Nota GWAO-89.1003, Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren, Haren

De Jong, D. J., van Katwijk, M. M., & Jager, Z. (2004). Zeegras in Nederland. *De Levende Natuur*, 105(5), pp. 209-211.

De Jong, D. J., Van Katwijk, M. M., & Brinkman, A. G. (2005). *Kansenkaart zeegras Waddenzee: potentiële groeimogelijkheden voor zeegras in de Waddenzee* (No. 2005.013). RIKZ.

De Jonge, V.N., K. Essink & R. Boddeke. (1993). The Dutch Wadden Sea: a changed ecosystem. *Hydrobiologia* 265: pp. 45-71

De Jonge, V.N., J. van den Bergs & D.J. de Jong. (1997). Zeegras in de Waddenzee; een toekomstperspectief. Beheersaanbevelingen voor het herstel van Groot en Klein zeegras. *Rapport RIKZ 97.016*. Rijkswaterstaat Rijksinstituut voor Kust en Zee / Directie Noord-Nederland, Haren / Middelburg / Leeuwarden

Den Hartog, C., (1970). *The sea-grasses of the world*. Amsterdam: North Holland Publishing Company.

Den Hartog, C., Polderman, P. J. G. (1973). *Plasmodiophora bicaudata*, een parasiet op *Zostera noltii*. *Gorteria* 6: pp. 121-123

Den Hartog, C. (1987). "Wasting disease" and other dynamic phenomena in *Zostera* beds. *Aquatic Botany*, 27(1), pp. 3-14.

Den Hartog, C. (1989). Distribution of *Plasmodiophora bicaudata*, a parasitic fungus on small *Zostera* species. *Diseases of Aquatic Organisms*, 6, pp. 227-229.

Duffy, J. E. (2006). Biodiversity and the functioning of seagrass ecosystems. *Marine Ecology Progress Series*, 311, pp. 233-250.

Engström, L. (2020). Effects of the non-indigenous Harris mud crab on eelgrass growth. Åbo akademi university.

Erftemeijer, P. (2005) Trendanalyse van zeegrasverspreiding in de Nederlandse Waddenzee 1988-2003.

Erftemeijer, P. (2006). "Managing the effects of dredging on seagrasses in the Mediterranean Sea," *Biologia Marina Mediterranea*, vol. 13, pp. 183-188.

Eriksson B.K., van der Heide T, van de Koppel J, Piersma T, van der Veer H.W., *et al.* (2010). Grote veranderingen in de ecologie van de Waddenzee: menselijke effecten, ecosysteemtechniek en sedimentdynamiek. *Ecosystemen* 13: pp. 752-764.

Fales, R.J., Boardman, F.C., Ruesink, J.L., (2020). Reciprocal Interactions between Bivalve Molluscs and Seagrass: A Review and Meta-Analysis. *J. Shellfish Res.* 39 (3), pp. 547-562.

Feldmann, G. (1956). Developpement d'une Plasmodiophorale marine: *Plasmodiophora bicaudata* J. Feldm., parasite du *Zostera nana*. Roth. *Revue. gen. Bot.* 63. pp. 390-420

- Fernández-Torquemada, Y., & Sánchez-Lizaso, J. L. (2011). Responses of two Mediterranean seagrasses to experimental changes in salinity. *Hydrobiologia*, 669(1), pp. 21-33.
- Fishman, J.R., Orth, R. J., (1996). Effects of predation on *Zostera marina* L. seed abundance. *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.* 198, pp. 11–26.
- Folmer, E.O. (2015). Ontwikkelingen en vestigingsmogelijkheden voor litoraal zeegras in de trilaterale Waddenzee. Tech. rep., Programma naar een Rijke Waddenzee, Leeuwarden.
- Folmer, E.O. (2019). Update habitatkaart littoraal zeegras voor de Nederlandse Waddenzee. Ecospace spatial ecology.
- Gagnon, K., Rinde, E., Bengil, E. G., Carugati, L., Christianen, M. J., Danovaro, R., (2020). Facilitating foundation species: the potential for plant–bivalve interactions to improve habitat restoration success. *J. Appl. Ecol.* 57, pp. 1161–1179.
- Gamble C., Debney, A., Glover, A., Bertelli, C., Green, B., Hendy, I., Lilley, R., Nuuttila, H., Potouroglou, M., Ragazzola, F., Unsworth, R. and Preston, J. (2021). *Seagrass Restoration Handbook*. Zoological Society of London, UK., London, UK
- Giesen, W., & van Katwijk, M. M. (2011). Re-introduction of seagrass in the Netherlands Wadden Sea. *Global Re-introduction Perspectives: 2011. More case studies from around the globe*, 228.
- Govers, L. L., Man In 't Veld, W. A., Meffert, J. P., Bouma, T. J., van Rijswijk, P. C. J., Heusinkveld, J. H. T., Orth, R. J., van Katwijk, M. M., & van der Heide, T. (2016). Marine Phytophthora species can hamper conservation and restoration of vegetated coastal ecosystems. *Proceedings. Biological Sciences / The Royal Society*, 283(1837).
- Govers, L. L., van der Zee, E. M., Meffert, J. P., van Rijswijk, P. C. J., Man In 't Veld, W. A., Heusinkveld, J. H. T., & van der Heide, T. (2017). Copper treatment during storage reduces Phytophthora and Halophytophthora infection of *Zostera marina* seeds used for restoration. *Scientific Reports*, 7, 43172.
- Govers, L. L., Heusinkveld, J. H., Gräfnings, M. L., Smeele, Q., & van der Heide, T. (2022). Adaptive intertidal seed-based seagrass restoration in the Dutch Wadden Sea. *PLoS One*, 17(2), e0262845.
- Govers, L.L. , Gräfnings, M.H.L., Reijers V.C., Zwarts M., Heusinkveld, J.H.T and T. van der Heide. Heatwave-mediated shift in density-dependent feedbacks affects seagrass restoration (in preparation)
- Gräfnings, M.L.E., Govers, L.L., Jannes, H.T., Heusinkveld, B.R.S., Smeele, Q., Valdez, S.R., van der Heide, T. (in prep). Macrozoobenthos as indicators of habitat suitability for intertidal seagrass. Max Gräfnings PHD Thesis November 2022
- Gräfnings (in prep). Restored intertidal eelgrass (*Z. marina*) supports benthic communities taxonomically and functionally similar to natural seagrasses in the Wadden Sea. Manuscript
- Graham, O. J., Aoki, L. R., Stephens, T., Stokes, J., Dayal, S., Rappazzo, B., ... & Harvell, C. D. (2021). Effects of Seagrass Wasting Disease on Eelgrass Growth and Belowground Sugar in Natural Meadows. *Front. Mar. Sci.*, 8, 768668.
- Han, Q., Bouma, T. J., Brun, F. G., Suykerbuyk, W., & Van Katwijk, M. M. (2012). Resilience of *Zostera noltii* to burial or erosion disturbances. *Marine Ecology Progress Series*, 449, pp. 133-143.
- Hauxwell, J., Cebrian, J., Furlong, C. & Valiela, I. (2001). Macroalgal Canopies Contribute to Eelgrass (*Zostera marina*) Decline in Temperate Estuarine Ecosystems. *Ecology*, 82, pp. 1007–1020.

Heck, K.L., Hays, G., Orth, R.J., (2003). Critical evaluation of the nursery role hypothesis for seagrass meadows. *Mar Ecol Prog Ser* 253: pp. 123–136.

Hemminga, M. A., & Duarte, C. M. (2000). *Seagrass ecology*. Cambridge University Press.

Hermus, D.C.R. (1995). Herinstructie van zee gras in de Waddenzee. Laboratorium voor Aquatische Oecologie, Katholieke Universiteit Nijmegen.

Hughes, R.G., Lloyd, D., Ball, L., Emson, D., (2000). The effects of the polychaete *Nereis diversicolor* on the distribution and transplanting success of *Zostera noltii*. *Helgol. Mar. Res.* 54: pp. 129-136.

Infantes, E., Crouzy, C. and Moksnes, P.O. (2016). Seed predation by the shore crab *Carcinus maenas*: a positive feedback preventing eelgrass recovery? *PLoS ONE* 11(12).

James, R. K., Silva, R., van Tussenbroek, B. I., Escudero-Castillo, M., Mariño-Tapia, I., Dijkstra, H. A., van Westen, R. M., Pietrzak, J. D., Candy, A. S., Katsman, C. A., van der Boog, C. G., Riva, R. E. M., Slobbe, C., Klees, R., Stapel, J., van der Heide, T., van Katwijk, M. M., Herman, P. M. J., & Bouma, T. J. (2019). Maintaining Tropical Beaches with Seagrass and Algae: A Promising Alternative to Engineering Solutions. *Bioscience*, 69(2), pp. 136–142.

Jones, C. G., Lawton, J. H., & Shachak, M. (1994). Organisms as ecosystem engineers. *Ecosystem management* pp. 130-147. Springer, New York, NY.

Kwakernaak, C., Hoeijmakers, J. J. D., Zwarts, P. A. M., Bijleveld, I. A., Holthuijsen, S., de Jong, J. D., Govers, L. L. (2023). Ragworms (*Hediste diversicolor*) limit eelgrass (*Zostera marina*) seedling settlement: Implications for seed-based restoration. Groningen Institute for Evolutionary Life Sciences

Lamb, J. B., van de Water, J. A. J. M., Bourne, D. G., Altier, C., Hein, M. Y., Fiorenza, E. A., Abu, N., Jompa, J., & Harvell, C. D. (2017). Seagrass ecosystems reduce exposure to bacterial pathogens of humans, fishes, and invertebrates. *Science*, 355(6326), pp. 731–733.

Loebl, M., van Beusekom, J. E., & Reise, K. (2006). Is spread of the neophyte *Spartina anglica* recently enhanced by increasing temperatures?. *Aquatic Ecology*, 40(3), pp. 315-324.

Lotze, H. K. (2007). Rise and fall of fishing and marine resource use in the Wadden Sea, southern North Sea. *Fisheries research*, 87(2-3), pp. 208-218.

Man in 't Veld W.A., Rosendahl, K. C., van Rijswijk, P. C., Meffert, J. P., Boer, E., Westenberg, M., van der Heide, T., & Govers, L. L. (2019). Multiple Halophytophthora spp. and Phytophthora spp. including *P. gemini*, *P. inundata* and *P. chesapeakeensis* sp. nov. isolated from the seagrass *Zostera marina* in the Northern hemisphere. *European Journal of Plant Pathology*, 153(2), pp. 341-357.

Maxwell, P. S., Eklöf, J. S., van Katwijk, M. M., O'Brien, K. R., de la Torre-Castro, M., Boström, C., Bouma, T. J., Krause-Jensen, D., Unsworth, R. K. F., van Tussenbroek, B. I., & van der Heide, T. (2017). The fundamental role of ecological feedback mechanisms for the adaptive management of seagrass ecosystems - a review. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 92(3), pp. 1521–1538.

Mtwana Nordlund, L., Koch, E. W., Barbier, E. B., & Creed, J. C. (2016). Seagrass Ecosystem Services and Their Variability across Genera and Geographical Regions. *PLoS One*, 11(10), e0163091.

Nacken, M., & Reise, K. (2000). Effects of herbivorous birds on intertidal seagrass beds in the northern Wadden Sea. *Helgoland Marine Research*, 54(2), pp. 87-94.

- Nagelkerken, I., Roberts, C. M., van der Velde, G., Dorenbosch, M., van Riel, M. C., Cocheret de la Morinière, E., & Nienhuis, P. H. (2002). How important are mangroves and seagrass beds for coral-reef fish? The nursery hypothesis tested on an island scale. *Marine Ecology Progress Series*, 244, pp. 299–305.
- Orth, R.J., Kendrick, G.A., Marion, S.R., (2006). Predation on *Posidonia australis* seeds in seagrass habitats of Rottneest Island, Western Australia: Patterns and predators. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 313, pp. 105–114.
- Philippart, C. J. (1994). Interactions between *Arenicola marina* and *Zostera noltii* on a tidal flat in the Wadden Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 111, pp. 251-257.
- Philippart, C. J. M. (1995). Effect of periphyton grazing by *Hydrobia ulvae* on the growth of *Zostera noltii* on a tidal flat in the Dutch Wadden Sea. *Marine Biology*, 122(3), pp. 431-437.
- Philippart, C. J., & Dijkema, K. S. (1995). Wax and wane of *Zostera noltii* Hornem. in the Dutch Wadden Sea. *Aquatic Botany*, 49(4), pp. 255-268.
- Philippart, C., Ballesta-Artero, I., Candy, A.S., van Leeuwen, S.M, Stocchi, P, Elschot, K., van Puijenbroek, M.E.B. (2020). Factors underlying the recovery potential of littoral seagrass in the Dutch Wadden Sea
- Polte, P., & Asmus, H. (2006)(a). Influence of seagrass beds (*Zostera noltii*) on the species composition of juvenile fishes temporarily visiting the intertidal zone of the Wadden Sea. *Journal of Sea Research*, 55(3), pp. 244-252.
- Polte, P., & Asmus, H. (2006)(b). Intertidal seagrass beds (*Zostera noltii*) as spawning grounds for transient fishes in the Wadden Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 312, pp. 235-243.
- Pringle R. M., Doak, D. F., Brody, A. K., Jocque, R., Palmer, T. M., (2010). Ruimtelijk patroon verbetert de werking van het ecosysteem in een Afrikaanse savanne. *Plos Biologie* 8: e1000377.
- Reneerkens, J., Piersma, T., & Spaans, B. (2005). De Waddenzee als kruispunt van vogeltrekwegen. *Literatuurstudie naar de kansen en bedreigingen van wadvogels in internationaal perspectief. NIOZ-report, 4.*
- Reise, K. (1985). Tidal at ecology: An experimental approach to species interactions. No. 54 in *Ecological Studies*. Springer, Berlin.
- Schutter, M., de Jong, J., & Van Deelen, J. (2020). *Zeegraskartering MWTL Waddenzee en Oosterschelde 2020.*
- Short, F. T. (1987). Effects of sediment nutrients on seagrasses: literature review and mesocosm experiment. *Aquatic Botany*, 27(1), pp. 41-57.
- Short, F. T., & Wyllie-Echeverria, S. (1996). Natural and human-induced disturbance of seagrasses. *Environmental conservation*, 23(1), pp. 17-27.
- STOWA (2018). Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de kaderrichtlijn water 2021-2027. Derde druk, rapport 2018-49
- Silliman, B. R., Schrack, E., He, Q., Cope, R., Santoni, A., van der Heide, T., Jacobi, R., Jacobi, M., & van de Koppel, J. (2015). Facilitation shifts paradigms and can amplify coastal restoration efforts. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(46), 14295–14300. <https://doi.org/10.1073/pnas.1515297112>
- Suykerbuyk, W., Bouma, T. J., Van Der Heide, T., Faust, C., Govers, L. L., Giesen, W. B., ... & Van Katwijk, M. M. (2012). Suppressing antagonistic bioengineering feedbacks doubles restoration success. *Ecological Applications*, 22(4), 1224-1231.

Suykerbuyk, W., Govers, L. L., Bouma, T. J., Giesen, W. B., de Jong, D. J., van de Voort, R., ... & van Katwijk, M. M. (2016). Unpredictability in seagrass restoration: analysing the role of positive feedback and environmental stress on *Zostera noltii* transplants. *Journal of Applied Ecology*, 53(3), pp. 774-784.

Valdemarsen, T., Canal-Vergés, P., Kristensen, E., Holmer, M., Kristiansen, M. & Flindt, M. (2010). Vulnerability of *Zostera marina* seedlings to physical stress. *Marine Ecology Progress Series*, 418, pp. 119–130.

Valle, M., Garmendia, J. M., Chust, G., Franco, J., & Borja, Á. (2015). Increasing the chance of a successful restoration of *Zostera noltii* meadows. *Aquatic Botany*, 127, pp. 12-19.

van den Berg, M., H. Coops, R. Pot, W. Altenburg, R. Nijboer, T. van den Broek, M. Fagel, G. Arts, R. Bijkerk, H. van Dam, T. Ietswaart, J. van der Molen, K. Wolfstein, D. de Jong & H. Hartholt (2004). Achtergrondrapportage referenties en maatlatten waterflora: rapportage van de expertgroepen macrofyten en fytoplankton. www.stowa.nl

van der Graaf, A.J. & J.H. Wanink (2007). Zeegras in de Waddenzee. Onderzoek naar het uitblijven van de groei van zeegras in de Waddenzee. Rapport 2007-097, Bureau Koeman en Bijkerk, Haren.

Van der Heide, T., van Nes, E. H., Geerling, G. W., Smolders, A. J., Bouma, T. J., & van Katwijk, M. M. (2007). Positive feedbacks in seagrass ecosystems: implications for success in conservation and restoration. *Ecosystems*, 10(8), pp. 1311-1322.

Van der Heide, T., van Nes, E. H., van Katwijk, M. M., Olf, H., & Smolders, A. J. (2011). Positive feedbacks in seagrass ecosystems—evidence from large-scale empirical data. *PLoS one*, 6(1), e16504.

Van der Heide, T., Eklöf, J. S., van Nes, E. H., van der Zee, E. M., Donadi, S., Weerman, E. J., ... & Eriksson, B. K. (2012). Ecosystem engineering by seagrasses interacts with grazing to shape an intertidal landscape. *PLoS ONE*.

Van der Molen, D. T., & Pot, R. (2007). Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de kaderrichtlijn water aanvullingen kleine typen.

Van der Zee, E. M., Angelini, C., Govers, L. L., Christianen, M. J., Altieri, A. H., van der Reijden, K. J., & van der Heide, T. (2016). How habitat-modifying organisms structure the food web of two coastal ecosystems. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283(1826), 20152326.

Van Duren, L., & Van Katwijk, M. M. (2005). Herstelmaatregel groot zeegras in de Nederlandse Waddenzee. *Deltares*.

Van Katwijk, M. M., Schmitz, G. H. W., Gasseling, A. P., & Van Avesaath, P. H. (1999). Effects of salinity and nutrient load and their interaction on *Zostera marina*. *Marine Ecology Progress Series*, 190, 155-165.

Van Katwijk, M. M., & Hermus, D. C. R. (2000). Effects of water dynamics on *Zostera marina*: transplantation experiments in the intertidal Dutch Wadden Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 208, pp. 107-118.

Van Katwijk, M.M. (2003). Reintroduction of eelgrass (*Zostera marina* L.) in the Dutch Wadden Sea: a research overview and management vision. In: W.J. Wolff, K. Essink, A. Kellermann & M.A. van Leeuwe (eds) Challenges to the Wadden Sea: proceedings of the 10th International Scientific Wadden Sea Symposium, Groningen, 2000. Ministry of Agriculture, Nature Management and Fisheries / University of Groningen, Dept. of Marine Biology, Haren. pp. 173-195.

Van Katwijk, M.M., Bos A.R., Hermus D.C.R. (2005). Klein zeegras en *Spartina* op het Balgzand. Een transplantatiesucces en een spontane vestiging aan het begin van de 21^e eeuw. Afdeling milieukunde, Radboud Universiteit Nijmegen.

- Van Katwijk, M. M., Bos, A. R., de Jonge, V. N., Hanssen, L. S. A. M., Hermus, D. C. R., & de Jong, D. J. (2009). Guidelines for seagrass restoration: importance of habitat selection and donor population, spreading of risks, and ecosystem engineering effects. *Marine Pollution Bulletin*, 58(2), pp. 179–188.
- Vergeer, L. H. T., & Den Hartog, C. (1991). Occurrence of wasting disease in *Zostera noltii*. *Aquatic Botany*, 40(2), pp. 155-163.
- Vermaat, J.E. & Verhagen, F.C.A., (1996). Seasonal variation in the intertidal seagrass *Zostera noltii* Hornem.: coupling demographic and physiological patterns. *Aquatic Botany*, 52, pp. 259-281.
- Wanink, J.H. & A.J. van der Graaf. (2008). Zeegras in de Waddenzee: rol in de Waddenzee en in Nederland, kansen in de toekomst en wettelijk kader. Rapport 2008-002, Bureau Koeman en Bijkerk, Haren.
- Waycott, M., Duarte, C. M., Carruthers, T. J., Orth, R. J., Dennison, W. C., Olyarnik, S., & Williams, S. L. (2009). Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *Proceedings of the national academy of sciences*, 106(30), pp. 12377-12381.
- Wielakker, D., Bak, A., & Reitsma, J.M. (2011). Herziening referenties en doelen Kaderrichtlijn Water voor Zeegras en Kwelders in K2, 02 en M32 watertypen. Bureau Waardenburg, rapport 11-196.
- Wolff, W.J. (2005). The exploitation of living resources in the Dutch Wadden Sea: a historical overview. *Helgoland Marine research* 59, pp. 31-38.
- Zipperle, A. M., Coyer, J. A., Reise, K., Stam, W. T., & Olsen, J. L. (2010). Waterfowl grazing in autumn enhances spring seedling recruitment of intertidal *Zostera noltii*. *Aquatic Botany*, 93(3), pp. 202-205.

