



# Zeegrasherstel Zee & Delta en Noord Nederland

Rapportage kennisontwikkeling Groot zee gras NN

Rijkswaterstaat

8 maart 2023



Rijkswaterstaat  
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Project Zeegrasherstel Zee & Delta en Noord Nederland  
Opdrachtgever Rijkswaterstaat

Document Rapportage kennisontwikkeling Groot zeegras NN  
Status Definitief 2  
Datum 8 maart 2023  
Referentie 129454/23-004.239

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

Auteur(s) F. Versloot, S. Weisscher, M.A.T. Marijt, 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

	<b>SAMENVATTING</b>	<b>5</b>
<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>7</b>
1.1	Achtergrond en aanleiding	7
1.2	Beleidsmatige status	8
1.3	Doel kennisrapportage Groot zeegras Noord-Nederland	8
1.4	Aanpak	9
1.5	Afbakening	9
1.6	Leeswijzer	9
<b>2</b>	<b>GROOT ZEEGRAS: ECOLOGIE EN VOORKOMEN</b>	<b>10</b>
2.1	Ecologie	10
2.2	Historisch voorkomen	12
2.3	Huidig voorkomen	13
2.4	Oorzaken afname en gebrek aan natuurlijk herstel	15
<b>3</b>	<b>GROOT ZEEGRASHERSTEL WADDENZEE</b>	<b>17</b>
3.1	Herstelprojecten in de tijd	17
3.2	Abiotische succes- en faalfactoren	23
3.3	Biotische succes- en faalfactoren	28
3.3.1	Biotische interacties met een negatief effect op de aanwas van zeegras	30
3.3.2	Biotische interacties met een positief effect op de aanwas van zeegras	33
3.3.3	Klein-groot zeegras interactie	35
3.3.4	Het effect van zeegras op de lokale biodiversiteit	37
3.4	Succes- en faalfactoren van het verzamelen en verwerken van donormateriaal	37
3.4.1	Donorlocaties & verzamelen	37
3.4.2	Verwerking donormateriaal en bewaren zaden	39
3.5	Succes- en faalfactoren van het planten en uitzaaien	41
3.5.1	Planten	41
3.5.2	Buoy-Deployment-Seeding (BuDs) en BuDs-in-frame	42
3.5.3	Dispenser Injection seeding (DIS)	43
3.5.4	Zaaidichtheid en schaal	45

3.6	Samenvatting belangrijkste succes- en faalfactoren	46
4	<b>BELANGRIJKSTE VERVOLGVRAGEN GROOT ZEEGRASHERSTEL</b>	<b>48</b>
4.1	Geschikte locaties	48
4.2	Opschaling	50
4.3	Zelfredzaamheid	50
4.4	Aanvullende vragen	51
5	<b>REFERENTIES</b>	<b>52</b>
	Laatste pagina	59

**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 CO<sub>2</sub>-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. Opeenvolgende onderzoeken hebben geleid tot de vestiging van een zelfredzaam groot zeegrasveld bij Griend (2022). Rijkswaterstaat zet de volgende stap met het grote project Zeegrasherstel Zee & Delta en Noord-Nederland, waarin naast verdere herstelwerkzaamheden ook kennisontwikkeling plaatsvindt. Het uiteindelijke doel is om grotere oppervlakken 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 groot zeegras in de Waddenzee. Deze vormt input voor het plan van aanpak voor de herstelwerkzaamheden en zal jaarlijks aangevuld worden op basis van monitoringsresultaten uit het project.

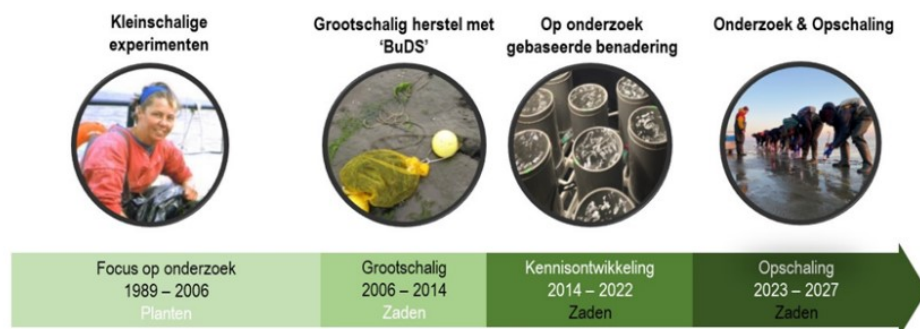
Oorspronkelijk konden we twee varianten van groot zeegras vinden in Nederland: de litorale (droogvallende) eenjarige variant en de sublitorale (ondergedoken) meerjarige variant. Waar litoraal groot zeegras in zeer lage dichtheden nog van nature voorkomt op het droogvallende wad, is de sublitorale variant helemaal verdwenen uit de Waddenzee. Sublitorale groot zeegrasvelden stierven in de jaren 1930 massaal af als gevolg van de Wierziekte, in combinatie met o.a. effecten van de aanleg van de Afsluitdijk. Verdere verslechtering in de jaren erna trad op door menselijke oorzaken als meststoffen in oppervlaktewater, baggerwerkzaamheden en aquacultuur.

De omstandigheden bleven vervolgens ongunstig, zodat er geen herstel kon plaatsvinden. Voor ondergedoken zeegras geldt dat het nog onduidelijk is of de huidige omstandigheden in Waddenzee (bijv. lichtcondities, golven en stroming, bodemberoering) geschikt zijn voor deze groeivariant. Bovendien kan deze soort zich hier niet vanzelf vestigen. De kans dat zaden van de meest nabije populaties in Denemarken, Engeland en Frankrijk de Waddenzee bereiken, is zeer klein. Natuurlijk herstel van droogvallend groot zeegras wordt eveneens beperkt door de aanwezigheid van natuurlijk donormateriaal. Vanwege een overwegend west-naar oost stroming, gaat verspreiding van dichte zeegrasvelden in de Noord-Duitse Waddenzee naar de Nederlandse Waddenzee zeer langzaam. Daarnaast lijdt droogvallend groot zeegras onder vervuiling en biotische stressfactoren.

Onderzoek naar de herintroductie van zeegras in de Waddenzee begon in de jaren 1950 en 1990 met kleinschalige experimenten met de focus op kennisontwikkeling. Vanaf 2006 kwam de focus op het verzamelen en verspreiden van groot zeegraszaad. In de loop van de jaren is een aantal sleutelfactoren gevonden voor succesvol zeegrasherstel. Zo moeten de oorzaken van habitatdegradatie beperkt worden, is de selectie van de meest geschikte locatie essentieel, is een vergelijkbare donorlocatie nodig om de herstellocatie te voorzien van zaad en moet het onderzoek op verschillende locaties plaatsvinden omdat het nog steeds lastig is om van tevoren te beoordelen waar het zal aanslaan en waar niet.

Afbeelding: Tijdlijn fases in zeegrasherstel in de Waddenzee (Bron: Van Katwijk et al., 1999, 2000, 2004, 2009, etc., Floor et al., 2018, Govers et al., 2022, Gräfnings et al., in prep.)

## TIJDLIJN ZEEGRASHERSTEL



In dit State-of-the-art kennisdocument brengen we succes- en faalfactoren voor groot zeegrasherstel in kaart. Als we kijken naar *abiotische* factoren, is duidelijk geworden dat droogvallend groot zeegras bijvoorbeeld baat heeft bij een goede waterkwaliteit met een beperkte hoeveelheid meststoffen, om competitie met algen te voorkomen. Beschutte locaties met weinig golfwerking zijn optimaal voor kiem en groei. Daarnaast hebben grote dichte velden met hoge scheut- of plantdichtheid de voorkeur als het gaat om zeegrasgroei en -herstel. Sediment kan aan de randen afgevangen worden, zodat het centrale gedeelte van het veld meer water vast kan houden en zo uitdroging bij laagwater kan voorkomen.

*Biotische* faalfactoren voor herstel van droogvallend groot zeegras zijn onder meer waterschimmels (*Phytophthora* spp.) en zeeduizendpoten die kiemende zaden eten. Daarnaast vormen ook wadpieren, krabben, macroalgen en epifyten een bedreiging. Onder de biotische succesfactoren vallen bijvoorbeeld wadslakjes, die juist grazen op epifyten.

*Methodologisch* gezien bleek het verplaatsen van hele planten uit donorpopulaties geen duurzame oplossing voor grootschalig droogvallend zeegrasherstel. Voor een grotere kans op succes is daarom de keuze gemaakt om in het vervolg gebruik te maken van het vele zaad dat eenjarige planten produceren. In eerste instantie werd de Buoy-Deployed-Seeding-methode (BuDs) gebruikt om zaden passief in het gebied te kunnen verspreiden. In de Waddenzee werd deze methode echter niet geschikt bevonden, omdat er sprake was van een hoog percentage zaadverlies. De Dispenser Injection Seeding-methode, de 'kitspuitmethode' waarbij een mengsel van sediment en zeegraszaad op de gewenste locatie in de bodem gespoten wordt, liet een forse verbetering van herstelresultaten zien. Ook deze methode heeft tekortkomingen, maar staat nog in de kinderschoenen. Recente aanpassingen laten veelbelovende resultaten zien (2018-2022).

De komende jaren zal intensief groot zeegrasherstel worden uitgevoerd, waarbij locaties en methodiek geoptimaliseerd worden d.m.v. kennisontwikkeling en opschaling. Zo kunnen we de beste herstelresultaten bereiken.

# 1

## INLEIDING

### 1.1 Achtergrond en aanleiding

Zeegrasvelden zijn van groot belang voor de gezondheid van kustecosystemen. Tot de jaren 1930 stond er in de Waddenzee honderden hectaren litoraal zeegras en duizenden hectares sublitoraal zeegras (Den Hartog & Polderman, 1975; Wijgergangs & De Jong, 1999). Door de bouw van de Afsluitdijk en een uitbraak van de 'wierziekte' (*Labyrinthula zosterae*) nam het zeegras echter sterk af en keerde het niet op een natuurlijke manier terug. 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 overbevising (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 ecosysteemdiensten genoemd (Lamb *et al.*, 2017; Mtwana Nordlund *et al.*, 2016). Vanwege het belang van zeegras en zijn ecosysteemdiensten, zijn er al sinds 1990 herstelproeven in de Waddenzee uitgevoerd, waarvan de eerste proef in 1950 door Prof. Den Hartog. 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, wel 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 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 herstelllocatie 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 om van tevoren te beoordelen welke locaties zullen aanslaan en welke niet (van Katwijk *et al.*, 2009). In de periode vanaf 2006 heeft een aantal van die lessen geleid tot grotere projecten (2011-2014), die ook niet leidden tot duurzaam herstel. Het bleek niet eenvoudig om zeegrasvelden te herstellen. In deze periode bleek dat er nog onvoldoende kennis was om te kunnen opschalen (Van Duren & Van Katwijk, 2005). In de periode 2015-2022 hebben drie opeenvolgende projecten zich daarom weer gericht op kennisontwikkeling (Govers *et al.*, 2022, 2016). Uiteindelijk hebben deze geleid tot de vestiging van een zelfredzame populatie groot zeegras bij Griend (2022).

Rijkswaterstaat (RWS) heeft in 2021 het initiatief voor herstel van zeegrasvelden op zich genomen. 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 genomen om het proces van herstel op te gaan schalen, zodat er mogelijk een groter oppervlak aan zeegrasvelden gaat komen en daarmee de ecologische kwaliteit van de gebieden naar de toekomst toe zal verbeteren.

Het uiteindelijke doel van RWS is om zeegras zodanig terug te brengen dat het areaal zichzelf in stand kan houden. Hiervoor zullen in de komende jaren intensieve herplantingen worden uitgevoerd. Daarnaast is het mogelijk dat – al dan niet als bijeffect van dit project – er ook meer autonoom herstel zal gaan plaatsvinden. 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 Groot zeegras Noord-Nederland

Het voorliggende deelproject heeft tot doel om een kennisrapportage op te stellen over de succes- en faalfactoren van herstelprojecten. Dit project is een onderdeel van het grotere project Zeegrasherstel Zee & Delta en Noord-Nederland (2022 – 2027). Binnen het grotere project vinden herstelwerkzaamheden plaats evenals kennisontwikkeling door middel van monitoring en het verzamelen van opgedane kennis uit eerdere zeegrasprojecten. De rapportage kennisontwikkeling groot zeegras Noord-Nederland (NN) gaat in op de opgedane kennis uit eerdere zeegrasprojecten omtrent het herstel van groot zeegras in de Waddenzee. De beschikbare kennis die wordt beschreven is van belang voor het succesvol terugbrengen van Groot zeegras binnen de Waddenzee. Deze kennis zal jaarlijks worden aangevuld met monitoringresultaten vanuit het project. De rapportage kennisontwikkeling zal jaarlijks als input dienen voor een gedetailleerde 'Plan van



Aanpak' voor zeegrasherstel werkzaamheden voor het daaropvolgende seizoen/jaar. Hiermee komt tot stand dat 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. groot zeegras Noord-Nederland. Dit document dient als startpunt voor de komende jaren. Vervolgens komt er jaarlijks een monitoringsrapport met data uit het voorgaande veldseizoen/jaar. Aan het eind van het project worden alle beschikbare data samengevoegd en volgt er een integraal eindrapport met alle opgedane kennis uit voorgaande jaren.

Voor deze eerste rapportage Kennisontwikkeling groot 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 groot zeegras met lopende onderzoeks- monitoringsdata (vanaf 2023).

Gedurende de looptijd van dit project worden de volgende kennisdocumenten opgesteld voor groot en klein zeegras:

1. bij aanvang van het project: basisdocument rapportage State-of-the-art kennisdocument (2022 / begin 2023);
2. jaarlijks: jaarlijkse rapportage kennisontwikkeling groot 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 groot zeegras (*Zostera marina*) binnen de Waddenzee (incl. Eems-Dollard). Hierin zal relevante kennis worden opgenomen die benodigd is voor het verder opschalen van zeegrasherstel bij Griend en het verkennen van nieuwe locaties voor zeegrasherstel in de Waddenzee. Voor de ontwikkeling van klein zeegras in de Waddenzee worden opzichzelfstaande kennisdocumenten opgesteld.

## 1.6 Leeswijzer

Het rapport is als volgt opgebouwd: in hoofdstuk 2 wordt kort de ecologie van groot zeegras beschreven, gevolgd door het historisch 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 groot 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 groot zeegrasherstel.

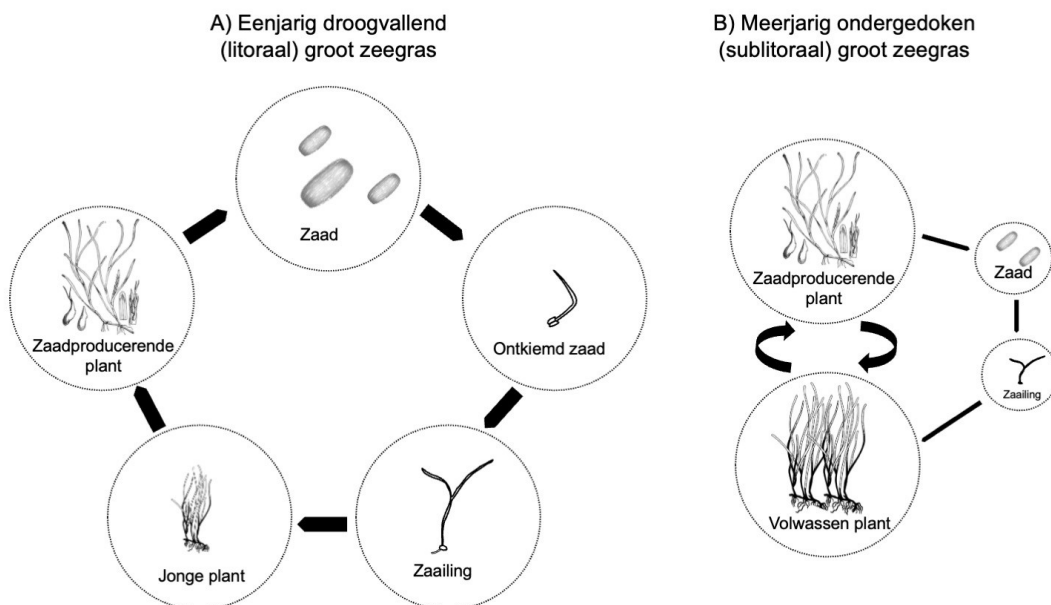
# 2

## GROOT ZEEGRAS: ECOLOGIE EN VOORKOMEN

### 2.1 Ecologie

Groot zee gras (*Zostera marina*) kent oorspronkelijk twee groeivormen in Nederland: een litorale (droogvallende) éénjarige variant en een sublitorale (ondergedoken) meerjarige variant (van Katwijk *et al.*, 1998). De meerjarige, ondergedoken variant is geheel uit de Waddenzee verdwenen sinds 1930. Deze variant onderscheidt zich door zijn robuuste groeivorm met brede bladeren die tot wel een meter lang kunnen worden. Deze variant is nog te vinden in de Deense fjorden en langs de Zuid-Engelse en Bretonse kust (Coward *et al.*, 2015; Kuusemäe *et al.*, 2016). De eenjarige variant van groot zee gras komt nog wél voor op het droogvallende wad en is voor haar voortplanting en verspreiding compleet afhankelijk van zaden (van Lent & Verschuure, 1994). Elk jaar in mei/juni komen deze planten opnieuw op uit zaad en doorlopen een razendsnelle levenscyclus. Binnen 3-4 maanden groeien ze uit van kwetsbare zaailing tot volwassen, zaadproducerende plant. Deze groeivorm investeert amper in de productie van wortelstokken en wortels, want hij moet alleen de rustige zomerperiode te overleven en hoeft geen reservestoffen op te slaan voor de winter (van Katwijk *et al.*, 1998). De geproduceerde zaden overleven de winter in de bodem. Een deel van deze zaden kiemt vervolgens weer voor een herhaling van de éénjarige groeicyclus. Eenjarig groot zee gras groeit tussen de hoog- en laagwaterlijn (0 m - +0.3 m NAP) (van Katwijk *et al.*, 2000).

Afbeelding 2.1 De levenscyclus van a) eenjarig droogvallend groot zee gras en B) meerjarig ondergedoken groot zee gras\*



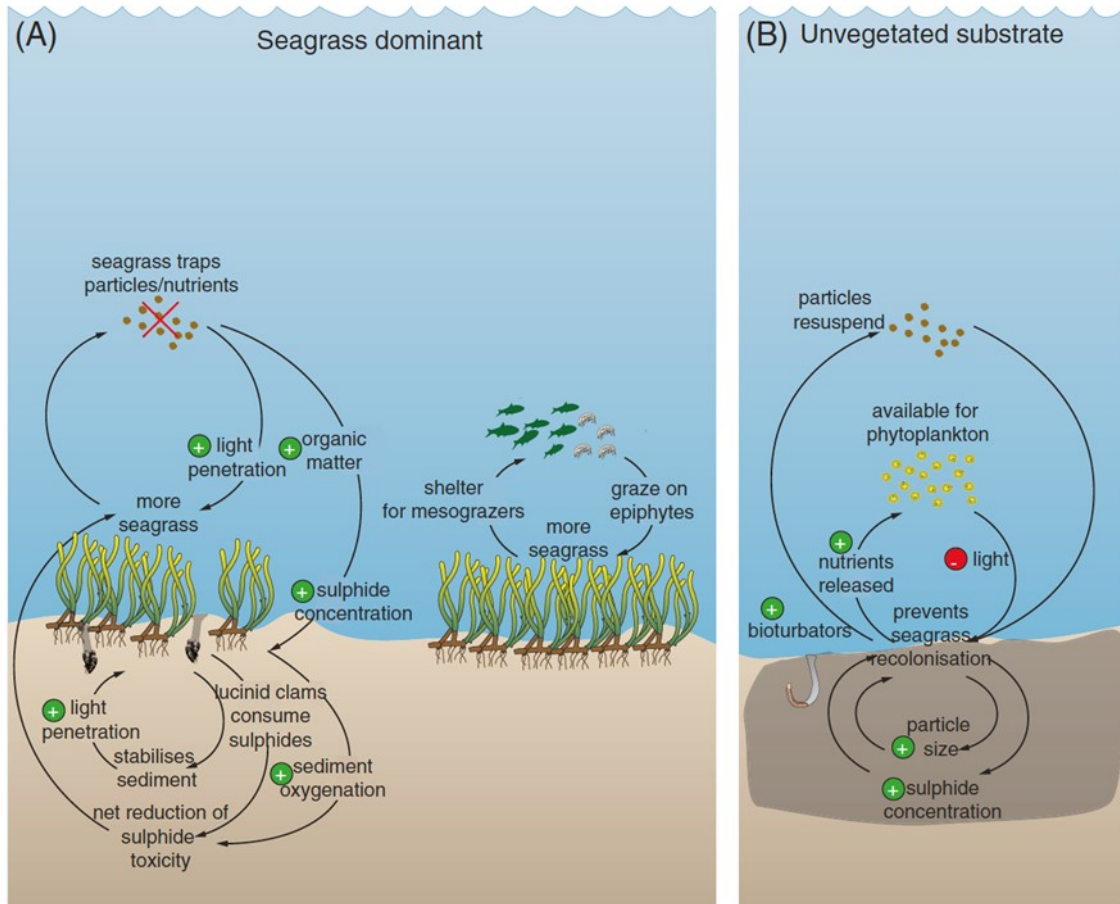
\* Eenjarig groot zee gras doorloopt elk jaar de hele levenscyclus (A), terwijl meerjarig groot zee grasvelden vooral bestaan uit volwassen planten die soms bloeien (niet jaarlijks). Populatie-aanwas vanuit zaad vindt onregelmatig plaats en deze velden bereiden zich vooral uit d.m.v. wortelstokken.

Meerjarig groot zeegras heeft een andere manier van voortplanting en verspreiding. Het groeit vanaf de laagwaterlijn en dieper (sublitoraal), waardoor het zelden droogvalt tijdens laagwater. Groot zeegras plant zich voornamelijk voort via de groei van wortelstokken. Zeegrasvelden onder stress (bijv. droogte) vormen daarop een uitzondering: deze planten zich voort middels zaadverspreiding. Meerjarig groot zeegras heeft een levensspanne van 1-50 jaar en plant zich voort in mei tot en met september, afhankelijk van de locatie.

Zeegrassen modificeren 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 ecosysteemdiensten die zeegrasvelden leveren (Barbier *et al.*, 2011). Veel van deze diensten dragen bij aan de levenskwaliteit van de miljarden mensen die wereldwijd in kustgebieden wonen. Zowel litorale als sublitorale zeegrasvelden helpen bijvoorbeeld bij 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). Aangespoeld zeegrasblad kan tevens tegen de erosie van stranden beschermen (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 en vormen ze een voedselbron voor veel diersoorten, waaronder bedreigde zeehoeven en zeeschildpadden (van der Zee *et al.*, 2016). Zeegrasvelden staan niet op zichzelf, maar vormen een onmisbare schakel door de uitwisseling van dieren, voedingsstoffen en koolstof met andere kustecosystemen. De impact van de ecosysteemdiensten varieert per soort zeegras en is afhankelijk van de dichtheid van het zeegrasbed.

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



\* (A) voorbeelden van terugkoppelmecanismen 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

Sublitorale zeegrasvelden besloegen tot 1932 tussen de 8.000 en 15.000 ha in het gebied tussen de westelijke Waddenzee en de Zuiderzee (afbeelding 2.3). Sublitoraal groot zeegras werd op grote schaal geoogst en werd gebruikt als bouw materiaal voor (wier)dijken en als vulmateriaal voor matrassen en kussens. Ondanks de grootschalige oogst bleven de zeegrasvelden bestaan. Vanaf 1932 stierf het sublitorale zeegras echter binnen een jaar volledig af en kwam het niet meer natuurlijk terug. Litoraal groot zeegras toonde fluctuaties in aantallen tussen 1932 en 1965. Vanaf 1965 begon ook litoraal groot zeegras snel af te nemen en in 2000 kwam het bijna niet meer voor in de Waddenzee (Den Hartog, 1994; Den Hartog & Polderman, 1975).

De Waddenzee is een dynamisch gebied dat pas in het begin van de 14e eeuw zijn huidige vorm heeft aangenomen. De eerste overlevering van het voorkomen van zeegras in de Nederlandse Waddenzee stamt uit 1782 (Martinet, 1782). In die rapportage wordt het voorkomen van groot zeegras (*Z. marina*) genoemd bij Breehorn, een zandplaat ten noorden van het eiland Wieringen en bij Kolhorn, een voormalig Zuiderzeedorp dat tegenwoordig midden in het Noord-Hollandse polderlandschap ligt. In de 19e en begin 20e eeuw werden gedetailleerde zeegraskaarten gemaakt vanwege de commerciële waarde die zeegras in die tijd had. Deze kaarten werden voornamelijk op lokale schaal gemaakt en zijn nu niet meer beschikbaar. De 'wierindustrie' floreerde. Bladeren van groot zeegras werden geoogst, gedroogd en verwerkt in matrassen, kussens, wierdijken en plafondbisolatie.

Zeegras was een belangrijke inkomstenbron voor veel bewoners van het eiland Wieringen (nu het stuk van Noord-Holland waar de afsluitdijk aan land komt). Vanaf 1870 werden zeegrasvelden geïnventariseerd in de westelijke Waddenzee, tussen Texel en Griend. Deze zeegrasvelden betroffen voornamelijk ondergedoken, meerjarige groot zeegrasvelden. Alleen de robuuste meerjarige zeegrasvelden produceerden de brede, lange bladeren die interessant waren voor de wiuvisserij. Ook werd er melding gemaakt van litoraal groot en klein zeegrasvelden in de oostelijke Waddenzee, bij Ameland, Schiermonnikoog en Rottum. Opvallend is dat zeegras tot ver in de Zuiderzee voorkwam, tot in Marken aan de Hollandse kant en tot de zuidelijke grens van het Gaasterland aan de Friese kant. In 1919 (Van Goor, 1919) werd de oppervlakte van zeegrasvelden in de westelijke Waddenzee én de Zuiderzee geschat op ongeveer 15.000 ha. Variaties in oppervlakteschattingen, variërend van 6.500 ha in 1870 (Oudemans, 1870) tot 10.000 ha in 1930 (Reigerman *et al.*, 1939), illustreren mogelijke fluctuaties in het totale zeegrasareaal van jaar tot jaar in de Waddenzee en Zuiderzee samen.

Na het verdwijnen van sublitoraal groot zeegras was er op de droogvallende wadplaten nog wel litoraal groot en klein zeegras aanwezig in de Nederlandse Waddenzee. Deze verspreiding liep van de wadplaten van het Balgzand in de kop van Noord-Holland, de platen onder de eilanden, van Texel tot Schiermonnikoog, de landaanwinningsvakken langs de Groninger vaste landskust tot op de plaat de Hond in de Eemsmonding. Er waren velden met alleen groot zeegras (Texel, Balgzand, Terschelling, Lauwersoog, Schiermonnikoog, de Hond), alleen klein zeegras (Balgzand, Eijerlandse gat, Schiermonnikoog, Schildknoopen) en velden waar beide soorten gemengd voorkwamen (Vlieland, Terschelling, Groninger kust) (Polderman and den Hartog, 1975). Over de historische verspreiding van litoraal zeegras is veel minder bekend dan over de historische verspreiding van sublitoraal zeegras.

Afbeelding 2.3 Voorkomen van ondergedoken groot zeegras (groen) in de Westelijke Nederlandse Waddenzee in 1925 (Bron: Polderman & Den Hartog 1975 kaart: [topotijdreis.nl](http://topotijdreis.nl))



## 2.3 Huidig voorkomen

Momenteel komt er alleen nog droogvallend zeegras (*Zostera marina* & *Zostera noltii*) voor in de Nederlandse Waddenzee, in zeer lage dichtheden (afbeelding 2.4). Er komt in totaal slechts ~200 ha zeegras voor (mix van beide soorten), waarvan slechts 11.4 ha een bedekking heeft van 5-20 %. De rest van het areaal heeft <5 % en grotendeels zelfs maar <1 % bedekking (Dolch *et al.*, 2017; Gräfnings *et al.*, 2023; Schutter *et al.*, 2020).

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. Groot zeegras wordt gevonden op Balgzand, Griend (sinds 2018), Eilander Balg, Rottum, Gasstation/Noordpolderzijl en Hond Paap (Schutter *et al.*, 2020).

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)\*

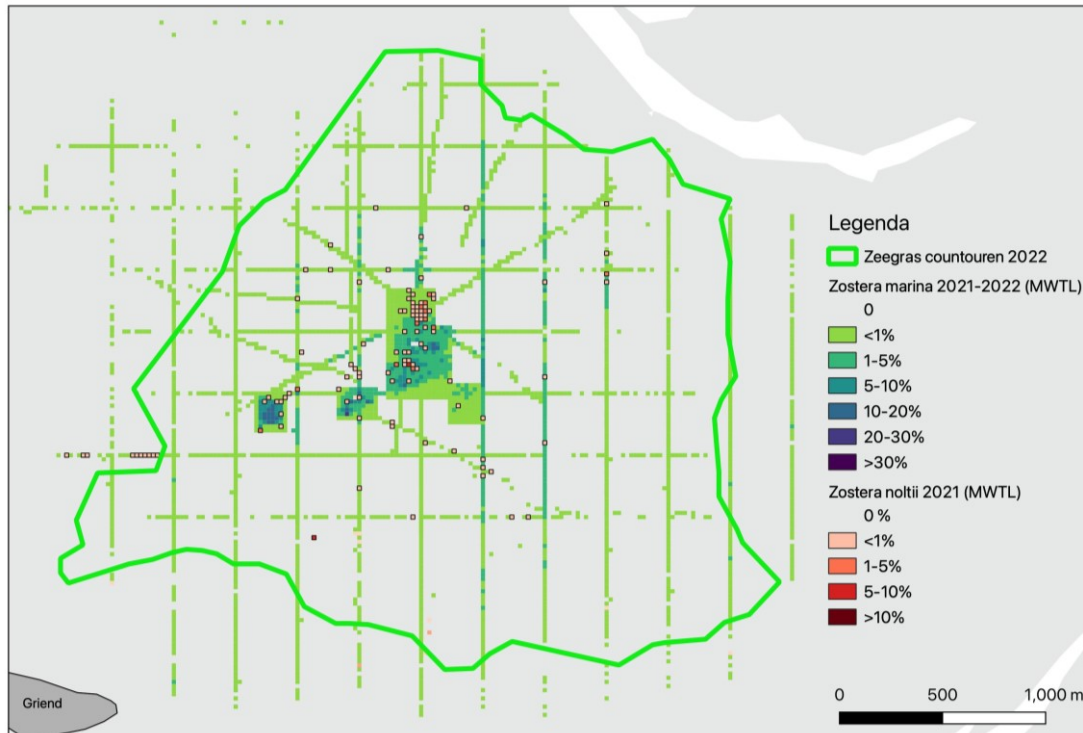


\* In blauw staat klein zeegras weergegeven, in groen groot zeegras. De kleur geeft de populatiebedekking in percentage aan.

Het zeegrasareaal in de Waddenzee lijkt de laatste jaren te zijn gestabiliseerd na jaren van achteruitgang (van Katwijk *et al.*, 2010). Dit is echter niet met zekerheid te zeggen vanwege de weinig frequente monitoring (eens per 3 jaar) sinds 2011. Langjarige trends zijn moeilijker te duiden vanwege natuurlijke verschillen tussen jaren.

Ten noordoosten van Griend zijn in 2014 voor het eerst een paar kleine patches klein zeegras ontdekt en in 2017 is er ook litoraal *Ruppia maritima* (snavelruppia) aangetroffen tussen deze patches. Als gevolg van deze ontdekking is er in 2018 voor het eerst groot zeegras gezaaid in dit gebied (afbeelding 2.5). Dit veld heeft zich, o.a. door jaarlijkse zaaiwerkzaamheden en interne zaadproductie inmiddels uitgebreid tot meer dan 650 ha (afbeelding 2.5). De dichtheid van dit grotere veld is nog laag (<5 %), maar inmiddels is er >10 ha (zeer conservatieve schatting als gevolg van beperkingen meetmethode) met een bedekking >5 %. Deze dichtheid neemt zeer snel toe (Pers. Obs.).

Afbeelding 2.5 Voorkomen van zeegras in de Grienderwaard ten noordoosten van het eiland Griend\*



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

## 2.4 Oorzaken afname en gebrek aan natuurlijk herstel

Vroeg in de jaren 1930 werden de ondergedoken (sublitoraal) groot zeegrasvelden van de Waddenzee zwaar getroffen door de zogenaamde 'wierziekte'. De ziekteverwekker *Labyrinthula zosterae* (den Hartog, 1987; Short, 1987) veroorzaakt zwarte vlekken en weefselrot van groot zeegrasbladeren. Dit leidde tot het massaal afsterven van groot zeegras planten (Sullivan *et al.*, 2017) in het hele noordelijke deel van de Atlantische oceaan (Sullivan *et al.*, 2013), inclusief de Waddenzee. De uitbraak van deze ziekte stond echter niet op zichzelf in de Waddenzee. Rond de uitbraak van de wierziekte was ook de bouw van de Afsluitdijk in volle gang. Dit zorgde voor veel extra zwevend zand en slib in het water waardoor de Waddenzee troebeler werd. Toevallig waren er in zowel 1931 als 1932 relatief weinig zonuren (Giesen, van Katwijk & den Hartog, 1990). Mogelijk door de weinig zonuren (niet geheel bewezen) en de vertroebeling van de waterkolom, kon minder licht de ondergedoken zeegrassen bereiken. Hierdoor verzwakten ze en konden ze gevoeliger worden voor de ziekteverwekker *Labyrinthula* – die veelal van nature aanwezig is (Giesen, 1990; Giesen, van Katwijk & den Hartog, 1990). Deze combinatie van factoren is waarschijnlijk de oorzaak geweest van het verdwijnen van ondergedoken zeegras aan de Waddenzee-kant van de Afsluitdijk. De ondergedoken zeegrassen die na de voltooiing van de Afsluitdijk aan de IJsselmeerkant (voormalige Zuiderzee) stonden, verdwenen als gevolg van verzoeting (Polderman & den Hartog, 1975). Ook de litorale velden gingen achteruit, waarbij de zeegrasvelden van Texel, Vlieland, Ameland en Schiermonnikoog zelfs compleet verdwenen (den Hartog, 1952).

De teloorgang die na de jaren '30 doorging, kan waarschijnlijk worden toegeschreven aan verschillende factoren: de toegenomen sedimentdynamiek in de Westelijke Waddenzee als gevolg van de aanleg van de afsluitdijk (Wang *et al.*, 2012) en sedimentomwoeling (bioturbatie) door toegenomen aantallen wadpieren (Philippart and Dijkema, 1995; Eriksson *et al.*, 2010). Daarnaast was de hoeveelheid meststoffen (stikstof en fosfor) in het Waddenzee-water in de jaren 1960-1970 vijf keer zo hoog als in 1930 (van Beusekom, 2005).

Dit leidde met name tot een grote toename van de hoeveelheden zeewieren (macroalgen) die in de Waddenzee ronddreeven. Deze wieren konden, in tegenstelling tot zeegrassen, goed omgaan met veel voedingsstoffen. Ze groeiden snel en in groten getale. Hele litorale zeegrasvelden raakten bedekt met zeesla, darmwier en knoopwier. Zeegrasplanten stikten onder deze matten en gingen dood voordat ze zaden konden produceren (van Katwijk *et al.*, 2010).

Na het verdwijnen van het sublitoraal zeegras bleven de condities in de westelijke Waddenzee ongunstig voor de vestiging en ontwikkeling van nieuw sublitoraal zeegras. Deze ongunstige condities zijn grotendeels toe te schrijven aan een vijftal factoren:

- 1 een gebrek aan donormateriaal oftewel zaden;
- 2 de troebele waterkolom;
- 3 de bodemberoerende visserij;( Duarte *et al.* 2004; Rodriguez & Cabrera 2005);
- 4 baggerwerkzaamheden (Sabot *et al.* 2005; Erftemijer & Lewis 2006);
- 5 bodemleven dat de bodem omwoelt (bioturbatie).

Voor de sterfte van litoraal groot zeegras vanaf 1965 wordt vervuiling als een van de belangrijkste oorzaken bestempeld (Den Hartog & Polderman, 1975). Het silt dat vanuit de Rijn via het Marsdiep de Waddenzee in stroomde, was zwaar vervuild met zware metalen, pesticiden, PCB's en reinigingsmiddelen. In het Noordelijke deel van de Waddenzee (Schleswig-Holstein en Denemarken) heeft passieve restauratie door middel van verbeterde waterkwaliteit geleid tot herstel van zeegrasvelden in het intergetijdengebied (Reise & Kohlus, 2008). Hoewel een vergelijkbare verbetering van waterkwaliteit plaatsvond in het zuidelijke deel van de Waddenzee, heeft dit in Nederland niet geleid tot herstel van de litorale velden (Dolch *et al.*, 2017). Dit heeft ook te maken met het feit dat sublitoraal groot zeegras zich hier niet vanzelf kan vestigen; de meest nabije populaties van deze variant bevinden zich in Noord-Denemarken, Zuid-Engeland en Bretagne (Frankrijk) en de kans dat zaden van deze populaties de Waddenzee bereiken is zeer klein. Natuurlijk herstel van litoraal groot zeegras wordt eveneens beperkt door de afwezigheid van natuurlijk donormateriaal. Ook al zijn er dichte zeegrasvelden in de Noord-Duitse Waddenzee, vanwege een overwegend west-naar oost stroming gaat verspreiding richting de Nederlandse Waddenzee zeer langzaam.



# 3

## GROOT ZEEGRASHERSTEL WADDENZEE

In dit hoofdstuk geven we eerst een overzicht van alle uitgevoerde zeegrasherstelprojecten tot op heden in de Nederlandse Waddenzee. Daarbij geven we op hoofdlijnen een chronologisch overzicht van de verschillende projecten en de bijbehorende resultaten, succes- en faalfactoren. In het tweede deel van dit hoofdstuk gaan we dieper in op de succes- en faalfactoren wat betreft abiotiek, biotiek en methodiek.

### 3.1 Herstelprojecten in de tijd

Na een kort onderzoek om zeegras te herintroduceren in de Waddenzee in de jaren 1950 (Den Hartog, pers. comm.), is het onderzoek naar zeegrasherstel op stoom gekomen in de jaren 1990 (afbeelding 3.1) (van Katwijk *et al.*, 2009).

Afbeelding 3.1 Tijdljn fases in zeegrasherstel in de Waddenzee (Bron: Van Katwijk *et al.*, 1999, 2000, 2004, 2009, etc., Floor *et al.*, 2018, Govers *et al.*, 2022, Gräfnings *et al.*, in prep.)

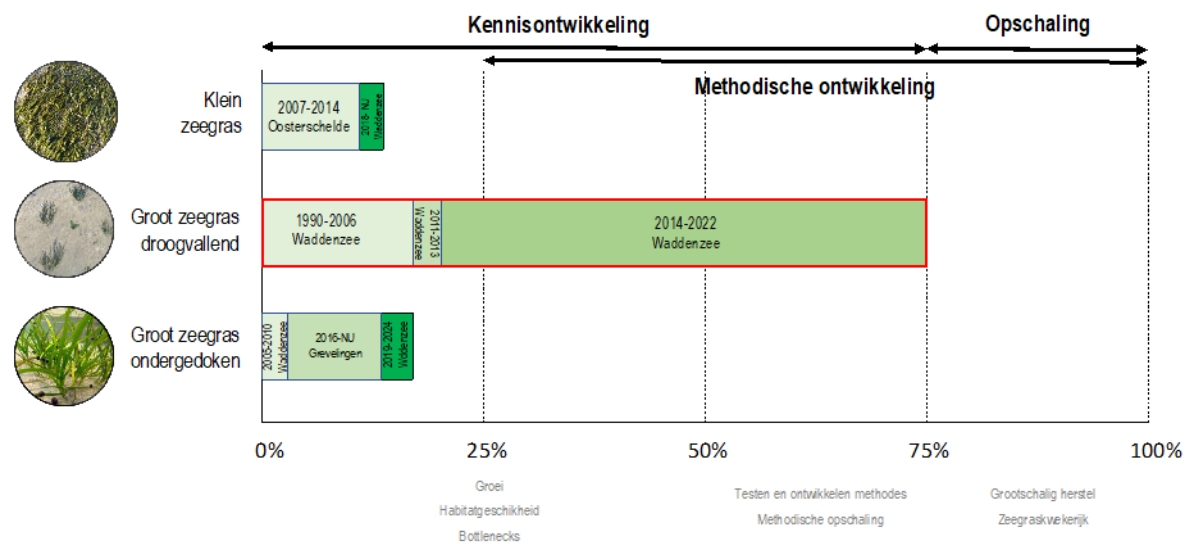


Bij de kleinschalige experimenten tussen 1991 en 2004 (Van Katwijk & Schmitz, 1992) lag de focus op kennisontwikkeling. In de experimenten werden levende zeegrasplanten op verschillende plaatsen met bijvoorbeeld verschillende lichtinval geplaatst. Vanaf 2006 kwam de focus in verdere onderzoeken te liggen op het verzamelen en verspreiden van groot zeegraszaad. Tussen 2011 en 2014 werden zaden in de Waddenzee via het zogenaamde BuDS (Buoy-Deployed Seeding) (Pickerell *et al.*, 2006; Van Duren & Van Katwijk, 2005) systeem verspreid. Hierbij worden zaaddragende plantenscheuten in zakken met gaatjes (aardappelzakken) gedaan, die vervolgens aan boeien worden geknoopt. Die boeien zitten aan touwen en gaan drijven met hoogwater.

Wanneer de zaden rijpen vallen ze vervolgens door de gaatjes in de zakken naar beneden en tijdens hoogwater komen de zakken+boeien in beweging door de waterbeweging. Hierdoor worden zaden in de hele radius van het touw 'uitgezaaid'. Helaas bleek het BuDS systeem weinig succesvol in de Waddenzee, waarschijnlijk door te veel uitspoeling van zaden (Govers *et al.*, 2022).

Tussen 2014 en 2022 kwam er meer nadruk op kennisontwikkeling om minder zaadverlies en grotere dichtheden van zeegras te bewerkstelligen. Onderzoek toonde aan dat veel zaden besmet waren met een *Phytophthora* ziekte (Govers *et al.*, 2016). Om deze ziekte te bestrijden, werden zaden behandeld met koper, wat de infectie met 90 % verminderde (Govers *et al.*, 2017). Tevens werd een nieuwe methode ontwikkeld om de zaden te verspreiden op het wad met een substantieel kleiner zaadverlies. Deze methode, afgekort als DIS (Dispenser Injection Seeding), maakt gebruik van een kitspuit waarin zaden met een modderspecie in het wad worden gespoot (Govers *et al.*, 2022). Deze methode is met name effectief op locaties met weinig sedimentmobiliteit en weinig bodemleven dat de kiemende zaden opeet (bijv. wadpieren en zeeduizendpoten). Deze methode is inmiddels ook succesvol gebleken voor klein zeegras (*Z. noltii*, zie *Kennisrapportage Klein zeegras NN*). De ontwikkeling van de DIS-methode heeft ervoor gezorgd dat we inmiddels een schaalbare methode hebben voor groot zeegrasherstel. Inmiddels staan we voor groot zeegrasherstel aan de lat voor opschaling en uitbereiding op andere kansrijke locaties. Qua klein zeegras en ondergedoken (sublitoraal) groot zeegras staat zeegrasherstel echter nog in de kinderschoenen en zijn eerst kennis- en methodische ontwikkelingen nodig voordat er kan worden opgeschaald (afbeelding 3.2).

Afbeelding 3.2 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 onderstaande tabel (tabel 3.1) is een overzicht weergegeven van alle uitgevoerde en nog lopende zeegrasherstelprojecten in Nederland. Voor elk project zijn de periodes, zeegrassoorten, locaties, resultaten en leerpunten benoemd. Daarnaast is ook benoemd door welke partijen de projecten zijn uitgevoerd en gefinancierd.

Tabel 3.1 Overzicht van zeegrasherstelprojecten in Nederland sinds 1950

Tijdljn	Soort	Locatie	Project-Referentie
1950	Zostera marina sublitoraal (plant)	Waddenzee	Prof. C. Den Hartog, geen duidelijke referentie
1991-2004	Zostera marina litoraal (plant) Zostera noltii litoraal (plant)	Waddenzee	Radboud Universiteit/RWS/Ministerie LNV Dr. M. Van Katwijk et al., 1999, 2000, 2004, 2009
2007-2014	Zostera noltii litoraal (plant)  Zeegras verplaatst: 2.782 m <sup>2</sup>	Oosterschelde  5 mitigatielocaties: Krabbenkreek Noord, Roelshoek, Dortsman, Krabbenkreek Zuid en Viane Oost	<b>Zeegrasmitigatie Oosterschelde</b> Projectbureau Zeeweringen/Radboud Universiteit/NIOZ/Provincie Zeeland/RWS Doel: zeegrasmitigatie – succesvol verplaatsen van klein zeegras in de knel door dijkwerkzaamheden Resultaat: Grote uitzaaiing op locatie Roelshoek (2.600 m <sup>2</sup> in 2013), geen handhaving op andere locaties. Leerpunten: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Wadpieren zijn negatief en zijn uit te sluiten d.m.v. aanbrengen schelpenlaag. Wadpiedichtheden &gt;25 m<sup>-2</sup> worden gezien als schadelijk voor klein zeegras</li> <li>- Grotere plots (9x 2.25 m<sup>2</sup>) doen het aanvankelijk beter dan kleinere plots (5x 2.25 m<sup>2</sup>)</li> <li>- Macroalgen werken negatief (verstikkend) op klein zeegras</li> <li>- Zetmeel in de wortelstokken is een indicator voor transplantatiesucces</li> <li>- Een laagje water op klein zeegras werkt positief voor het transplantatiesucces</li> <li>- Locaties met teveel sedimentmobiliteit (&gt;3 cm per jaar) zijn negatief voor klein zeegras, evenals extreme dynamiek</li> <li>- Aanplant is het meest succesvol in mei/begin juni</li> <li>- Min. 10 % bedekking van donor patches/cores</li> <li>- Aanplant van losse planten was niet succesvol (zodes wel)</li> </ul> Giesen et al., 2014, Suykerbuyk et al., 2012, 2015, 2016

Tijdlijn	Soort	Locatie	Project-Referentie
2011-2013	Zostera marina litoraal (zaad)  Areaal ingezaaid: 60.000 m <sup>2</sup>	Waddenzee  Locaties: Texel Balgzand Schiermonnikoog Uithuizen	<b>Herstelmaatregel groot zeegras in de Nederlandse Waddenzee</b> RWS/Deltares/Ecoscience/Waddenvereniging/the Fieldwork Company  Doel: introduceren van donorzaad voor groot zeegrasherstel, testen haalbaarheid KRW doelstellingen (advies: handhaven)  Resultaat: initieel groot zeegras over >300 ha verspreid, lage dichtheden (<1 %) en de planten zijn binnen 1-2 jaar verdwenen. Geen successen (ook niet 1 <sup>e</sup> jaar na zaaien) op Texel  Leerpunten: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bij bedekkingspercentages minder dan 5 % is de kans op voortbestaan zeegrasveld relatief klein door pollenlimitatie</li> <li>- Phytophthora leidt mogelijk tot verminderde kiemkracht, waardoor meer zaad nodig is om de gewenste dichtheid te bereiken</li> <li>- Herstelmethode o.b.v. zeegraszaad staat werken op grotere schaal toe</li> <li>- Uitgevoerde zaaiacties niet grootschalig genoeg om jaren met slechte rekrutering op te vangen</li> <li>- Bij tussentijdse communicatie naar het publiek sterker rekening houden met kwetsbaarheid van initieel succes</li> </ul> Van Duren & Van Katwijk 2015
2014-2017	Zostera marina litoraal (zaad)  Uitgezaaid areaal: 40.640 m <sup>2</sup>	Waddenzee  Texel Balgzand Schiermonnikoog Uithuizen	Zeegras: Herstel van een biobouwer I & II Herstelproeven - Natuurmonumenten/tFC/Radboud Universiteit/RUG/A&W Gefinancierd door het Waddenfonds  Doel: Verdere herstelproeven t.b.v. litoraal groot zeegrasherstel in de Waddenzee.  Resultaat: Geen duurzame gevestigde populaties, wel een nieuwe bruikbare methode (Kitspuitmethode) en zaadbehandeling/bewaarmethodes  Leerpunten: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verbetering van zaadverliezen: binnen bewaren, behandelen tegen Phytophthora infectie</li> <li>- Nieuwe uitzaaimethode (DIS) levert 100x hogere plantdichtheden op</li> </ul> Govers et al., 2022
2016-2020	Zostera marina litoraal (zaad)	Waddenzee	MERCES EU, aanvullende financiering bij de lopende Waddenzee projecten Radboud Universiteit/RUG/tFC Ondersteunend bij projecten Zeegras: herstel van een biobouwer I&II en Sleutelen aan zeegrasherstel

Tijdlijn	Soort	Locatie	Project-Referentie
2016-2022	Zostera marina sublitoraal (plant en zaad)	Grevelingen	Zeegrasherstel pilot RWS/Radboud Universiteit/NIOZ/the Fieldwork Company
	2019: Uitgezaaid areaal: 10 m <sup>2</sup>		Doel: Het selecteren van de beste strategie voor het herstellen van zeegras (Zostera marina) in het Grevelingenmeer
	2019: Geplant areaal: 20 m <sup>2</sup>		<p>Resultaat:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zeegrasherstelprojecten uitgevoerd met zeegras zaad en transplants.</li> <li>- Voor sublitorale condities met veel golfwerking en zeepielen zijn transplants meer geschikt</li> <li>- Voor kalme litorale condities toont het werken met zeegraszaad meer potentie voor het opschalen van zeegrasherstel</li> </ul> <p>Leerpunten:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- De zeepier en sedimentmobiliteit zijn nadelig voor het kiemen van zeegras zaad</li> <li>- De borstelworm is nadelig voor het voortbestaan van transplants, omdat de worm de bladeren van het zeegras aan elkaar lijmt, waardoor fotosynthese en de bewegelijkheid van de bladeren belemmerd worden</li> <li>- De acties van de borstelworm komen waarschijnlijk door een tekort aan interacties in het voedselweb. Dit laat zien dat op meerdere trofische niveaus moet worden nagedacht bij zeegrasherstel</li> </ul> <p>Cronau et al., 2022</p>
2018-2022	Zostera marina litoraal (zaad)	Waddenzee	Sleutelen aan Zeegrasherstel Herstelproeven
	Zostera noltii litoraal (zaad)	Griend	Natuurmonumenten/tFC/RUG
	Groot zeegras geplant: 15.366 m <sup>2</sup>	Uithuizen	Gefinancierd door het Waddenfonds
	Klein zeegras geplant: ~15 m <sup>2</sup>	Schiermonnikoog	Doel: Advies (on)mogelijkheden droogvallend groot zeegrasherstel. (Eerste stappen zaadkwekerij)
		Balgzand	Resultaat:
		Vlieland	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geoptimaliseerde, schaalbare methode</li> <li>- Best Practice ontwerp (schaal &amp; dichtheid)</li> <li>- Vergelijking NL – Duitsland: eutrofiëring en biotiek (wadslakjes, schelpdieren, zeeduizendpoten) waarschijnlijk nog limiterend voor zeegras voorkomen zuidelijke Waddenzee</li> <li>- Eerste positieve resultaten DIS methode klein zeegras</li> <li>- Nog geen andere geschikte locaties gevonden (naast Griend) Vestiging 650 ha groot zeegrasveld bij Griend als gevolg van zaaiwerkzaamheden</li> <li>- Zeegrasherstel leidt tot snel biodiversiteitsherstel</li> </ul>

Tijdlijn	Soort	Locatie	Project-Referentie
			<p>Leerpunten:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Schaal en dichtheid belangrijker: hoe groter hoe meer groei en lange termijn succes. Hoe minder dicht hoe efficiënter zaadgebruik</li> <li>- Zeeduizendpoten eten kiemend zeegraszaad en zijn een bottleneck voor vestiging</li> <li>- De kanskaart is niet een op een vertaalbaar naar geschikte locaties in het veld.</li> <li>- Continuïteit noodzakelijk voor herstelsucces</li> <li>- Donorzaad op den duur limiterend voor grootschalig herstel</li> </ul> <p>Gräfnings 2022, Gräfnings et al., in prep.</p>
2019-2024	Zostera marina sublitoraal (plant)	Waddenzee	<p>Waddenmozaïek (loopt nog) Natuurmonumenten/RUG/NIOZ. Gefinancierd door het Waddenfonds/provincies</p> <p>Doel: verlenen van advies over de mogelijkheden voor sublitoraal zeegrasherstel in de Nederlandse Waddenzee</p> <p>Resultaat:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kanskaart sublitoraal zeegrasherstel Waddenzee</li> </ul>
2022	Zostera marina litoraal (zaad)	Waddenzee	<p>Tussenjaar zeegrasherstel Waddenzee RWS/tFC/RUG</p>
	Groot zeegras geplant: 3200 m <sup>2</sup>	Griend	<p>Doel: Onderzoeken of groot zeegras klein zeegrasherstel kan faciliteren. DIS methode testen voor klein zeegras</p>
	Klein zeegras geplant: ~1300 m <sup>2</sup>		<p>Resultaat: nog onbekend, DIS methode is geschikt voor klein zeegras</p> <p>Leerpunten: langjarige monitoring nodig voor klein zeegras vanwege langzame groei. Data wordt uitgewerkt in januari/februari 2023</p>
2022-2027	Zostera marina litoraal (zaad)	Waddenzee	<p>Zeegrasherstel NN &amp; ZD</p>
	Zostera noltii litoraal (plant/zaad)	Grevelingen	<p>Herstelproeven &amp; Opschaling. RUG/tFC/W+B/A&amp;W/RWS. Gefinancierd door RWS</p>
	Zostera marina sublitoraal (plant)	Veerse Meer	<p>Doel: Opschalen zeegrasherstel Grevelingen &amp; Veerse Meer Opschalen groot zeegrasherstel op een andere locatie in de Waddenzee. Ontwikkelen klein zeegrasherstel naar opschalbare oplossingen</p>

## 3.2 Abiotische succes- en faalfactoren

Op basis van alle eerder uitgevoerde ecologische onderzoeken naar het voorkomen en het herstel van groot zeegras in relatie tot abiotische condities, is inmiddels veel duidelijk over welke factoren hiervoor gunstig en ongunstig zijn. In dit hoofdstuk is de kennis ten aanzien van abiotische succes- en faalfactoren uit eerdere onderzoeken op hoofdlijnen samengevat. Wanneer beschikbaar, wordt gebruik gemaakt van literatuur over litoraal groot zeegras. Dit wordt aangevuld met literatuur over sublitoraal groot zeegras. In veel gevallen zullen de verschillen tussen litoraal en sublitoraal groot zeegras qua abiotiek niet heel groot zijn.

Groot zeegras heeft baat bij helder, relatief voedselarm zeewater om te groeien (Giesen *et al.*, 1990; Erftemeijer, 2006). Helder water zorgt voor voldoende lichtinval zodat fotosynthese kan plaatsvinden. Als het water troebel is door turbulentie of algengroei (ten gevolge van eutrofiëring), reikt het licht minder diep. Dit limiteert de fotosynthese in de groene delen van het zeegras, wat uiteindelijk kan leiden tot het verdwijnen van het zeegras. Voedselarmoede stimuleert het zeegras om een groot wortelstelsel aan te leggen om voedsel uit de zeebodem op te nemen. Door dit uitgebreide wortelstelsel is het groot zeegras sterk verankerd en bestand tegen uitspoeling tijdens stormen. Eutrofiëring leidt er echter toe dat zeegras minder investeert in het aanleggen van het wortelstelsel, waardoor de plant gemakkelijker loslaat tijdens stormen.

De locatie waar groot zeegras groeit, wordt in grote mate bepaald door de hydrodynamische condities. Groot zeegras gedijt met name goed op beschutte locaties met weinig golfwerking. Dit betekent grofweg op locaties met een strijklengte korter dan 20 km voor de heersende windrichting. Verder kan groot zeegras piekstroomsnelheden aan het wateroppervlak tot 120 à 150 cm/s aan, maar groeit het optimaal bij piekstroomsnelheden onder de 53 cm/s (Fonseca *et al.*, 1983). Onder deze grens kan zeegras gemakkelijk grote en dichte velden vormen met een complexe driedimensionale structuur van stengels en bladeren. Bij snelheden groter dan 53 cm/s zal door erosie het zeegrasveld verdeeld raken in geïsoleerde zeegraseilanden. Met name in de lente en zomer zijn kalme hydrodynamische condities (weinig stroming en golfwerking) nodig voor de kiem en groei van zeegras. Richting het najaar neemt de tolerantie van het zeegras tegen de hydrodynamische condities toe en spelen de hydrodynamische condities een rol in het verspreiden van het zaad. Om de populatie over de jaren in stand te houden, is er zowel voldoende zaadproductie als grote oppervlakten zeegras nodig.

De bladeren en stengels creëren wrijving voor de stroming, waardoor de stroomsnelheid verder afneemt en sediment (veelal slib en organisch materiaal) wordt afgezet op de bodem. Hierdoor hoogt de bodem op. De snelheid van bodemophoging hangt af van de aanvoer van slib in de waterkolom en de dichtheid van het zeegras. Bij kleine zeegrasvelden (tot enkele tientallen vierkante meters) leidt deze bodemophoging snel tot zelf-inhibitie: door de bodemophoging droogt het zeegras tijdens laagwater uit, met sterfte tot gevolg (Govers *et al.*, *In prep.*). Bij grote, dichte zeegrasvelden daarentegen wordt sediment met name aan de randen afgevangen, waardoor het grote centrale gedeelte profiteert van helderder water en rustige stromingscondities (Gräfnings *et al.*, *in prep.*). Dit stimuleert de ontwikkeling en het voortbestaan van het zeegras. De invang van slib en organisch materiaal vergroot het slibgehalte van de bodem en typeert het vóórkomen van groot zeegras op voornamelijk modderige zand- en kiezelbodems.

De toename van het slibgehalte in de bodem gaat gepaard met minder uitwisseling van poriënwater. Hierdoor neemt de concentratie sulfide toe en daalt het zuurstofgehalte in de bodem. Dit kan schadelijk zijn voor zeegras. Tegelijkertijd zorgt het uitgebreide wortelsysteem van het zeegras voor het stabiliseren en beluchten van de bodem en het hergebruiken van nutriënten. Dit vermindert erosie en helpt mee aan het ondiep houden van vooroevers van kwelders en dijken (kustbescherming).

Naast anoxische condities in de bodem zijn anoxische condities in de waterkolom ook sterk nadelig voor de groei en het voortbestaan van zeegras. In anoxisch zeewater neemt de efficiëntie van de fotosynthese binnen 12 uur en de groei van bladeren binnen 24 uur sterk af bij een watertemperatuur van 20 °C (Pulido en Borum, 2010). Na 1 etmaal onder deze condities sterft de plant af. Een hogere watertemperatuur verergert en versnelt dit proces: bij een watertemperatuur van 30 °C kan sterfte al binnen 8 uur optreden. Ook in zuurstofrijke condities is de watertemperatuur een belangrijke parameter voor hoe goed groot zeegras gedijt. De optimale temperatuur ligt tussen de 10 en 20 °C (Nejrup en Pedersen, 2007). Een lagere temperatuur (5 °C) remt de fotosynthese en groei, maar leidt niet tot meer sterfte.

Bij een hogere temperatuur (25-30 °C) neemt, naast de nadelige effecten op de fotosynthese en groei, ook de kans op sterfte drastisch toe.

Estuarien groot zee gras gedijt het best bij een zoutgehalte tussen de 10 en 25 ‰ (Nejrup en Pedersen, 2007). Bij een hoger of lager zoutgehalte wordt de groei van groot zee gras sterk geremd en neemt de kans op sterfte toe. Zeker de combinatie van een hoog zoutgehalte (26 ‰) en de aanwezigheid van veel voedingsstoffen belemmert de groei van bladeren en stengels (Van Katwijk *et al.*, 1999). Daarentegen heeft de aanwezigheid van veel voedingsstoffen juist een positief effect op de plantengroei bij een lager zoutgehalte van 23 ‰. Door z'n snelle groei is zee gras een uitstekende vastlegger van CO<sub>2</sub> (McLeod *et al.*, 2011). Veel van bovenstaande onderzoeken hebben betrekking op de sublitorale variant. Op basis van data uit voorgaande zee grasherstelprojecten in de Waddenzee kunnen de optimale abiotische condities ook nader bepaald worden voor de litorale variant. Deze analyses zullen de komende jaren plaatsvinden binnen het project Zee grasherstel NN & ZD.

Tabel 3.2 Samenvatting van de optimale abiotische condities voor groot zee gras (*Zostera marina*). In de kolom bronnen wordt er achter de bron gespecificeerd of de bron over litoraal of sublitoraal groot zee gras gaat

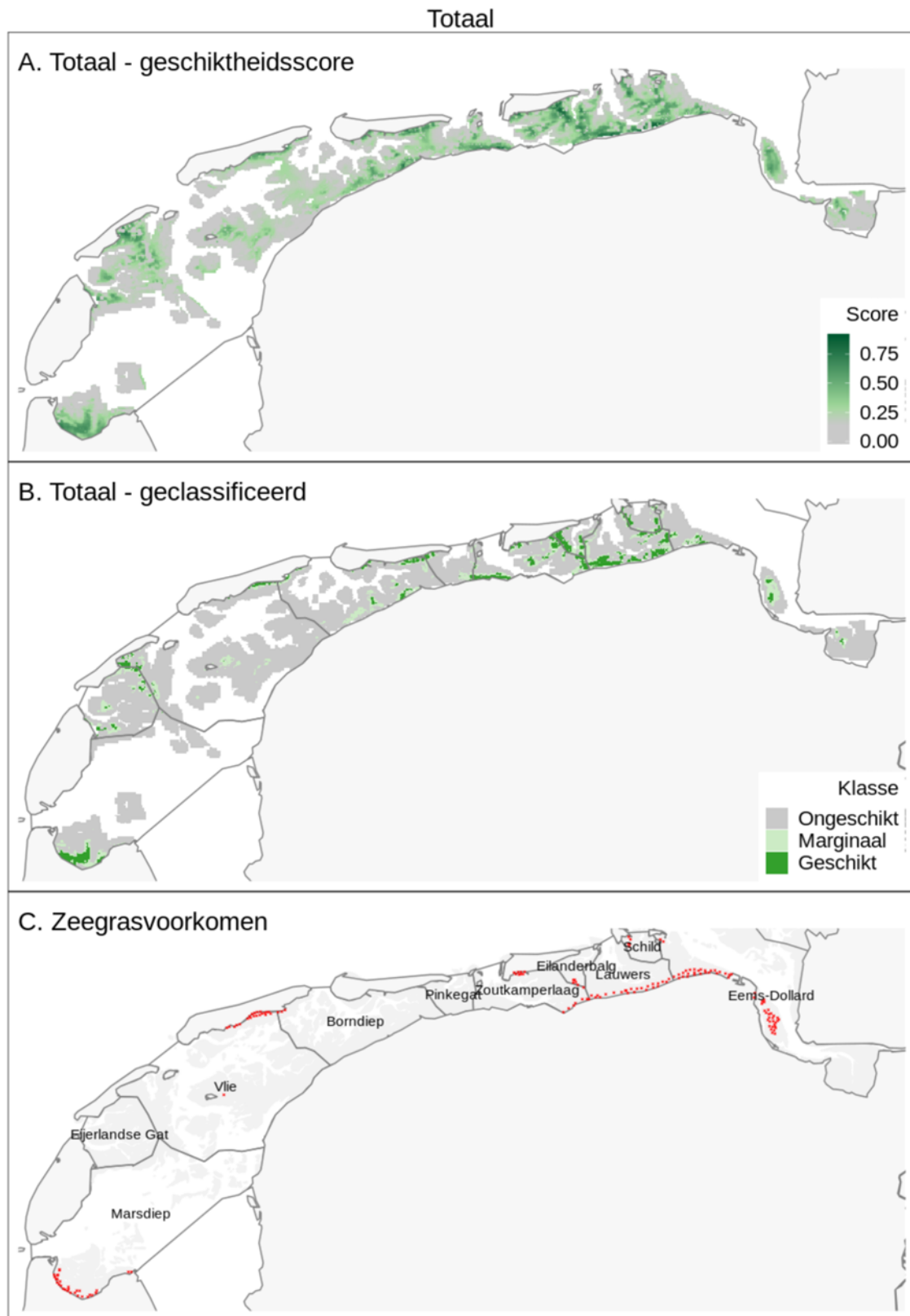
Abiotische condities	<i>Zostera marina</i>	Bronnen
substraat	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kiezelbodem (&gt;80 % 4-16 mm)</li> <li>- kleiige kiezelbodem (50-80 % kiezel, 20-50 % slib)</li> <li>- kleiig zand (50-80 % zand, 20-50 % slib)</li> <li>- zandige klei (50-80 % slib, 20- 50 % zand)</li> </ul>	<a href="https://www.marlin.ac.uk/species/detail/1282">https://www.marlin.ac.uk/species/detail/1282</a> (Onbekend)
Stroomsnelheid	< 0,5 m/s	Fonseca <i>et al.</i> (1983) De Jong <i>et al.</i> (2005) (litoraal)
Strijklengte	< 3 – 20 km in heersende richting	<a href="https://www.marlin.ac.uk/species/detail/1282">https://www.marlin.ac.uk/species/detail/1282</a> (Onbekend)
Zoutgehalte	10 – 35 ‰	De Jong <i>et al.</i> (2005) (litoraal) en Nejrup en Pedersen (2007) (sublitoraal)
Lichtinval	>37 % SD (lichtinval op wateroppervlak)	Erftemeijer (2006) (sublitoraal)
Diepte	0 – 5 m	<a href="https://www.marlin.ac.uk/species/detail/1282">https://www.marlin.ac.uk/species/detail/1282</a> (Onbekend)
Droogvalduur	50 – 60 %	De Jong <i>et al.</i> (2005) (litoraal)
Temperatuur	10 – 20 °C	Nejrup en Pedersen (2007) (sublitoraal)
Sedimentstabiliteit (cm/ jaar-1)	Tolerantie: 0-35.77 (optimaal: 0)	Gräfnings (2022) (litoraal)
Orbitaalsnelheid (m/ s-1)	0 – 0.3 (optimaal: <0.15)	De Jong <i>et al.</i> (2005) (litoraal)
Shear stress (N/ m-1)	0 - 0.6 (optimaal <0.3)	Gräfnings (2022) (litoraal)
Stikstof (mg/ LI-1)	0.3-1.1	Gräfnings (2022) (litoraal)
Fosfor (mg/L I-1)	0.03 – 0.11	Gräfnings (2022) (litoraal)

Bovenstaande condities beschrijven de abiotiek die nodig is voor zee gras om te kunnen groeien en gedijen. Dit maakte het mogelijk om een habitatgeschiktheidskaart te ontwikkelen waarin de belangrijkste abiotische factoren zijn meegenomen (Folmer *et al.*, 2019) (afbeelding 3.3). Deze 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 bijvoorbeeld de golfslag 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 biotische interacties met bijvoorbeeld wadpieren en zeeduizendpoten die niet zijn meegenomen. Een andere tekortkoming van de huidige habitatgeschiktheidskaart voor zeegras is de grove resolutie van de onderliggende lagen. Ook op dit vlak is een verbeterslag te maken.

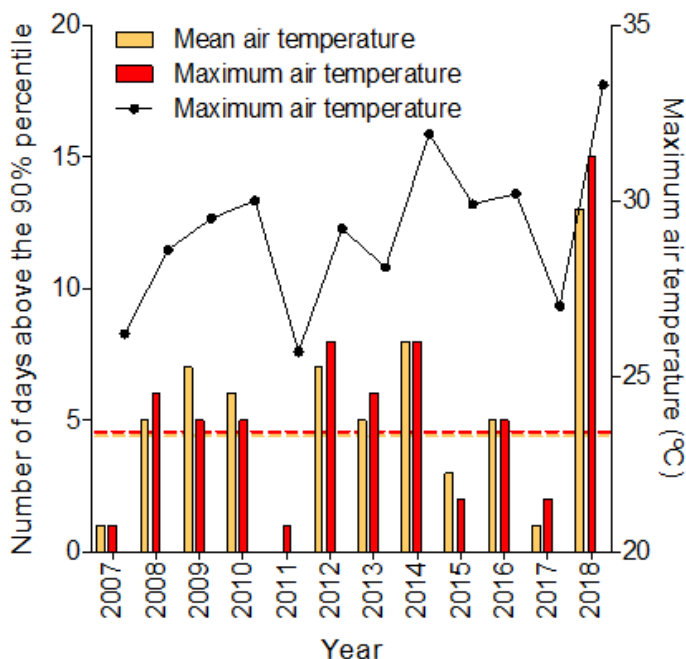
Afbeelding 3.3 A. de geschiktheidsscore op basis van zeegrasvoorkomen, abiotiek, algen en wadpieren, en B. de geschiktheidsklassen van het litorale habitat voor zeegras. C. Werkelijk zeegrasvoorkomen in de periode 1991-2017 (Figuur uit Folmer 2021)



Hoewel droogvallend klein zee gras goed is aangepast aan warmte/zon – het groeit ook in Mauritanië aan de rand van de Sahara bij 50 °C (Vermaat *et al.*, 1993) – is groot zee gras hier minder goed tegen bestand. De optimale groeitemperatuur van groot zee gras verschilt per regio, maar 27 °C wordt gezien als bovengrens voor de temperatuurtolerantie van groot zee gras (Jarvis *et al.*, 2014; Johnson *et al.*, 2021; Scalpone *et al.*, 2020). Hoewel deze temperaturen tot voorheen schaars waren in het Nederlandse Waddengebied, komen deze temperaturen inmiddels frequenter voor (Oost *et al.*, n.d.). Droogvallend groot zee gras wordt aan de lucht blootgesteld tijdens laagwater en is hierdoor gevoeliger voor verdroging/oververhitting dan ondergedoken soorten. Het jaar 2018 was qua temperatuur extreem met veel dagen (>15) met hoge temperaturen (90 % percentiel van alle maximum temperaturen, >24.5 °C) (afbeelding 3.4). In dit jaar (2018) werd ook extra mortaliteit (tot 100 % van de planten in de plots) waargenomen in de zaaiploots bij Griend. Dit was zeer waarschijnlijk het gevolg van het invangen van sediment door groot zee gras op kleine schaal. Hierdoor kwamen de planten boven het beschermend laagje water op het wad uitgerezen, waardoor ze uitdroogden. Daarnaast zorgde de hitte voor extra sulfide productie, wat giftig is voor zee gras. Dit heeft waarschijnlijk bijgedragen aan snelle afsterving (2 weken, augustus 2018) (afbeelding 3.4, Govers *et al.*, *in prep*) van groot zee gras in de zaaiploots. Belangrijkste lessen die hieruit bleken waren:

- 1 groot zee gras moet op kleine schaal niet in te hogen dichtheden worden gezaaid om lokale sedimentophoging te voorkomen;
- 2 groot zee gras zaaien op relatief 'natte' locaties helpt om uitdroging onder hoge temperaturen te voorkomen; en
- 3 droogvallend groot zee gras kan gevoelig zijn voor langdurig hogere temperaturen (Govers *et al.*, *in prep*).

Afbeelding 3.4 Aantal extreme dagen in juli en augustus, uitgedrukt als het aantal dagen boven het 90 % percentiel (~24.5°C) en maximale luchttemperatuur (zwarte lijn) in de periode 2007-2018. 90 % percentiel voor de maximale luchttemperatuur is 24.5°C. Metingen zijn uitgevoerd door het KNMI-weerstation op Vlieland. Rode en gele gestippelde lijnen geven het gemiddeld aantal dagen boven het 90 % percentiel aan in de periode 2007-2018



### 3.3 Biotische succes- en faalfactoren

Groot en klein zeegras hebben een grote diversiteit aan ecologische functies in een ecosysteem, zo kan het dienen als kraamkamer voor vissen (Bertelli & Unsworth, 2014), een schuilplaats voor diverse organismen zijn, voor zowel predatie als fysieke verstoring (Boström, Jackson & Simenstad, 2016), 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 (Gamble *et al.*, 2021). De impact van deze functies kan variëren per soort zeegras en is afhankelijk van de plantmorfologie en de dichtheid van het zeegrasbed (o.a. Bos *et al.* 2007, Casares *et al.* 2008).

Bij de aanplant van zeegras moet rekening gehouden worden met soorten die zeegras eten. Een hoge dichtheid aan deze soorten kan leiden tot een lager, of onsuccesvol aanplantsucces. Ook kunnen bepaalde bodemberoerende soorten een omgeving minder geschikt maken voor de aanplant van zeegras door bioturbatie van poriewater naar oppervlaktewater.

In het volgende deel worden de belangrijkste biotische factoren besproken die een negatief dan wel positief effect kunnen hebben op het succesvol aanplanten van groot 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 3.3 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 3.3 Overzicht van biotische factoren die zeegrasherstel beïnvloeden. De aard van de biotische factor geeft aan of het een positief (+) of negatief (-) effect heeft op groot zeegras

Soort	Interactie met zeegras	Aard	Referentie
<b>Pathogenen</b>			
Labyrinthula zosterae	Pathogeen voor ondergedoken groot zeegras (wierziekte), pathogeniteit afhankelijk van de variant	0	Govers <i>et al.</i> , 2016 Gamble <i>et al.</i> , 2021
Phytophthora spp.	Zaadpathogeen voor groot zeegraszaad	-	Govers <i>et al.</i> , 2016 Man in 't Veld <i>et al.</i> , 2019
<b>Fauna</b>			
Hediste diversicolor (veelkleurige zeeduizendpoot)	Consumeert kiemende zaden. Kan in hoge dichtheden volledig zaailingvestiging beperken.	-	Gräfnings <i>et al.</i> in prep. Kwakernaak <i>et al.</i> , 2023
Arenicola marina (wadpier)	Woelt het sediment om (bioturbatie). Kan zaden te diep begraven en kieming beperken. Hoge dichtheden kunnen vestiging van zaailingen beperken	-	Reise, 1985 Philippart, 1994
Carcinus maenas (strandkrab)	Consumptie zaden, omwoeling bodem	-	<i>Infantes et al.</i> 2016 Hier moet heremietkreeft nog worden toegevoegd
Watervogels (rotgans, smient)	Consumptie adulte planten incl. wortelstokken, foerageerkuilen kunnen ruimte maken voor herkolonisatie	+/-	Orth <i>et al.</i> , 2006 Van der Heide <i>et al.</i> , 2012
Peringia ulvae (wadslakje)	Graast epifytische algen van zeegrasblad	+	Gräfnings <i>et al.</i> , in prep.
Bivalven (tweekleppigen)	Waterkwaliteitsverbetering, positieve indicator voor voorkomen zeegras, schelpdierriffen kunnen luwte creëren voor zeegrasgroei	+/-	De Fouw <i>et al.</i> , 2016 Gräfnings <i>et al.</i>
<b>Flora</b>			
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 een 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 30, toen circa 90 % van al het wilde zeegras verdween. Droogvallend zeegras had destijds, voor zover bekend, niet te lijden onder het pathogeen. *L. zosterae* is een protist die de chloroplasten van groot zeegras aanvalt en consumeert. De protist is op groot zeegras te herkennen aan geïnfecteerde bladeren met een zwarte schimmel (Gamble *et al.*, 2021) (afbeelding 3.5). De pathogeniteit van *L. zosterae* is afhankelijk van de hoeveelheid stressfactoren waaraan een zeegrasplant wordt blootgesteld, en is mogelijk niet heel pathogeen onder geen of lage stressfactoren (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 zou kunnen veroorzaken (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 3.5 De bladeren van groot zeegras geïnfecteerd met *Labyrinthula*, te herkennen aan de zwarte schimmel op het blad  
Foto van Michiel Vos ([www.anbollenessor.com](http://www.anbollenessor.com))



##### *Waterschimmels: mariene Phytophthora*

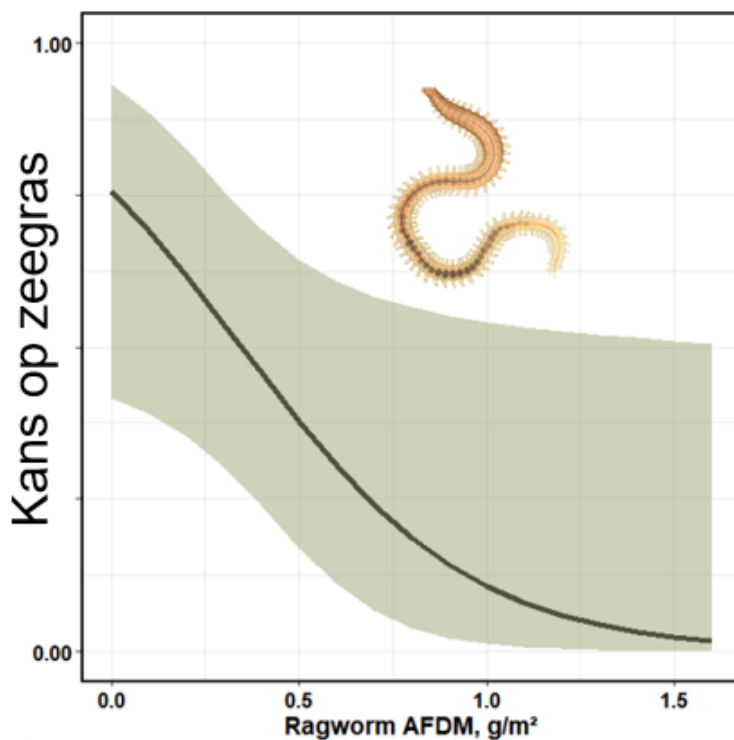
*Phytophthora* spp. zijn plantenziekten veroorzakende organismen die behoren tot de waterschimmels. *Phytophthora* zijn vaak soortspecifiek en kunnen grote schade aanrichten. Een bekend voorbeeld van een *Phytophthora* is de aardappelziekte. Ook in de mariene omgeving komen *Phytophthora* voor, met een negatief effect op groot zeegras (Man in 't Veld *et al.*, 2019). Uit recente studies van Govers *et al.* (Govers *et al.*, 2016 ; Goverts *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 de litorale zone, doordat zeegras hier zich 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 leidden tot een afname van de ontkieming met 44 %. Het sedimenttype bleek een sterk effect te hebben op de besmettingsgraad van groot zeegras met *Phytophthora*. Zo bleek het aantal geïnfecteerde zaden in zand 1,8 maal hoger te liggen dan in modder.

## 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 prep.) liet zien dat het voorkomen van zeegras in de trilaterale Waddenzee negatief gecorreleerd is met de aanwezigheid van de veelkleurige zeeduizendpoot (*Hediste diversicolor*) (afbeelding 3.6). Dit is waarschijnlijk te verklaren doordat zeeduizendpoten kiemend zeegraszaad consumeren, ongeacht of er ook nog andere voedselbronnen beschikbaar zijn. (Kwakernaak *et al.*, 2023). Hoewel de studie laat zien dat alleen grote zeeduizendpoten ontkiemende zaden consumeren, kan dit toch leiden tot een knelpunt bij de aanplant van zeegras op locaties met hoge dichtheden van zeeduizendpoten (>2 g Drooggewicht per m<sup>2</sup>). Dit is naar schatting in ~50 % van de gebieden die door kanskaarten als kansrijk worden aangegeven voor zeegrasgroei. Daarnaast kunnen zeeduizendpoten ook een effect hebben op zeegras door hun bioturberende / sediment omwoelende activiteiten. Wanneer het zaad dieper dan 5,5cm ingegraven ligt, dan ontkiemt het zeegras eigenlijk niet meer (Greve *et al.*, 2005).

Afbeelding 3.6 De kans op de aanwas van groot zeegras en zeeduizendpoot AFDM (asvrige droge massa) in gram per vierkante meter. De kans op de aanwas van zeegras neemt af met een toenemende AFDM van zeeduizendpoten (bron: Gräfnings *et al.* (in prep.))



### Wadpieren

Wadpieren (*Arenicola marina*) komen algemeen voor in de Waddenzee. De dichtheden van wadpieren kunnen oplopen tot enkele honderden individuen per m<sup>2</sup>. Hoge dichtheden van adulte wadpieren (>50) kunnen de groei en overleving van zeegras beperken (Reise, 1985; Philippart, 1994; Valdermansen *et al.*, 2011; Suykerbuyk *et al.*, 2016). Dit negatieve effect komt door bodemomwoeling. Deze bodemberoering zorgt ervoor dat zeegraszaad en planten in het sediment kunnen verdwijnen (Valdermansen *et al.*, 2011). Onderzoek heeft aangetoond dat bioturbatie van wadpieren in dichtheden van 42,5-85 wadpieren per m<sup>2</sup>, leiden tot een sedimentverplaatsing van 14 tot 33 cm per jaar (Cadeé, 1976).

Ander onderzoek heeft aangetoond dat zeegraszaad vrijwel niet meer ontkiemt wanneer het dieper dan 5,5 cm begraven ligt in het sediment (Greve *et al.*, 2005). 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). Gebieden met hoge dichtheden aan wadpieren zijn dus ongeschikt voor de groei van litoraal zeegras. Dit blijkt ook uit experimenten van Reise (1985) en van Philippart met klein zeegras (1994) (Reise, 1985; Philippart, 1994). In beide experimenten werden gebieden wadpiervrij gemaakt, waarna zeegras werd aangeplant en vergeleken met een controlegebied met de standaard hoeveelheid wadpieren. Beide studies lieten zien dat wadpieren de aanwas van klein zeegras beperkten. Een mogelijke manier om de bioturbatie van wadpieren tegen te gaan is door aan het aanbrengen van een schelpenlaag in het sediment (Suykerbuyk *et al.*, 2016). Wadpieren eten geen zeegraszaad, de pieren zijn niet in staat zeegraszaad te verteren (Blackburn & Orth, 2013).

### Krabben

Ook 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 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 ook de bodem om, wat zeegrasscheuten kan verstoren en daarmee destabiliseren in de bodem. Dit negatieve effect is onder andere aangetoond bij het Zuiderzeekrabbetje, die door omwoeling aangeplante zeegrasscheuten, die niet over een complex wortelsysteem beschikken verstoort in hun groei (Engström, 2020). Mogelijk leidt de bodemberoering die ontstaat door krabben tot soortgelijke effecten van bioturbulatie als bij wadpieren en zeeduizendpoten.

### Herbivore vogels

Het is bekend dat zeegras in de Waddenzee van oorsprong een belangrijke voedselbron was van de rotgans. Ook voor de smient, meerkoet, zwanen en andere soorten watervogels kan zeegras een belangrijke voedselbron zijn. Bepaalde soorten, zoals de wilde eend, staan erom bekend om het zaad van zeegras te eten in Noord-Amerika (Fishman & Orth, 1996; Orth *et al.*, 2006). Hoewel herbivore vogelsoorten een negatief effect kunnen hebben op zeegras door actieve begrazing, hebben de soorten ook een positief effect op zeegras door het creëren van ruimtelijke heterogeniteit. De aanwas van zeegras leidt tot de aanzet van sediment, wat weer leidt tot lichte lokale bodemverhoging. Op de plaatsen waar de vogels foerageren, neemt deze sedimentaanzet af, en ontstaan kuiltjes. Vogels foerageren graag in deze kuiltjes omdat ze hier kunnen ploeteren – de meest energie-efficiënte vorm van foerageren. De vogels consumeren niet al het zeegras: tussen de 5 en de 15 % blijft staan omdat bij deze lage dichtheden het foerageren voor de vogels niet langer rendabel is. Hierdoor ontstaat er over 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. 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). Andere negatieve effecten van macroalgen komen door lichtreductie en ongunstige redox-condities (Hauxwell *et al.*, 2001). Ook hebben macroalgen mogelijk een negatief effect door wrijvingen die ontstaan tussen macroalgen (en aangehecht zwaar materiaal) en zeegras als gevolg van getijdenstroming (Valdemarsen *et al.*, 2010).



### Epifyten

Epifyten zoals haar- en draadvormige algen vestigen zich aan en groeien op de bladeren van groot zee gras en hebben daarmee een negatief effect op de groei van planten (afbeelding 3.7). Epifyten reduceren de hoeveelheid licht waaraan de plant wordt blootgesteld door het blad van het groot zee gras te overgroeien. De groei van epifyten wordt meestal veroorzaakt door een overvloed aan nutriënten in het poriewater (Gamble *et al.*, 2021).

Afbeelding 3.7 Zee gras overgroeit met epifyten. (Bron: foto van Michiel Vos ([www.anbollenessor.com](http://www.anbollenessor.com)))

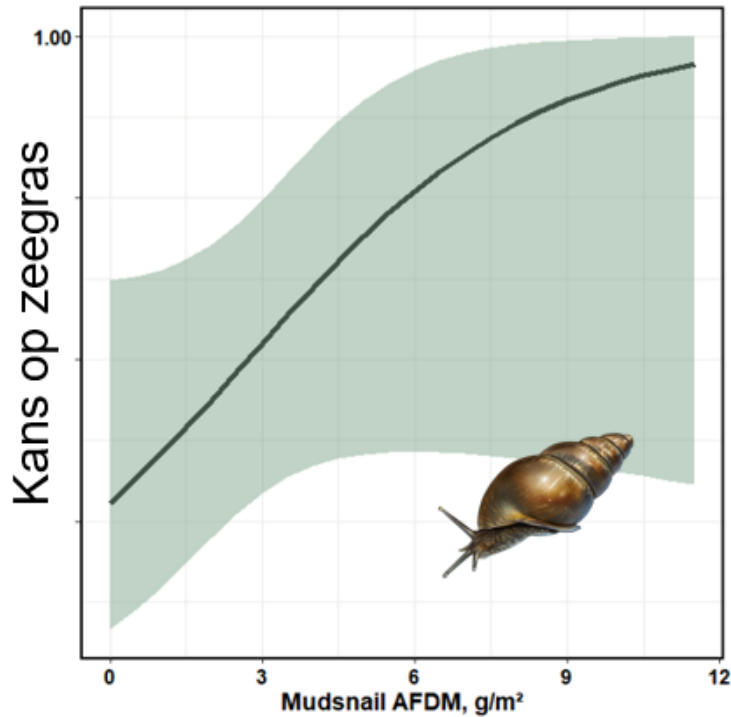


### 3.3.2 Biotische interacties met een positief effect op de aanwas van zee gras

#### Wadslakjes

Wadslakjes hebben een positief effect op groot zee gras in de Waddenzee (afbeelding 3.8). De Nederlandse Waddenzee is redelijk nutriëntenrijk, wat de groei van epifyten op groot zee gras promoot. Wadslakjes grazen actief op deze epifyten. Ze doen dit o.a. op het blad van groot zee gras, wat de groei van groot zee gras ten goede komt (Gräfnings *et al.*, in prep.). Gräfnings *et al.* laat zien dat wadslakjes een belangrijke indicator zijn van habitatgeschiktheid voor de groei van groot zee gras. Hogere dichtheden van wadslakjes hadden een positief effect op de kans op voorkomen van groot zee gras.

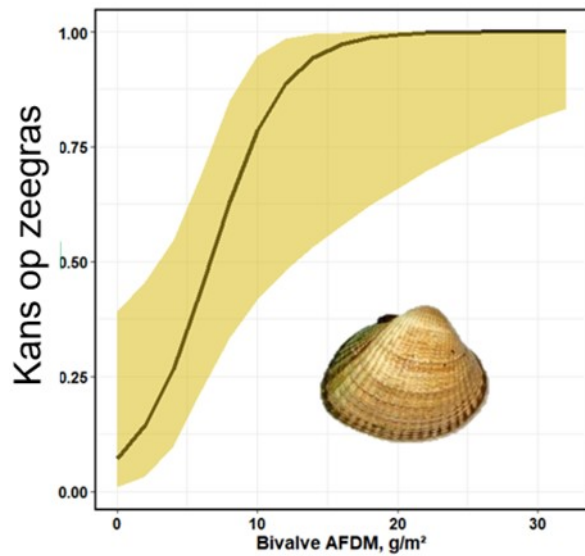
Afbeelding 3.8 De kans op het voorkomen van groot zeegras en wadslakjes AFDM (asvrije droge massa) in gram per vierkante meter. De kans op de aanwas van zeegras neemt toe met een toenemende AFDM van wadslakken. Bron: Gräfnings et al. In prep.



#### Tweekleppigen

Tweekleppigen (bivalven) staan erom bekend dat ze zowel een positief als een negatief effect hebben op de groei van zeegras (Gagnon *et al.*, 2020; Fales *et al.*, 2020). Een belangrijk positief effect van tweekleppigen is dat ze zorgen voor de-eutrofiëring 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 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 (afbeelding 3.9). In de studie bleek dat de kans op het voorkomen van litoraal zeegras significant toeneemt in omgevingen met hogere aantallen tweekleppigen in de Nederlandse Waddenzee. Mogelijk komt dit ook doordat het sediment in deze omgevingen minder last heeft gehad van bodembegroering (visserij, baggerwerkzaamheden etc.) door de tijd, waardoor de tweekleppigen eigenlijk een indicator zijn van een gebied met een relatief stabiel sediment (Gräfnings *et al.*, in prep.).

Afbeelding 3.9 De kans op de aanwas van groot zeegras en tweekleppigen AFDM (asvrije droge massa) in gram per vierkante meter. De kans op de aanwas van zeegras neemt toe met een toenemende AFDM van tweekleppigen. (Bron: Gräfnings et al. In prep.)



### 3.3.3 Klein-groot zeegras interactie

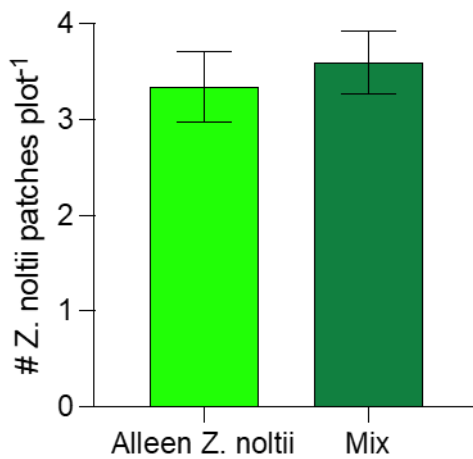
In de periode 2018-2022 is de interactie tussen groot en klein zeegras onderzocht. In 2019 is een experiment uitgevoerd om de mogelijke positieve effecten van klein zeegras op groot zeegras te onderzoeken. In de natuurlijke Duitse zeegraspopulaties is geobserveerd dat beide soorten vaak samen voorkwamen (Gräfnings et al., in prep.). In populaties zoals in Hamburger Hallig groeit groot zeegras vaak in poeltjes gevormd door sedimentinvang van klein zeegras (afbeelding 3.10, links). 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 groot zeegras beter kon overleven in de poeltjes omgeven door kunstmatig klein zeegras (afbeelding 3.10, rechts) 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 (*ongepubliceerd*) 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 3.10 Groot zeegras groeit op Hamburger Hallig omgeven door klein zeegras en experiment waarbij klein zeegras is nagebootst. Groot zeegras in de 'poel' links overleeft een hittegolf terwijl groot zeegras rechts uit is gedroogd



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 3.11) zijn inmiddels bekend. Conclusie van deze resultaten was dat er in de vestigingsfase nog geen verschillen te zien waren tussen het aantal gevestigde *Z. noltii* patches per gemengde plot (groot + klein zeegras) in vergelijking met plots waar alleen klein zeegras was gezaaid (afbeelding 3.11). 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 een sluitende conclusie over deze proef zijn met name de lange-termijn (>1 jaar) van belang.

Afbeelding 3.11 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



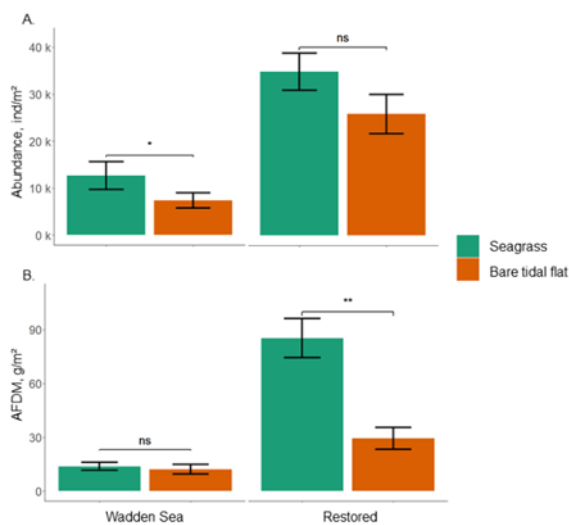
Afbeelding 3.12 Monitoring van de gemengde zaaiplot. De onderzoekers staan bij een patch klein zeegras om metingen te verrichten (foto RWS, augustus 2022)



### 3.3.4 Het effect van zeegras op de lokale biodiversiteit

Zeegrasvelden 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 zeegrasvelden is zeer variabel en overvloedig, met dichtheden die wel 4,5 keer zo hoog zijn als in nabijgelegen zandhabitats. 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 doorbrachten zijn kabeljauw, haring en de paling (Wolff, W. 2005; Lotze, H.K. 2007; Gamble *et al.*, 2021). Ook voor andere commercieel belangrijke soorten zoals de zeebaars, pollak, mossel en kokkel speelt zeegras een belangrijke functie (Gamble *et al.*, 2021; Gräfnings, in prep.). Recent onderzoek laat zien dat 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 zeegrasvelden en kale wadplaten elders in de Waddenzee (afbeelding 3.13). De totale biomassa van benthische soorten in zeegrasvelden is over het algemeen bijna 3 keer zo hoog als dat van kale wadplaten. De soorten die met name toenamen in het herstelde veld waren grazers (alikruiken, zeepissebedden, wadslakjes en vlokreeften) en mossels.

Afbeelding 3.13 Het biodiversiteitsverschil tussen zeegrasvelden (groen) en kale wadplaten (bruin) in de Waddenzee. In A is deze uitgedrukt in soortenrijkdom (Abundance) (ind/m<sup>2</sup>) en in B uitgedrukt in asvrije droge massa (AFDM) (g/m<sup>2</sup>).  
Bron: Gräfnings et al. In prep.



## 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. In dit hoofdstuk wordt kort het verloop van dit proces beschreven en hoofdzakelijk ingegaan op de methodiek die op dit moment in gebruik is. De gebruikte methodiek wordt jaarlijks geëvalueerd om verbeteringen aan het gehele proces door te voeren.

### 3.4.1 Donorlocaties & verzamelen

In de zeegrasherstelprojecten tot 2011 werd gebruik gemaakt van donorlocaties binnen Nederland (Waddenzee en Oosterschelde) en van Sylt voor relatief kleinschalig onderzoek. Vanaf 2011 werd op grotere schaal gebruik gemaakt van planten, scheuten en zaden, eerst met de BuDs methode en later met de DIS methode (paragraaf 3.5.2 en 3.5.3).

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 Wegener Instituut (AWI) op Sylt geselecteerd. In zijn algemeenheid geldt dat om de invloed van het oogsten op de donorpopulatie te beperken, er maximaal 1 % van deze populatie mag worden geoogst. 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/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 er een conversie van plantmateriaal naar gewicht gemeten. Hierbij wordt gelijk de zaaddichtheid meegenomen zodat op basis van de kilo's ook 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 zelfs 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 3.14 Zeegras verzamelen in Hamburger Hallig 2022 (Bron: 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 laag water wordt handmatig zeegras geplukt. Voor groot zeegras worden lopend hele planten met zaaddragende scheuten verzameld. Groot zeegras kan doorgaans van 3 uur vóór tot 3 uur na laag water worden verzameld. Het verzamelde materiaal werd vervolgens gekoeld (~7 graden) getransporteerd naar Nederland.

### 3.4.2 Verwerking donormateriaal en bewaren zaden

In de herstelprojecten die voor 2016 zijn uitgevoerd, werd het verzamelde donormateriaal binnen 5 dagen naar de restauratie locatie getransporteerd en daar direct ofwel aangeplant, ofwel uitgezaaid met de BuDs methodiek (zie paragraaf 3.5.2). Vanaf 2016 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. De koperoplossing die hiervoor wordt gebruikt, bevat zeer lage koperdichtheden (0.2-2.0ppm) die vergelijkbaar zijn met de koperwaarden van kraanwater uit oude koperleidingen. Er komt geen koper in het natuurlijke systeem terecht omdat de zaden voor uitzaaiing eerst nog met zoetwater worden gespoeld. 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 paragraaf 3.5.3). Deze processen worden hieronder nader toegelicht.

#### Verwerking van plantmateriaal

Sinds 2016 wordt het donormateriaal verwerkt binnen de zeegrasfaciliteit van The Fieldwork Company. De zaadhoudende scheuten worden gespoeld en steekproefsgewijs gewogen en geteld (aantal rijpe/onrijpe zaden; volgens het *Z. marina* protocol, zie Notitie Donormateriaal). Daarna worden ze 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 gemeden 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. 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 opschaling van zeegrasherstel kan optimalisatie op dit gebied daarom kansen bieden. Na het uitzeven worden de zaden in de winteropslag geplaatst.

Afbeelding 3.15 Jacuzzi's 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 zaden 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 ( $\geq 0.2$  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 ( $\text{CuSO}_4$ ) aan het zoutwater toegevoegd. Onderzoek (Van der Zee *et al.*, 2015) heeft aangetoond dat behandeling van zaden 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. Uit onderzoek is ook gebleken dat groot zeegras (incl. zaden) een zeer hoge tolerantie heeft voor verschillende zoutgehaltes (Xu *et al.* 2016), waardoor een langzame gewinning tussen de opslag en het veld niet nodig is gebleken. 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.

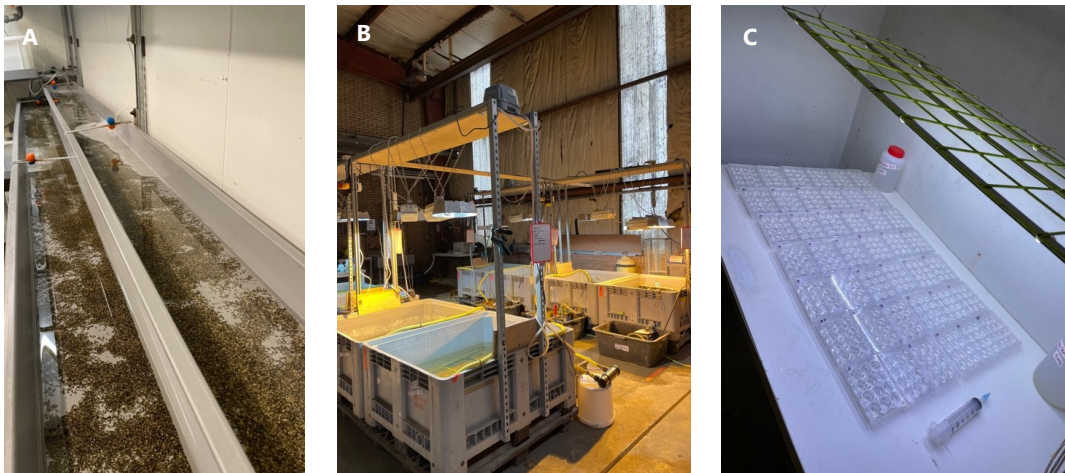


### Bepalen rijpe kiemkrachtige zaden

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-methodiek, waarmee vervolgens de beoogde plantdichtheid wordt behaald (paragraaf 3.5.3). 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 kiesten uit te voeren. Kiesten 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 kiesten in sediment in petrischalen met zoutwater (in vivo/in vitro); en
- 3 The Fieldwork Company doet simultaan kiesten in sediment in mesocosms met zoutwater (in vivo/in vitro). Hiermee wordt het percentage kiemkrachtige zaden bepaald (Govers et al., 2022).

Afbeelding 3.16 A). *Zostera marina* zaden in winteropslag, B) Mesocosms (in vitro) in de loods van The Fieldwork Company en C) In vivo kiestest



## 3.5 Succes- en faalfactoren van het planten en uitzaaien

### 3.5.1 Planten

Tussen 1992 en 2004 hebben er in de Waddenzee verschillende proeven plaatsgevonden met het transplanteren van volwassen groot zeegrasplanten, waarvan een deel afkomstig was van de populatie op Hond Paap, die toen op de top was van populatiegrootte (van Katwijk *et al.*, 2009). Dit onderzoek heeft duidelijke richtlijnen opgeleverd waar alle opvolgende zeegrasherstelprojecten in Nederland op verder hebben gebouwd. Droogvallend groot zeegras in de Waddenzee is grotendeels éénjarig, dus het verplaatsen van planten vanuit donorpopulaties is geen duurzame oplossing voor grootschalig zeegrasherstel. Omdat deze planten echter wel zeer veel zaad produceren, is er voor vervolprojecten besloten om zeegrasherstel met zaad uit te voeren (Van Duren & Van Katwijk, 2005). Het werken met zaden biedt kansen op het gebied van schaalbaarheid en kosteneffectiviteit (Busch *et al.*, 2010). Daarnaast leidt het tot grotere genetische diversiteit (Orth *et al.*, 2012).

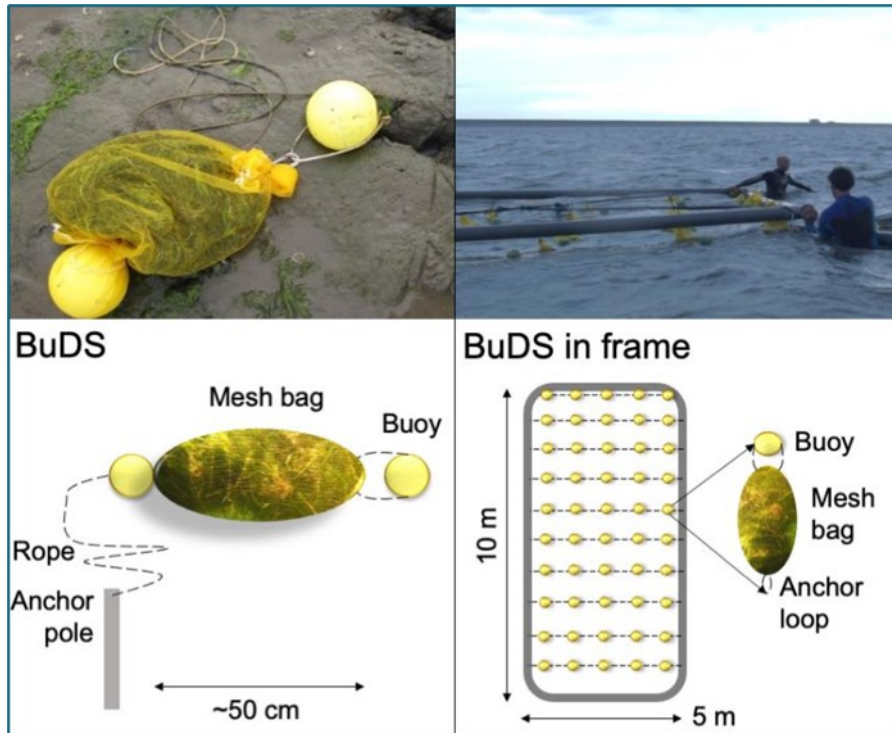
### 3.5.2 Buoy-Deployment-Seeding (BuDs) en BuDs-in-frame

Van 2011 tot 2015 is op grotere schaal geëxperimenteerd met het verspreiden van zaden middels de Buoy-Deployed-Seeding (BuDs) methode en de BuDs-in-frame methode (van Duren & van Katwijk, 2015; Govers *et al.*, 2022). Bij de BuDs methode werden zakken van 2 mm gaas (nylon 'aardappelzakken') met een boei eraan gevuld met 800 gram zaaddragende scheuten. Deze zogenaamde BuDs werden vervolgens aan boeien gebonden, welke met 4 m lange touwen aan de bodem waren verankerd middels een pvc-pijp (afbeelding 3.17). De maaswijdte van het gaas is net groot genoeg dat de zaden tijdens hoogwater door stroming kunnen worden uitgespoeld, maar dat de scheuten in de zak blijven. Op deze manier werden zaden passief in het gebied verspreid. De BuDs werden geplaatst in de herfst en bleven 8 tot 10 weken in het veld. Deze methodiek is eerder succesvol toegepast aan de oostkust van Amerika om ondergedoken zeegras te herstellen (Pickerell *et al.*, 2005), maar was niet eerder gebruik in een droogvallend intergetijdengebied. De resultaten van de uitvoering in de Waddenzee toonde aan dat er geschikte locaties zijn voor de kieming van zeegraszaden (van Duren & van Katwijk, 2015), maar dat deze methode leidt tot lage plantdichtheden (0.007 – 0.012 planten/m<sup>2</sup>) en veel zaadverlies (99.84 – 100 %) (Govers *et al.*, 2022).

Om de plantdichtheden mogelijk te vergroten werd de BuDs-in-frame methodiek bedacht en in 2015 uitgevoerd. Hierbij werden 66 BuDs (met 500 gram donormateriaal) in een pvc-frame van 5 m bij 10 m gebonden (afbeelding 3.17). Het frame werd tijdens hoogwater geplaatst, zodat het vol kon lopen met water, en stevig aan de bodem verankerd. Door de BuDs op deze manier bij elkaar te houden, reduceerde het zaai oppervlak per zak. Hoewel de BuDs-in-frame een iets hogere plantdichtheden toonde (0.017-0.037 planten/m<sup>2</sup>), lag dit nog altijd ver onder het doel van minimaal 10 planten/m<sup>2</sup>. Daarnaast werd nog steeds een hoog percentage zaadverlies vastgesteld (99.73-99.89 %) (Govers *et al.*, 2022).

Het hoge percentage zaadverlies binnen de BuDs methodieken wordt waarschijnlijk veroorzaakt door verscheidene factoren; het wegspoelen van zaden naar ongeschikte groeilocaties (Kuusemäe *et al.*, 2018; Govers *et al.*, 2022; van Duren & van Katwijk, 2015), hoge waterdynamiek tijdens winterse stormen (Delefosse & Kristensen, 2012; Valdemarsen *et al.*, 2011; Xu *et al.*, 2016), predatie (Infantes *et al.*, 2016), infecties door het pathogeen *Phytophthora* spp. dat de kiemkracht vermindert (Govers *et al.*, 2016; van Duren & van Katwijk, 2015) en sedimentmobiliteit (Statton *et al.*, 2017). Het grote zaadverlies is problematisch voor een éénjarige soort die volledig afhankelijk is van succesvolle vestiging van zaailingen ieder jaar. Zowel de BuDs en de BuDs-in-frame methodiek zijn hierdoor geen geschikte methodieken voor zeegrasrestauratie in de Waddenzee.

Afbeelding 3.17 Schematische weergave BuDS en BuDS-in-frame methodiek.



### 3.5.3 Dispenser Injection seeding (DIS)

Tussen 2014 en 2018 kwam er meer nadruk op kennisontwikkeling om minder zaadverlies en grotere dichtheden van zeegras te bewerkstelligen. In 2016 werd de DIS (Dispenser Injection Seeding) methode ontwikkeld (Govers *et al.*, 2022). In het eerste jaar van gebruik bleek dit al een groot succes in vergelijking met de BuDS-methodes, alhoewel een verbetering van de opslag van het zaad gedurende de winterperiode hier ook een belangrijke rol in speelde (Gräfnings *et al.*, in prep.). 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.

Dit sediment wordt voor gebruik gezeefd door een 1 mm zeef om bentische dieren en grote partikels uit het sediment te verwijderen. Daarna wordt het voor een nacht bewaard op de zeef zodat vocht zich gedeeltelijk uit het sediment kan onttrekken. Dit resulteert in een verdikte, aerobe sedimentpasta die tot het zaaien bij 6 °C wordt bewaard. Voor het zaaien worden zaden homogeen door deze sedimentpasta gemengd. De zaaddichtheden zijn jaarlijks afhankelijk van de resultaten van eerdere kiemtesten. Tijdens het inspuiten van het zaad wordt gebruik gemaakt van een raster om de gewenste hoeveelheid en verspreiding zaad per vierkante meter te realiseren.

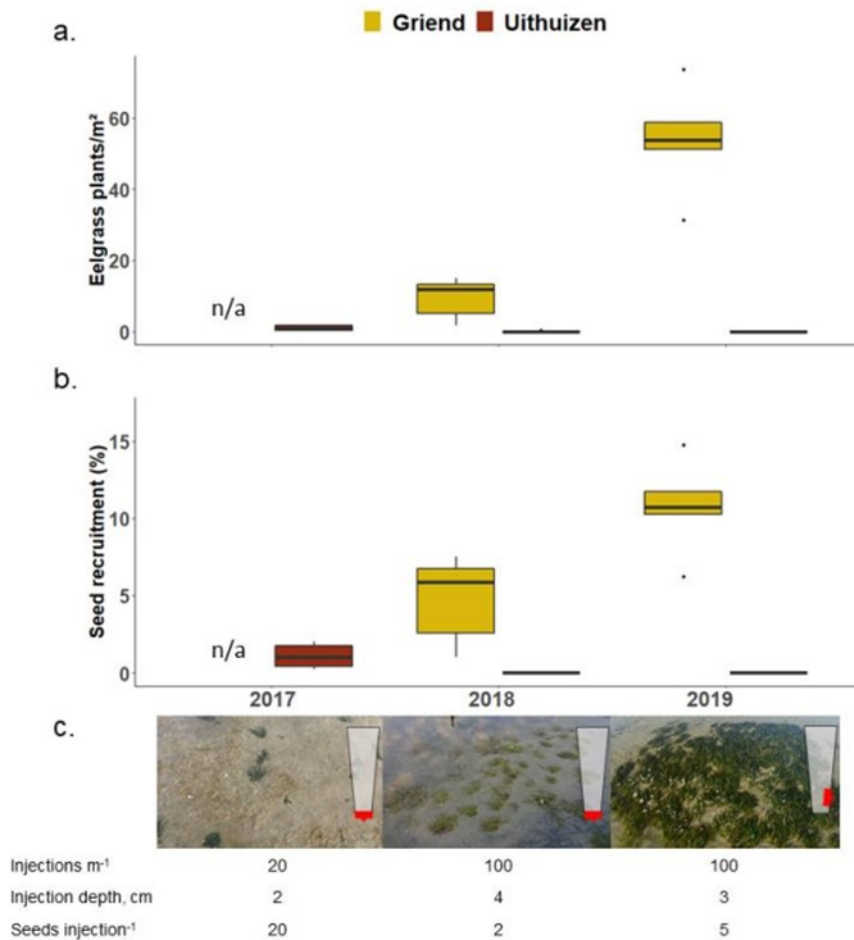
In 2017 werd voor het eerst in het veld geëxperimenteerd met de DIS methode. Zaad werd in twee verschillende dichtheden (2 en 20 zaden per injectie) ingespoten. Dit leidde tot een relatieve zaaddichtheid van 40 of 400 zaden per vierkante meter. In 2017 werd het zaad op een afgestelde diepte van 2 cm in het sediment gespoten. Het experiment met de DIS-methode, in combinatie met de verbeterde opslag van het zaad werd een groot succes. In vergelijking met de andere methodes werden tot meer dan 100 keer grotere dichtheden van zeegrasvelden per vierkante meter bereikt. De aanwas van zeegras was nog steeds relatief laag, maar toonde ook een forse verbetering in vergelijking met de andere methodes die geprobeerd waren op dezelfde locaties met soortgelijke zaaddichtheden.

Afbeelding 3.18 Toepassing van de DIS-methode op het wad. Met de kitspuit wordt handmatig het zaad in het sediment gebracht. Er wordt gebruikt gemaakt van een metalen raster om de gewenste hoeveelheid zaad per vierkante meter te realiseren. Bron: presentatie van L. Govers



Na 2017 werd de DIS methode verder geperfectioneerd. Zo bleek in 2017 dat het zeegraszaad vaak vacuüm werd meegezogen wanneer de kitspuit uit het sediment werd verwijderd. Hierdoor kwam het zeegraszaad op een andere plek en diepte terecht dan was beoogd. Om dit te voorkomen werd de opening van de kitspuit aan de zijkant van de spuitmond gerealiseerd in plaats van aan de onderkant. Deze verandering zorgde ervoor dat het zaad beter op de beoogde diepte bleef zitten wanneer de kitspuit uit het sediment werd getrokken. Daarnaast werd er met verschillende inzaaidieptes geëxperimenteerd, waaruit geconcludeerd kon worden dat de beste diepte voor inzaaien tussen de 2 en 4 cm ligt. Het was al reeds bekend dat dieper inzaaien de kans op ontkieming minimaliseerde (Greve *et al.*, 2005), maar bij ondieper zaaien werd het zaad mogelijk uitgespoeld door sedimentbewegingen. Deze nieuwe, geoptimaliseerde DIS-methode leidde tot een toename van circa 50 keer in plantdichtheid in vergelijking met de eerdere DIS-methode uit 2017, van circa 1 plant per vierkante meter naar 57 planten per vierkante meter.

Afbeelding 3.19 Het verloop in aantallen opgekomen zeegrasplanten als gevolg van het optimaliseren van de DIS-methode (aanpassingen in aantal inspuitingen, inspuitdiepte & het aantal zaden per inspuiting) door de jaren heen bij Griend en Uithuizen, b) idem voor de zaadontkieming, c) een fotografische weergave van de optimalisatie in het aantal zeegrasplanten per vierkante meter, en het verschil van de openingslocatie in de kitspuit

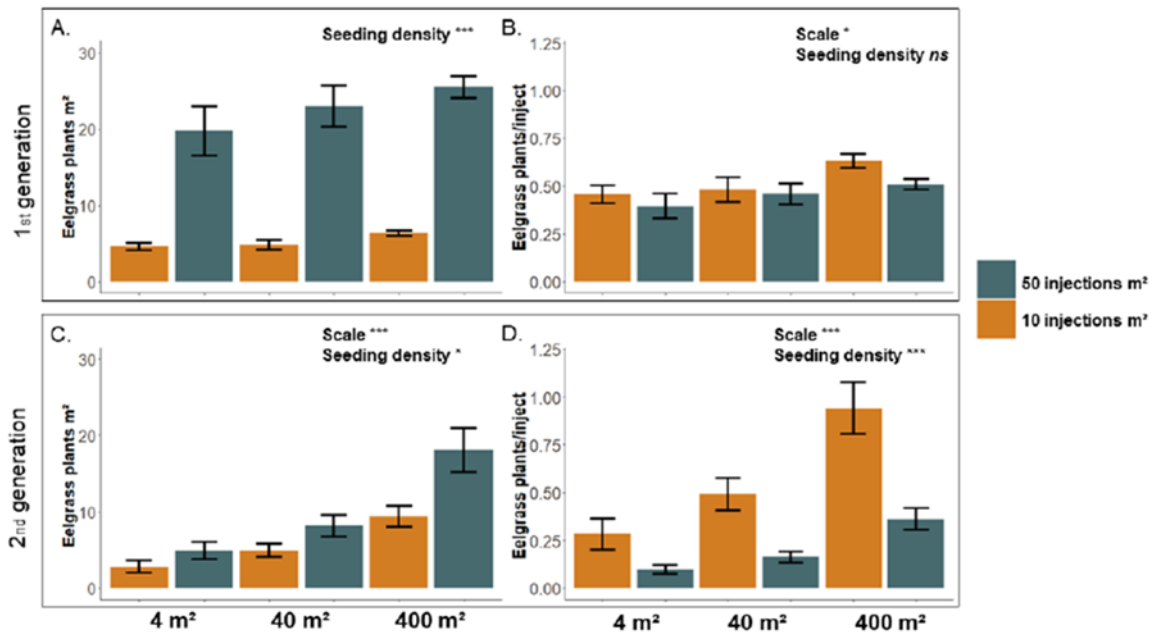


De DIS-methode is pas recent ontwikkeld en staat daarmee zogezegd nog in de kinderschoenen. Momenteel heeft de methode nog enkele tekortkomingen. Zo kost het handmatige inspuiten van het zeegras nog relatief veel manuren. Ook is deze methode niet geschikt in alle gebieden, vooral in gebieden met veel sediment uitspoeling is de DIS-methode nog niet effectief. Overigens moet hier wel bij vermeld worden dat andere methodes in deze gebieden ook niet heel erg succesvol zijn.

### 3.5.4 Zaaidichtheid en schaal

Met de DIS methode zijn een aantal veldexperimenten uitgevoerd waarin de zaaidichtheid en de grootte van het zaaioppervlak onafhankelijk van elkaar zijn getest. Er zijn twee zaaidichtheden (10 en 50 injecties per vierkante meter) en drie zaaioppervlakten (4, 40 en 400 vierkante meter) getest. Een groter zaaioppervlak en een grotere zaaidichtheid leiden beide tot een grotere plantdichtheid. Daarentegen betekent dit niet dat het zaad het meest effectief wordt gebruikt, zoals te zien in afbeelding 3.20. In afbeelding 3.20B, D blijkt dat er verhoudingsgewijs meer zaden volgroeien tot een volwassen plant als een kleinere zaaidichtheid van 10 injecties per vierkante meter wordt toegepast in plaats van 50 injecties. Dit effect is relatief klein voor de eerste generatie zeegras, maar substantieel voor de tweede generatie. Gemiddeld groeien er drie keer zoveel tweede generatie planten per gebruikt zaad bij een kleinere zaaidichtheid (afbeelding 3.20D). Een reden voor dit verschil is dat een grotere zaaidichtheid mogelijk leidt tot meer competitie tussen planten en daardoor minder planten in verhouding tot het gebruikte aantal zaden.

Afbeelding 3.20 Het effect van zaaidichtheid en zaaioppervlak op (A & C) de plantdichtheid per vierkante meter en (B & D) het aantal volgroeide planten per kitspuitinjectie voor (A & B) de eerste generatie en (C & D) de tweede generatie planten. Grotere oppervlakten en een grotere zaaidichtheid van groot zeegras leidt tot een groter aantal planten. De effectiviteit van het zaad (aantal volgroeide planten per injectie) is daarentegen groter bij een lagere zaaidichtheid (Gräfnings, in prep.)



### 3.6 Samenvatting belangrijkste succes- en faalfactoren

Uit voorgaande overzicht blijkt dat er meerdere succes- en faalfactoren zijn. Deze zijn samengevat in tabel 3.4.

Tabel 3.4 Overzicht van succes- en faalfactoren ten aanzien van zeegrasherstel.

Factor	Positief/Negatief	Omschrijving	Referenties
<b>Abiotiek</b>			
golfwerking	-	geldt een optimum voor (zie hoofdstuk 3.2), zeegras heeft een voorkeur voor luwe plekken	Fonseca et al., 1983
sedimentstabiliteit	+	zeegras heeft baat bij stabiel sediment (minder dan +/- 2cm beweging per jaar)	Govers et al. In prep; Gräfnings et al., in prep.
stroming	-	zeegras heeft een voorkeur voor plekken met weinig stroming	Fonseca et al., 1983
nutriënten (N, P)	+/-	minimale nutriënten nodig voor groei maar negatieve effecten van eutrofiëring door mindere lichtkwaliteit en algenverstikking	Giesen et al. 1990; Ertemeijer, 2006

Factor	Positief/Negatief	Omschrijving	Referenties
zware metalen	-	Negatieve invloed op de groei van bladeren en wortels. Afname van biomassa plant.	Lyngby <i>et al.</i> 1984 Qiao <i>et al.</i> 2022
droogvalduur	+/-	optimum -30 - +30 cm NAP	De Jong <i>et al.</i> , 2005
zoutgehalte	+/-	optimum 25-32 psu	De Jong <i>et al.</i> , 2005; Nejrup en Pedersen 2007
sediment sulfide	-	sulfide toxiciteit is negatief	Lamers <i>et al.</i> , 2014
sediment korrelgrootte	+/-	optimum, grof sediment kan leiden tot uitspoeling en fijn sediment bevat meestal meer sulfide	Gräfnings, 2022
<b>Biotiek</b>			
zeeduizendpoot (Hediste diversicolor)	-	zeeduizendpoten eten kiemend groot zeegraszaad en beperken zaailing verstiging	Gräfnings <i>et al.</i> , in prep.; Kwakernaak <i>et al.</i> , 2023
wadpier (Arenicola marina)	-	wadpieren begraven zeegraszaad en ondergraven kiempjes	Reise 1985 ; Philippart 1994 ; Valdermansen <i>et al.</i> , 2011 ; 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 ; Goverts <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
epifyten	-	concurreren met groot zeegras voor licht	Gamble <i>et al.</i> , 2021
wadslakjes & alikruiken	+	grazers verwijderen epifyten van de bladeren	Gräfnings <i>et al.</i> (in prep.)
isopoda & Amphipoda	+	grazers verwijderen epifyten van de bladeren	Gräfnings <i>et al.</i> (in prep.)
bivalven	+	tweekleppigen (bivalven) zijn een positieve indicatie voor het voorkomen van zeegras	Gagnon <i>et al.</i> , 2020 ; Fales <i>et al.</i> , 2020.
watervogels (rotganzen, smienten)	0	rotganzen consumeren volwassen zeegrasplanten tijdens najaarstrek maar kunnen ook successie positief beïnvloeden	Fishman & Orth, 1996; Orth <i>et al.</i> , 2006; Eriksson <i>et al.</i> , 2010; Pringle <i>et al.</i> , 2010

# 4

## BELANGRIJKSTE VERVOLGVRAGEN GROOT ZEEGRASHERSTEL

Het uiteindelijke doel van het project Zeegrasherstel ten aanzien van groot zeegras is om zeegras zodanig terug te brengen dat het areaal zichzelf in stand kan houden op Griend en dat er daarnaast nog minimaal één andere locatie is waar zeegras zich zelfstandig kan redden. Hiervoor zullen in de komende jaren intensieve herplantingen worden uitgevoerd, waarbij de locaties en methodiek zijn geoptimaliseerd op basis van de huidige kennis. Jaarlijks worden de locaties en methodiek geëvalueerd en continu verfijnd.

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste vervolgvragen ten aanzien van groot zeegrasherstel op hoofdlijnen besproken. De belangrijkste kennisvraag die er ligt, is hoe een zeegraspopulatie op landschapsschaal hersteld kan worden? Met andere woorden: hoe plant je op landschapsschaal zo goed mogelijk aan om uitbereiding en verdichting van zeegras te optimaliseren? Een belangrijk onderdeel daarvan is begrijpen onder welke omstandigheden uitbreiding plaatsvindt en wanneer een populatie zelfredzaam is met betrekking tot voortplanting, minimale populatiegrootte, dichtheid en genetische diversiteit.

In onderstaande paragrafen doen we een eerste aanzet om meer inzicht te krijgen in de geschikte locaties, opschaling en zelfredzaamheid. In het Plan van Aanpak - Aanplant groot en klein zeegras wordt hier vervolgens uitgebreid op ingegaan.

### 4.1 Geschikte locaties

Geschikte groeilocaties voor groot zeegras moeten voldoen aan de vereisten die groot zeegras stelt aan haar omgeving (tabel 3.1). Dergelijke groeifactoren zijn grotendeels al meegenomen in de kanskaarten van De Jong (2005), Folmer (2015) en Folmer (2019). In de kanskaart van Folmer (2021) is naast abiotiek ook biotiek meegenomen (wadpieren). Kwakernaak *et al.*, 2023 heeft op basis van nieuwe inzichten rondom zeeduizendpoten (*Hediste diversicolor*) als faalfactor voor groot zeegras zaailingvestiging de kanskaart van de Jong (2005) geupdate. Hierbij is duidelijk geworden dat ongeveer 50 % van de gebieden die in deze kanskaart als kansrijk voor zeegras worden aangemerkt, zodanige hoeveelheden zeeduizendpoten huisvesten, dat de vestiging van groot zeegras uit zaad daar minder kansrijk is (afbeelding 4.1).

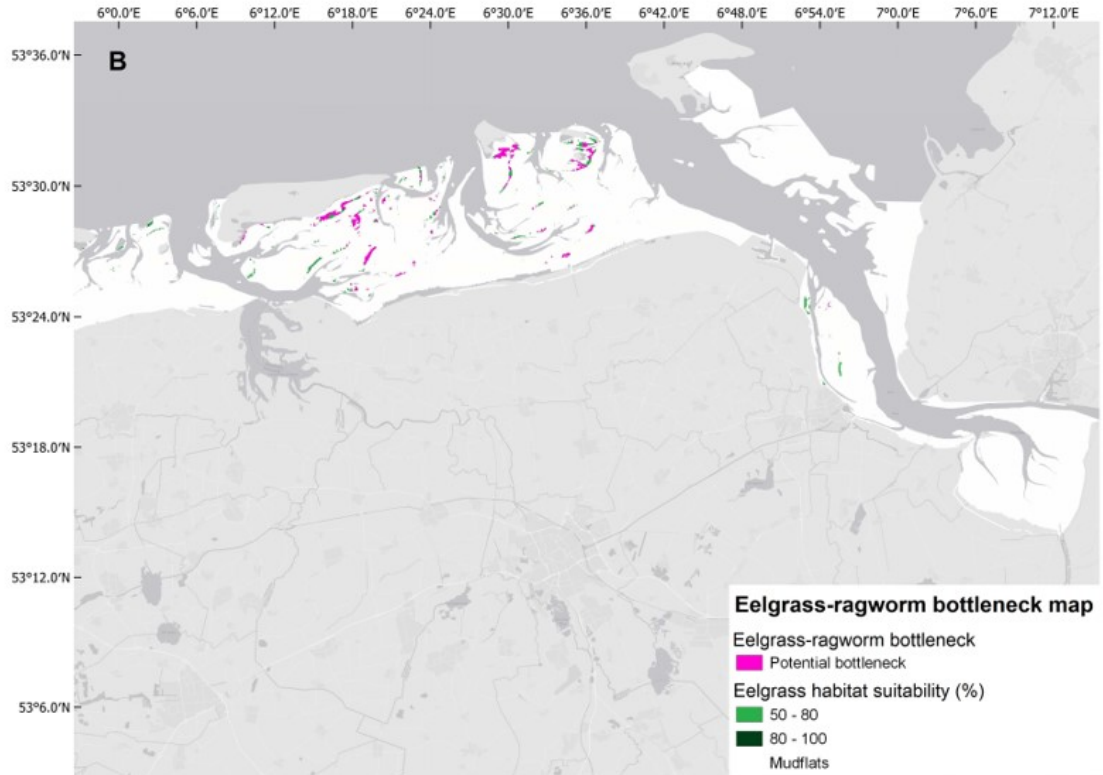
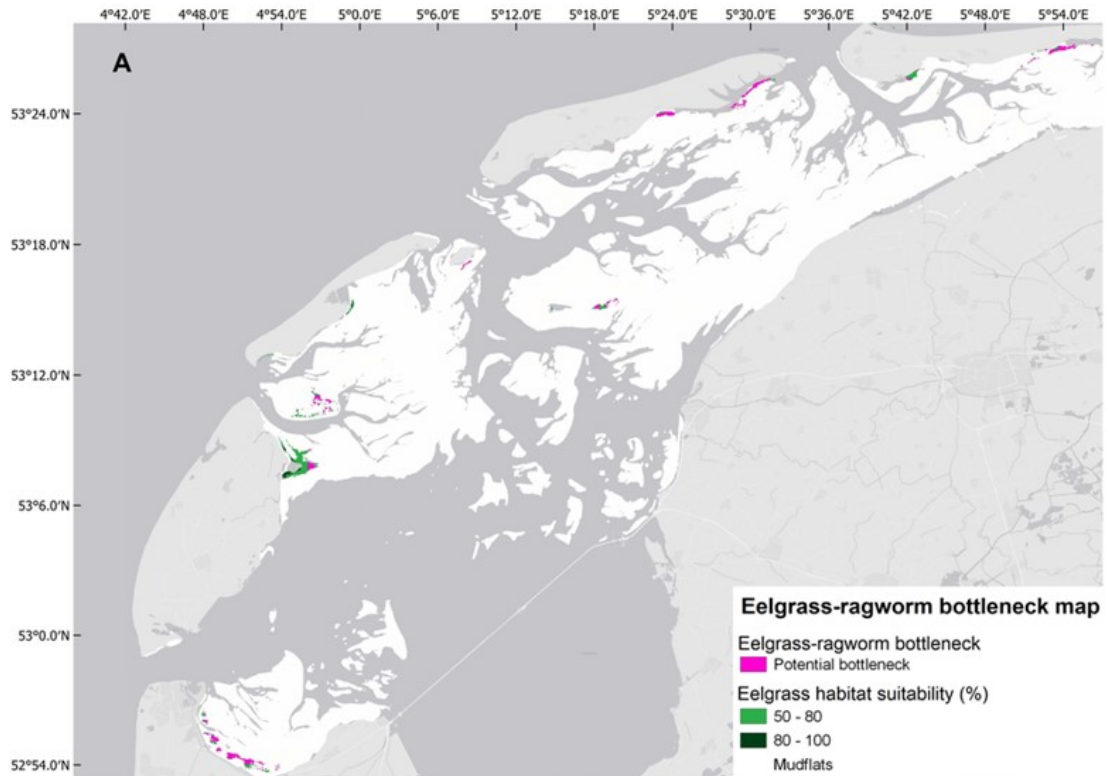
Om inzicht te krijgen in mogelijke geschikte locaties voor *Z. marina* zal in het project de volgende benadering worden toegepast, die eveneens wordt beschreven in het Plan van Aanpak:

- |   |                    |   |
|---|--------------------|---|
| 1 | locatieselectie    | op basis van best beschikbare kanskaarten (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 kanskaarten | met nieuwe beschikbare kennis.  |

Bij potentiële geschikte locaties (incl. omgevingsgeschiktheid) zal uitgebreid worden stilgestaan in het Plan van Aanpak dat binnen het project Zeegrasherstel wordt opgesteld.



Afbeelding 4.1 Kaarten met knelpunten voor groot zeegrasherstel op basis van zeeduizendpoten als faalfactor voor groot zeegras zaailingvestiging i.c.m. de kansenkaart van de Jong (2005), in A) de westelijke Waddenzee en B) de oostelijke Waddenzee (Bron: Kwakernaak et al., 2023)



## 4.2 Opschaling

Opschaling heeft twee componenten: het vergroten van het areaal groot zee gras en het verdichten van het (bestaande) areaal. Met name een verdichting van >5 % bedekking is van belang voor de KRW-doelstellingen. Inzichten die nodig zijn voor opschaling hebben betrekking op het aanplant design, het optimaal en efficiënt zaadgebruik en de zaadverspreiding.

Om inzichten te verkrijgen in de optimalisatie van opschaling wordt de volgende benadering toegepast die ook jaarlijks zal worden uitgewerkt in het Plan van Aanpak Aanplant Groot & Klein zee gras.

### 1 Opschaling:

Voor opschaling is met name de hoeveelheid beschikbaar donorzaad beperkend. Het is daarom essentieel om zo efficiënt mogelijk met donorzaad om te gaan. Daarnaast is het van belang om naast schaal ook naar de optimale plaatsing van zaaiplots in het landschap te kijken om zo snel mogelijk tot grootschalige uitbereiding te komen. Als derde is het van belang dat in het ontwerp van zaaiproeven wordt meegenomen dat niet alleen schaal, maar ook dichtheid van belang is. Het streven is een zee grasbedekking >5 %.

De volgende factoren worden meegenomen in het Plan van Aanpak:

- efficiënt gebruik van donorzaad;
- plaatsing van zaaiplots in het landschap t.b.v. snelle uitbereiding;
- bereiken van een zo groot mogelijk areaal met een bedekking van >5 % zee gras zullen jaarlijks.

### 2 Optimalisatie:

Naast opschaling is ook de optimalisatie van alle uitvoerende stappen van belang. Dit betreft:

- timing van zaadoogst om een zo groot mogelijke opbrengst te genereren per kilo geoogst zee gras materiaal;
- het optimaliseren van kieming om een zo groot mogelijke opbrengst in volwassen planten/zaad te genereren (nu gemiddeld tussen de 1/5 – 1/10).

Ook zal jaarlijks de zaaimethode worden geanalyseerd, waarbij de meest efficiënte methode (niet qua tijd, maar qua opbrengst, omdat zaden kostbaar zijn) zal worden ingezet.

## 4.3 Zelfredzaamheid

Een zelfredzame populatie houdt zichzelf in stand zonder additioneel management, zoals jaarlijks bijzaaien. Dit vergt een bepaalde omvang van een veld in zowel

- 1 omvang (areaal);
- 2 plantdichtheid (#planten hectare);
- 3 totale omvang (totaal aantal planten).

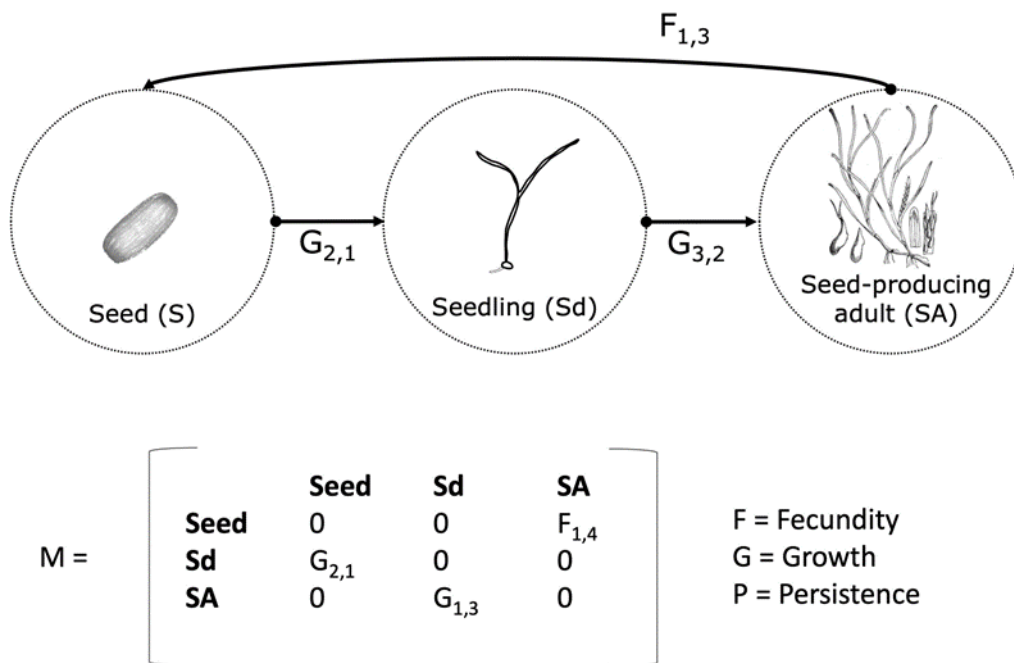
Daarnaast is ook de genetische diversiteit van een populatie van belang voor gezonde populatie. Droogvallend groot zee gras is een éénjarige plant die elk jaar opnieuw uit zaad opkomt (kieming februari-maart), zich vestigt als zaailling (mei) en vervolgens uitgroeit tot een zaad producerende adulte plant (juli-augustus). Deze planten gaan na zaadzetting snel dood (september-oktober). De geproduceerde zaden overleven de winter in de bodem. De zaadbank van droogvallend groot zee gras is maar één jaar vitaal.

Om een inschatting te maken van zowel de ontwikkeling als de zelfredzaamheid van een groot zeegrasveld zullen de volgende onderdelen worden meegenomen het jaarlijkse monitoringsplan:

- 1 contouren van het veld (omvang);
- 2 totaal aantal planten;
- 3 dichtheidsschattingen (ruimtelijk);
- 4 zaadproductie;
- 5 zaailingen m-2;
- 6 adulte planten m-2 In proefplots;
- 7 Zaadbank;
- 8 Genetische dichtheid.

Met behulp van deze data zal een simpel populatiemodel gemaakt worden (o.a. minimal viable population model) om een inschatting te maken van de ontwikkeling van de populatie en de bottlenecks voor populatie-ontwikkeling per zaailocatie (afbeelding 4.2).

Afbeelding 4.2 Voorbeeld van een simpel populatiemodel voor droogvallend groot zeegras



#### 4.4 Aanvullende vragen

Naast onderzoek naar geschikte locaties, opschaling en zelfredzaamheid zal er de komende jaren ook onderzoek gedaan worden naar de volgende kennisleemtes:

- 1 optimale abiotische condities (d.w.z. zoutgehalte, chemicaliën en slibgehalte en organisch materiaal in het sediment) in kaart brengen t.a.v. litoraal groot zeegras;
- 2 historische gegevens van litoraal zeegras in kaart brengen.

Daarnaast is het onzeker in hoeverre klimaatverandering in de toekomstige jaren kan zorgen voor onvoorziene ontwikkelingen waardoor de kansrijke locaties toch niet gunstig zijn (te droog etc.). Hierover zullen we in het eindrapportage kennisontwikkeling een advies uitbrengen. Aangezien zeegrasherstel wereldwijd volop in ontwikkeling is, zullen ook internationale zeegrasprojecten worden gevolgd.

# 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., Bouma, T., Kort, G. & Katwijk, M. (2007). Ecosystem engineering by annual intertidal seagrass beds: Sediment accretion and modification. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 74. 344-348. 10.1016/j.ecss.2007.04.006.

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.

Busch, K. E., Golden, R. R., Parham, T. A., Karrh, L. P., Lewandowski, M. J., & Naylor, M. D. (2010). Large-scale *Zostera marina* (eelgrass) restoration in Chesapeake Bay, Maryland, USA. Part I: a comparison of techniques and associated costs. *Restoration Ecology*. 18(4), pp. 490-500.

Casares, F.A., & Creed, J.C. (2008). Do Small Seagrasses Enhance Density, Richness, and Diversity of Macrofauna? *Journal of Coastal Research* 24: 790–797. doi: <https://doi.org/10.2112/05-0565.1>

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.

Cowart, D. A., Pinheiro, M., Mouchel, O., Maguer, M., Grall, J., Miné, J., & Arnaud-Haond, S. (2015). Metabarcoding is powerful yet still blind: a comparative analysis of morphological and molecular surveys of seagrass communities. *PLoS One*, 10(2), e0117562.

De Fouw, J., Govers, L. L., van de Koppel, J., van Belzen, J., Dorigo, W., Cheikh, M. A. S., ... & van der Heide, T. (2016). Drought, mutualism breakdown, and landscape-scale degradation of seagrass beds. *Current Biology*, 26(8), pp. 1051-1056.

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.

Delefosse M., & Kristensen E. (2012). Burial of *Zostera marina* seeds in sediment inhabited by three polychaetes: laboratory and field studies. *J Sea Res.* 2012;71:41-9. doi: 10.1016/j.seares.2012.04.006

Den Hartog, C. (1952). Sociologische waarnemingen op Schiermonnikoog. *Kruipnieuws* 14, pp. 12-13.

Den Hartog, C., & Polderman, P. J. G. (1975). Changes in the seagrass populations of the Dutch Waddenzee. *Aquatic Botany*, 1, pp. 141-147.

- Den Hartog, C. (1987). "Wasting disease" and other dynamic phenomena in *Zostera* beds. *Aquatic Botany*, 27(1), pp. 3-14.
- Den Hartog, C. (1994). Suocation of a littoral *Zostera* bed by *Enteromorpha radiata*. *Aquatic Botany*, 47, pp. 21–28.
- Dolch, T., Folmer, E.O., Frederiksen, M.S., Herlyn, M., van Katwijk, M.M., Kolbe, K., Krause-Jensen, D., Schmedes, P., Westerbeek, E.P. (2017). Seagrass – *Wadden Sea Quality Status Report*.
- Duarte, C. M., Marbà, N., & Santos, R. (2004). What may cause loss of seagrasses. *European seagrasses: an introduction to monitoring and management*, pp. 24.
- 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.
- Ertfemeijer, P. (2006). "Managing the effects of dredging on seagrasses in the Mediterranean Sea," *Biologia Marina Mediterranea*, vol. 13, pp. 183–188.
- Ertfemeijer, P. L., & Lewis III, R. R. R. (2006). Environmental impacts of dredging on seagrasses: a review. *Marine pollution bulletin*, 52(12), pp. 1553-1572.
- 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.
- 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 zee gras in de trilaterale Waddenzee. Tech. rep., Programma naar een Rijke Waddenzee, Leeuwarden.
- Folmer, E.O. (2019). Update habitatkaart littoraal zee gras voor de Nederlandse Waddenzee. *Ecospace spatial ecology*.
- Fonseca, M. S., Zieman, J. C., Thayer, G. W., & Fisher, J. S. (1983). The role of current velocity in structuring eelgrass (*Zostera marina* L.) meadows. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 17(4), pp. 367-380.
- Fourqurean, J. W., Duarte, C. M., Kennedy, H., Marbà, N., Holmer, M., Mateo, M. A., ... & Serrano, O. (2012). Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock. *Nature geoscience*, 5(7), pp. 505-509.
- Gagnon, K., Rinde, E., Bengil, E. G., Carugati, L., Christianen, M. J., Danovaro, R., et al., (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.B.J.T. (1990). Wasting disease and present eelgrass condition. Laboratory of Aquatic Ecology Catholic University of Nijmegen the Netherlands.

Giesen, W. B. J. T., Van Katwijk, M. M., & Den Hartog, C. (1990). Eelgrass condition and turbidity in the Dutch Wadden Sea. *Aquatic Botany*, 37(1), pp. 71-85.

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., Heusinkveld, J. H. T., Zwarts, M., Hoeijmakers, D., Wiersema, H., Maldonado, G., Hijner, N., Kwakernaak, C., Gatt, Y., Zuidewind, T., Grimm, I., Findji, L., Smeele, Q., Van der Heide, T., Van der Eijk, A. (2023) Zeegrasherstel in de Waddenzee. *De Levende Natuur*, 124(1), pp. 22-27.

Gräfnings M.L.E. (2022) Restored intertidal eelgrass (Z. Marina) supports benthic communities taxonomically and functionally similar to natural seagrasses in the Wadden Sea. Max Gräfnings PHD Thesis November 2022

Gräfnings. M.L.E., Govers, L.L., Jannes, H.T., Heusinkveld, B.R.S., Smeele, Q., Valdez, S.R., van der Heide, T. (in preparation). Macrozoobenthos as indicators of habitat suitability for intertidal seagrass. Max Gräfnings PHD Thesis November 2022

Gräfnings, M.L.E., Heusinkveld, J.H.T., Hoeijmakers, D.J.J., Smeele, Q., Wiersema, H., Zwarts, M., van der Heide, T., Govers, L.L. (in preparation). Optimizing seed injection as a seagrass restoration method. Max Gräfnings PHD Thesis November 2022.

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.

Greve, T.M., Krause-Jensen, D., Rasmussen, M.B. & Christensen, P.B. (2005). Means of rapid eelgrass (*Zostera marina* L.) recolonisation in former dieback areas. *Aquatic Botany*, 82, pp. 143–156.

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.

Heimans, E. (1910). Zeegras. *De Levende Natuur*, 15(3), pp. 50-54.

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

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.

Jarvis, J. C., Brush, M. J., & Moore, K. A. (2014). Modeling loss and recovery of *Zostera marina* beds in the Chesapeake Bay: The role of seedlings and seed-bank viability. *Aquatic Botany*, 113, pp. 32–45.

Johnson, A. J., Shields, E. C., Kendrick, G. A., & Orth, R. J. (2021). Recovery Dynamics of the Seagrass *Zostera marina* Following Mass Mortalities from Two Extreme Climatic Events. *Estuaries and Coasts*, 44(2), pp. 535– 544.

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

Kuusemäe, K., Rasmussen, E. K., Canal-Vergés, P., & Flindt, M. R. (2016). Modelling stressors on the eelgrass recovery process in two Danish estuaries. *Ecological Modelling*, 333, pp. 11–42.

Kuusemäe, K., von Thenen, M., Lange, T., Rasmussen, E. K., Pothoff, M., Sousa, A. I., & Flindt, M. R. (2018). Agent Based Modelling (ABM) of eelgrass (*Zostera marina*) seedbank dynamics in a shallow Danish estuary. *Ecological Modelling*, 371, pp. 60-75.

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), 731–733.

L., Lamers, L. P., Bouma, T. J., Eygensteyn, J., de Brouwer, J. H., Hendriks, A. J., ... & van Katwijk, M. M. (2014). Seagrasses as indicators for coastal trace metal pollution: a global meta-analysis serving as a benchmark, and a Caribbean case study. *Environmental Pollution*, 195, pp. 210-217.

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.

Lyngby, J. E., & Brix, H. (1984). The uptake of heavy metals in eelgrass *Zostera marina* and their effect on growth. *Ecological Bulletins*, pp. 81-89.

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. chesapeakensis* sp. nov. isolated from the seagrass *Zostera marina* in the Northern hemisphere. *European Journal of Plant Pathology*, 153(2), pp. 341-357.

Martinet, J.F. (1782). "Verhandeling over het wier der Zuiderzee", (ed.) H.M.D. Wetenschap. (Haarlem).

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.

- Mcleod, E., Chmura, G. L., Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., Duarte, C. M., Lovelock, C. E., Schlesinger, W. H., & Silliman, B. R. (2011). A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO<sub>2</sub>. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(10), pp. 552–560.
- 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.
- 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.
- Nejrup, L. B., & Pedersen, M. F. (2008). Effects of salinity and water temperature on the ecological performance of *Zostera marina*. *Aquatic Botany*, 88(3), pp. 239–246.
- Oost, A. P., Hofstede, J., Weisse, R., Baart, F., Janssen, G., & Zijlstra, R. (n.d.) *Wadden Sea Quality Status Report: Climate Change*. Common Wadden Sea Secretariat. <https://qsr.waddensea-worldheritage.org/reports/climate-change>
- 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.
- Orth, R. J., & McGlathery, K. J. (2012). Eelgrass recovery in the coastal bays of the Virginia Coast Reserve, USA. *Marine Ecology Progress Series*, 448, pp. 173–176.
- Oudemans C.A.J.A. (1870). *Verslag der Staatscommissie in zake de wiermaaijerij* Netherlands. Staatscommissie in zake de wiermaaijerij,. *Algemeene landsdrukkerij*
- Pickerell, C. H., Schott, S., & Wyllie-Echeverria, S. (2005). Buoy-deployed seeding: demonstration of a new eelgrass (*Zostera marina* L.) planting method. *Ecological Engineering*, 25(2), pp. 127–136.
- Pickerell, C., Schott, S., & Wyllie-Echeverria, S. (2006). *Buoy-deployed seeding: A new low-cost technique for restoration of submerged aquatic vegetation from seed*.
- Philippart, C. (1994). Interactions between *Arenicola marina* and *Zostera noltii* on a tidal -at in the Wadden Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 111, pp. 251–257.
- 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.
- 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.
- Pulido, C., & Borum, J. (2010). Eelgrass (*Zostera marina*) tolerance to anoxia. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 385(1-2), pp. 8–13.
- Qiao, Y., Zhang, Y., Xu, S., Yue, S., Zhang, X., Liu, M., ... & Zhou, Y. (2022). Multi-leveled insights into the response of the eelgrass *Zostera marina* L to Cu than Cd exposure. *Science of The Total Environment*, 845, 157057.
- Reigersman, C.J.A., Houben, G.F.H., Havinga, B., (1939). Rapport omtrent den invloed van de wierziekte op den achteruitgang van de wierbedrijven, met Bijlagen. Provinciale Waterstaat in Noord-Holland, Haarlem.
- Reise, K. (1985). Tidal -at ecology: An experimental approach to species interactions. No. 54 in *Ecological Studies*. Springer, Berlin.



- Reise, K., & Kohlus, J. (2008). Seagrass recovery in the northern Wadden Sea? *Helgoland Marine Research*, 62(1), pp. 77-84.
- Rodríguez, J. A., & Cabrera, J. E. (2005). Una valiosa pradera submarina en Málaga, destruida por arrastreros. *Quercus*, (235), pp. 64-65.
- Sabol, B. M., Shafer, D. J., & Lord, M. E. (2005). Dredging effects on eelgrass (*Zostera marina*) distribution in a New England small boat harbor.
- Scalpone, C. R., Jarvis, J. C., Vasslides, J. M., Testa, J. M., & Ganju, N. K. (2020). Simulated Estuary-Wide Response of Seagrass (*Zostera marina*) to Future Scenarios of Temperature and Sea Level. *Frontiers in Marine Science*, 7.
- 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.
- Statton, J., McMahon, K. M., McCallum, R., Kendrick, G. A., & Lavery, P. S. (2017). Sediment burial stress response, bio-indicators and thresholds for a tropical multispecies seagrass assemblage. *Final Report for Project*, 5(2).
- STOWA (2018). Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de kaderrichtlijn water 2021-2027. Derde druk, rapport 2018-49
- Sullivan, B. K., Sherman, T. D., Damare, V. S., Lilje, O., & Gleason, F. H. (2013). Potential roles of *Labyrinthula* spp. in global seagrass population declines. *Fungal Ecology*, 6(5), pp. 328-338.
- Suykerbuyk, W., Govers, L.L., Bouma, T.J., Giesen, W.B., de Jong, D.J., van de Voort, R., Giesen, K., Giesen, P.T. & 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, 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.
- Valdemarsen, T., Wendelboe, K., Egelund, J.T., Kristensen, E. & Flindt, M.R. (2011). Burial of seeds and seedlings by the lugworm *Arenicola marina* hampers eelgrass (*Zostera marina*) recovery. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 410, pp. 45-52.
- Van Beusekom, J. E. (2005). A historic perspective on Wadden Sea eutrophication. *Helgoland Marine Research*, 59(1), pp. 45-54.
- Van Duren, L., & Van Katwijk, M. M. (2005). Herstelmaatregel groot zeegras in de Nederlandse Waddenzee. *Deltares*.
- Van Duren, L., & Van Katwijk, M. M. (2015). Herstelmaatregel groot zeegras in de Nederlandse Waddenzee. *Deltares*.
- 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](http://www.stowa.nl)

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 Zee, E. M., Angelini, C., Govers, L. L., Christianen, M. J. A., Altieri, A. H., van der Reijden, K. J., Silliman, B. R., van de Koppel, J., van der Geest, M., van Gils, J. A., van der Veer, H. W., Piersma, T., de Ruiter, P. C., Olf, H., & van der Heide, T. (2016). How habitat-modifying organisms structure the food web of two coastal ecosystems. *Proceedings. Biological Sciences / The Royal Society*, 283(1826), 20152326.

Van Goor, A.C.J. (1919). "Het zeegras en zijn betekenis voor het leven der vissen". Rijksinstituut voor Visserij).

Van Katwijk M.M. & Schmitz, G. H.W. (1992). Herintroduktie van zeegras in de Waddenzee: beplantingen in 1991 en 1992. *Laboratorium Aquatische Oecologie*, Katholieke Universiteit Nijmegen, pp. 12.

Van Katwijk, M. M., Schmitz, G. H., Hanssen, L. S., & den Hartog, C. (1998). Suitability of *Zostera marina* populations for transplantation to the Wadden Sea as determined by a mesocosm shading experiment. *Aquatic Botany*, 60(4), pp. 283-305.

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, pp. 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., 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.

Van Katwijk, M.M., W. Suykerbuyk, D.C.R. Hermus & A.R. Bos (2010). *Sediment modification by Zostera marina beds: muddification and sandification induced by plant cover and environmental conditions*. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 89: pp. 175-181

Van Lent, F., & Verschuure, J. M. (1994) Intraspecific variability of *Zostera marina* L. (Eelgrass) in the estuaries and lagoons of the southwestern Netherlands. I. population dynamics. *Aquatic Botany*, 48(1), pp. 31-58.

Vermaat, J. E., Beijer, J. A. J., Gijlstra, R., Hootsmans, M. J. M., Philippart, C. J. M., van den Brink, N. W., & van Vierssen, W. (1993). Leaf dynamics and standing stocks of intertidal *Zostera noltii* Hornem. and *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson on the Banc d'Arguin (Mauritania). In *Ecological Studies in the Coastal Waters of Mauritania* pp. 59-72. Springer Netherlands.

Wang, Z. B., Hoekstra, P., Burchard, H., Ridderinkhof, H., De Swart, H. E., & Stive, M. J. F. (2012). Morphodynamics of the Wadden Sea and its barrier island system. *Ocean & coastal management*, 68, 39-57.

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  
Wijgergangs, L.J.M., & De Jong, D.J. (1999). Een ecologisch profiel van zeegras en de verspreiding in Nederland. Rijksinstituut voor Kust en Zee Middelburg.

Wolff, W.J. (2005). The exploitation of living resources in the Dutch Wadden Sea: a historical overview. *Helgoland Marine research* 59, 31-38.

Xu, S., Zhou, Y., Wang, P., Wang, F., Zhang, X., & Gu, R. (2016). Salinity and temperature significantly influence seed germination, seedling establishment, and seedling growth of eelgrass *Zostera marina* L. *PeerJ*, 4, e2697.