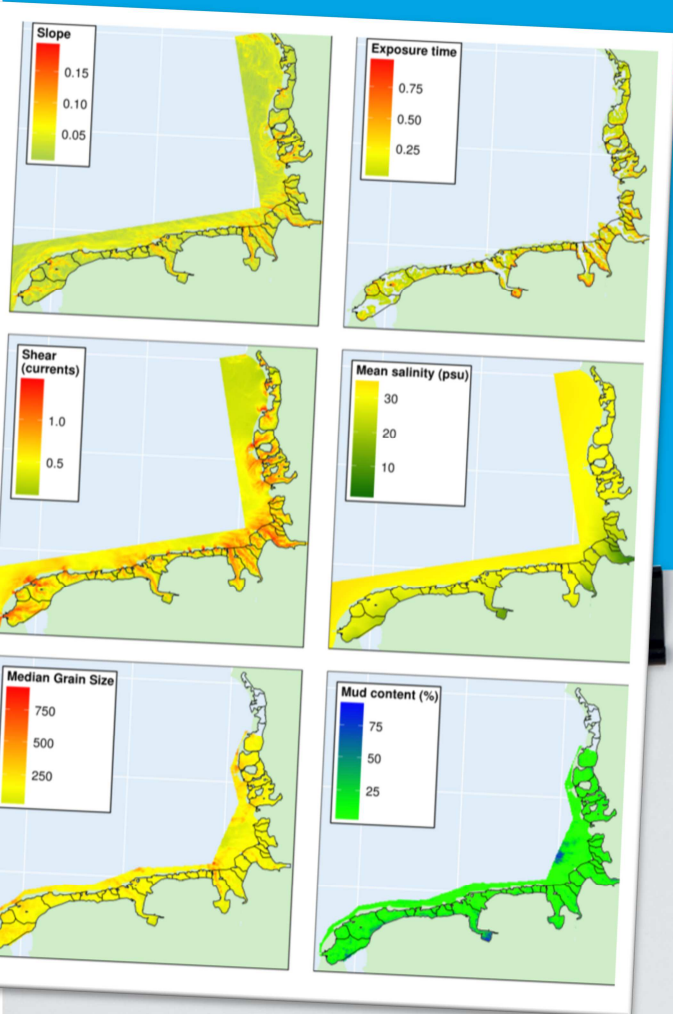


# PROGRAMMA NAAR EEN RIJKE WADDENZEE



## Ontwikkelingen en vestigingsmogelijkheden voor litoraal zeegras in de trilaterale Waddenzee

*Eelke Folmer*



# Vestigingsmogelijkheden voor litoraal zeegras in de Waddenzee

*Dit rapport is een samenvatting van het Engelstalige hoofdrapport "Littoral Seagrass Development in the Tidal Basins of the Wadden Sea in Relation to Habitat Suitability and Eutrophication". In het hoofdrapport wordt de lange termijn ontwikkeling van litoraal zeegras in de trilaterale Waddenzee in detail beschreven en geanalyseerd. Het hoofdrapport bevat ook de gegevens en methodes en de wetenschappelijke onderbouwing.*

# PROGRAMMA **NAAR EEN** **RIJKE WADDENZEE**

**Opdrachtgever: Programma naar een Rijke Waddenzee**

Met ondersteuning van Waddenacademie en WaLTER



# Hoofdstuk 1

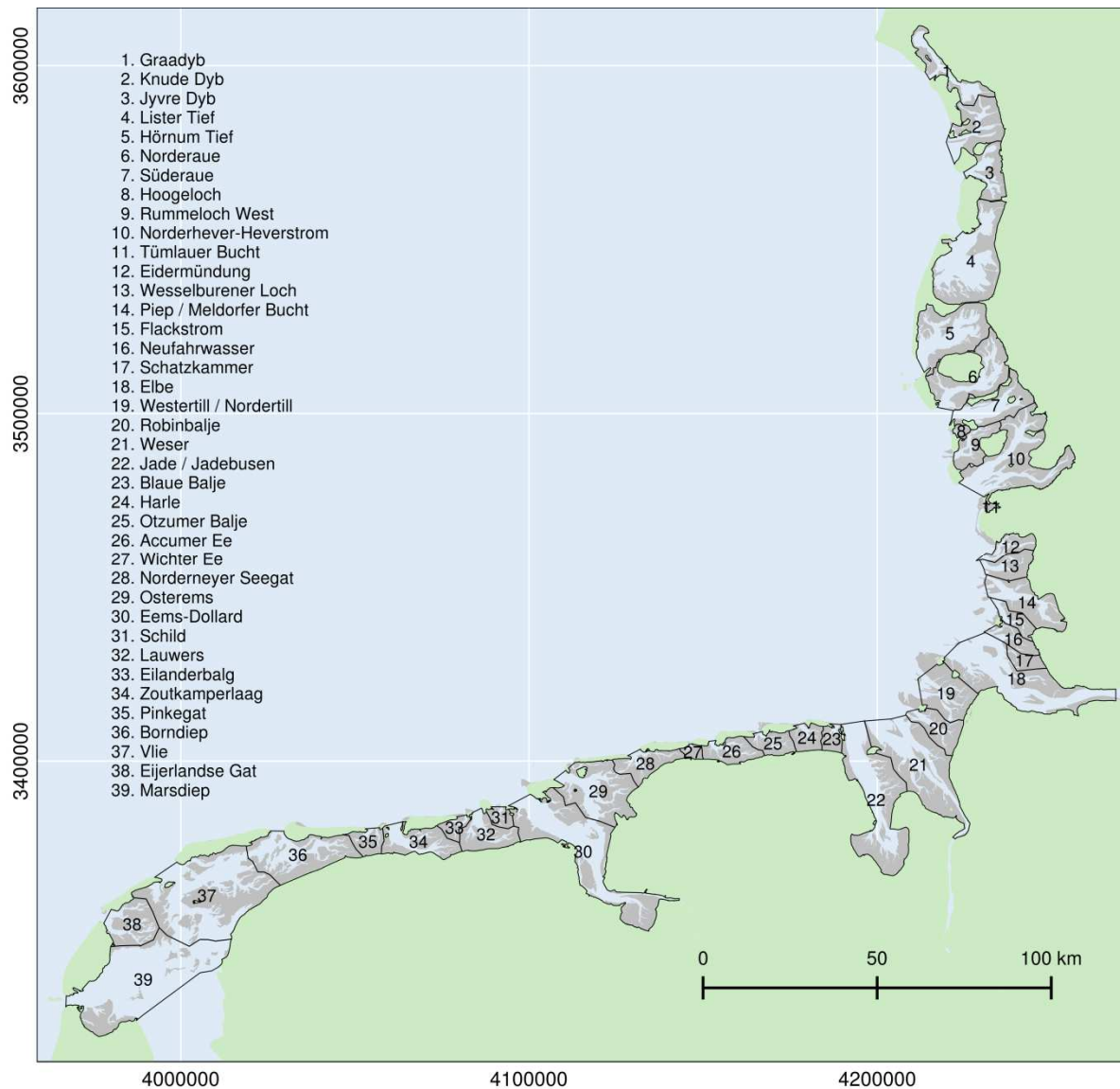
## Achtergrond en doel van het onderzoek

**De Waddenzee is op de UNESCO werelderfgoed lijst geplaatst vanwege de uitzonderlijke natuurlijke waarden (Reise et al. 2010). De Waddenzee behoort tot de meest productieve kustecosystemen ter wereld en het biedt ecosysteem diensten zoals voedselproductie, nutriënten cycli, habitat-visserij verbindingen, bescherming tegen overstromingen en recreatie mogelijkheden. Door menselijk gebruik en het veranderende klimaat bestaat het risico dat de Waddenzee zijn natuurlijke waarden en ecosysteemdiensten verliest. Het veranderende klimaat en de antropogene druk op de Waddenzee vormen daarom een enorme uitdaging voor beleid, beheer, natuurbescherming en wetenschap (CWSS 2009).**

Om meer inzicht te krijgen in de mogelijke effecten van menselijk handelen op het Waddenzee ecosysteem, heeft het Programma Naar een Rijke Waddenzee (PRW) de volgende doelstelling in het Bouwstenenrapport (PRW 2010) opgenomen: Het onderling vergelijken van kombergingsgebieden met betrekking tot de verschillen in abiotische omstandigheden, ecologische ontwikkeling en het gevoerde beleid, om beter grip te krijgen op oorzaak-effect relaties. Deze vergelijking bevat alle kombergingsgebieden van de Waddenzee, dus ook de Duitse en Deense wadden. Het idee achter de "kombergingsaanpak" is dat vergelijkend en integratief onderzoek op basis van kombergingen tot nieuwe inzichten kan leiden welke gebruikt kunnen worden voor effectief beleid en beheer van de Waddenzee.

Zeegras kan grote effecten hebben op de biodiversiteit en het functioneren van de Waddenzee. Litoraal en sublitoraal zeegras is sinds de jaren dertig door o.a. wierziekte, de aanleg van de Afsluitdijk en eutrofiëring in de gehele Waddenzee sterk afgenomen. Sinds de jaren 1950 hebben er in de Nederlandse Waddenzee verschillende zeegras herstelmaatregelen plaatsgevonden maar geen van de maatregelen hebben geleid tot de terugkeer van stabiele zeegras populaties of velden. Sinds de jaren 1990 is litoraal zeegras (zowel *Zostera marina* als *Zostera noltii*) in de noordelijke Waddenzee sterk toegenomen en tegenwoordig is rond 15% van het areaal van het intergetijdengebied in Schleswig-Holstein bedekt met zeegrasvelden. In de zuidelijke Waddenzee daarentegen is herstel achtergebleven en komen er tegenwoordig slechts kleine, dun bedekte velden voor. Omdat het eutrofiëeringsniveau in de noordelijke Waddenzee beduidend lager is dan in de zuidelijke Waddenzee, en omdat eutrofiëring een belangrijke beperkende factor voor zeegras kan zijn (Burkholder et al. 2007), wordt dit verschil vaak genoemd als verklaring voor de divergerende ontwikkelingen (Dolch et al. 2013, CWSS 2009).

Het hoofddoel van dit onderzoeksproject is het verwerven van inzicht in de verspreiding en dynamiek van litoraal zeegras in relatie tot hydrodynamiek, geomorfologie en eutrofiëring in alle kombergingen van de Waddenzee (Figuur 1). Hydrodynamiek, geomorfologie (droogligduur en de krachten die bewegend water op de bodem uitoefent) en eutrofiëring zijn belangrijke factoren voor de vestiging en de ontwikkeling van zeegras. Omdat alle factoren worden beïnvloed door de specifieke eigenschappen van kombergingsgebieden is het essentieel ze per kombergingsgebied te documenteren en analyseren.



**Figuur 1:** Kobergingen van de Waddenzee

Het onderzoek en het rapport is stapsgewijs en hiërarchisch opgebouwd. In hoofdstuk 2 worden de concentraties en trends van eutrofiëringsparameters (i.e. chlorofyl-a en nutriënten concentraties) beschreven en in hoofdstuk 3 komen de verspreidingen en trends van litoraal zeegras aan bod. In hoofdstuk 4 worden de hydrodynamisch-geomorfologische randvoorwaarden voor litoraal zeegras gemodelleerd met behulp van een statistisch verspreidingsmodel (habitat distribution model, HDM). Hiervoor zijn data van de projecten PACE (hydrodynamiek en droogligduur) en Aufmod (sediment: mediane korrelgrootte en slibgehalte) gebruikt. Het verspreidingsmodel is gebruikt om kaarten van zeegras habitat te maken. In hoofdstuk 5 worden verwachtingen voor vestigingsmogelijkheden ontwikkeld op basis van het verspreidingsmodel, eutrofiëring en het voorkomen van zeegras in het verleden. De gehanteerde systematiek en het verworven inzicht kunnen gebruikt worden ter onderbouwing van beschermingsbeleid van zeegrashabitat en voor eventuele herstelmaatregelen.

### **Box: Verantwoording**

Deze studie draagt op de volgende manieren bij aan de PRW missie en de onderzoeksagenda van de Waddenacademie:

1. Het produceert wetenschappelijke informatie en kennis die van belang is voor het beheer van de Waddenzee;
2. Draagt bij aan de ontwikkeling van realistische streefbeelden;
3. Het ondersteunt de transitie van beleid naar beheer vanuit het perspectief van de PRW doelstellingen;
4. Het project is gebaseerd op een internationale samenwerking tussen verschillende actoren in de Waddenzee vanuit beleid, beheer en wetenschap.

Er is veel overlap tussen de doelstellingen en werkvelden van PRW, de Waddenacademie, en de WaLTER en IN PLACE projecten. Om maximale synergie te bewerkstelligen is het project opgezet als een samenwerking tussen de organisaties en projecten. Het adviescomité van het project bestaat uit Dr. Folkert de Jong (CWSS, PRW management team en WaLTER werkpakket leider), Dr. Katja Philippart (NIOZ-Texel, Waddenacademie lid, WaLTER projectleider), Dr. Justus van Beusekom (HZG en Universiteit van Hamburg), Dr. Marieke van Katwijk (Radboud Universiteit, Nijmegen), en Dr. Jacco Kromkamp (NIOZ-Yerseke).

### **Voorafgaand kombergingsonderzoek**

Als eerste stap om de kombergingsaanpak te ontwikkelen heeft PRW de relevantie en de mogelijkheden voor vergelijkend onderzoek aan kombergingen in de trilaterale Waddenzee laten onderzoeken. De uitkomsten van de voorstudie zijn beschreven in het PRW rapport "Data inventory of the tidal basins in the trilateral Wadden Sea" (Kraft et al. 2011). Naast databeschikbaarheid identificeerde de voorstudie de meest urgente beleidsvragen en de daarmee samenhangende wetenschappelijke onderwerpen op basis van literatuur onderzoek en interviews met wetenschappers en beleidsmakers uit Nederland, Duitsland en Denemarken. De meest urgente vragen waren gerelateerd aan de effecten van zeespiegelstijging, klimaatsverandering en menselijk gebruik (met name bodemberoerende activiteiten) op het Waddenzee ecosysteem. Het vergelijken van kombergingen op basis van abiotische omstandigheden en ecologische ontwikkelingen werd als zeer nuttig geacht voor wetenschappelijke vooruitgang en voor de ontwikkeling van effectief beleid. De voorstudie geeft tevens een overzicht van de belangrijkste parameter groepen die nodig zijn om de geïdentificeerde vragen aan te snijden en de fysische, chemische en biologische eigenschappen en het menselijk gebruik van kombergingen te beschrijven. Ten slotte beschrijft de voorstudie de kwaliteit en de beschikbaarheid van bestaande datasets verzameld door de meest grootschalige monitoringsprogramma's in de trilaterale Waddenzee. Verschillende, zeer bruikbare data verzameling- en harmonisatie initiatieven zijn geïdentificeerd. Echter, de voorstudie maakt ook belangrijke leemtes zichtbaar (bijvoorbeeld gedetailleerde gegevens over menselijk gebruik, sediment budgetten, primaire en secundaire productie).

Op basis van de voorstudie is besloten om een specifieke casus uit te voeren waarin de verdelingen en ontwikkelingen van litorale mosselbanken tussen kombergingen worden vergeleken (Folmer 2012). De verwachting was dat een belangrijke leemte opgevuld kon worden door de patronen in ruimte en tijd van litorale mosselbanken door de gehele Waddenzee te vergelijken. De studie leidde inderdaad tot belangrijke wetenschappelijke inzichten die gebruikt kunnen worden voor

bescherming, beleid en beheer. De studie illustreert in bredere zin de relevantie van vergelijkend onderzoek op basis van kombergingen. De mosselbank casus laat zien dat lange termijn verspreidingen van mosselbanken sterk gerelateerd zijn aan de algemene karakteristieken van kombergingen zoals de mate van verstoring door stromingen en golven. Verder laat de studie zien dat ondanks de hoge temporele variatie in het voorkomen van mosselbanken, de verschillen tussen kombergingen over lange termijn opvallend consistent zijn (Folmer 2012, Folmer et al. 2014). Dit resultaat is nuttig om een historisch perspectief te vormen en om realistische en ruimtelijk expliciete verwachtingen te ontwikkelen en dus van groot belang voor het formuleren van bescherming en beheersdoelen voor intergetijdeplaten. Bijvoorbeeld, voor Natura 2000 hangt de ecologische waardering van de kwaliteit van intergetijdeplaten onder andere af van de aanwezigheid en dichtheid van mosselbanken. De trilaterale mosselbank casus illustreert dat de afwezigheid van mosselbanken niet noodzakelijkerwijs tot een negatieve beoordeling dient te leiden omdat natuurlijke milieucondities beperkend kunnen zijn voor de ontwikkeling en het voortbestaan van mosselbanken. Ten slotte is de studie waardevol omdat gecompileerde informatie gebruikt kan worden om waterkwaliteit parameters te evalueren voor de Kaderrichtlijn Water (KRW) en de Kaderrichtlijn Mariene Strategie (KRM). De mosselbank casus heeft tevens additionele beleid- en wetenschappelijke vragen met betrekking tot de invloed van fytoplankton concentraties en primaire productie op ecologische ontwikkelingen in de trilaterale Waddenzee opgeleverd.

# Hoofdstuk 2

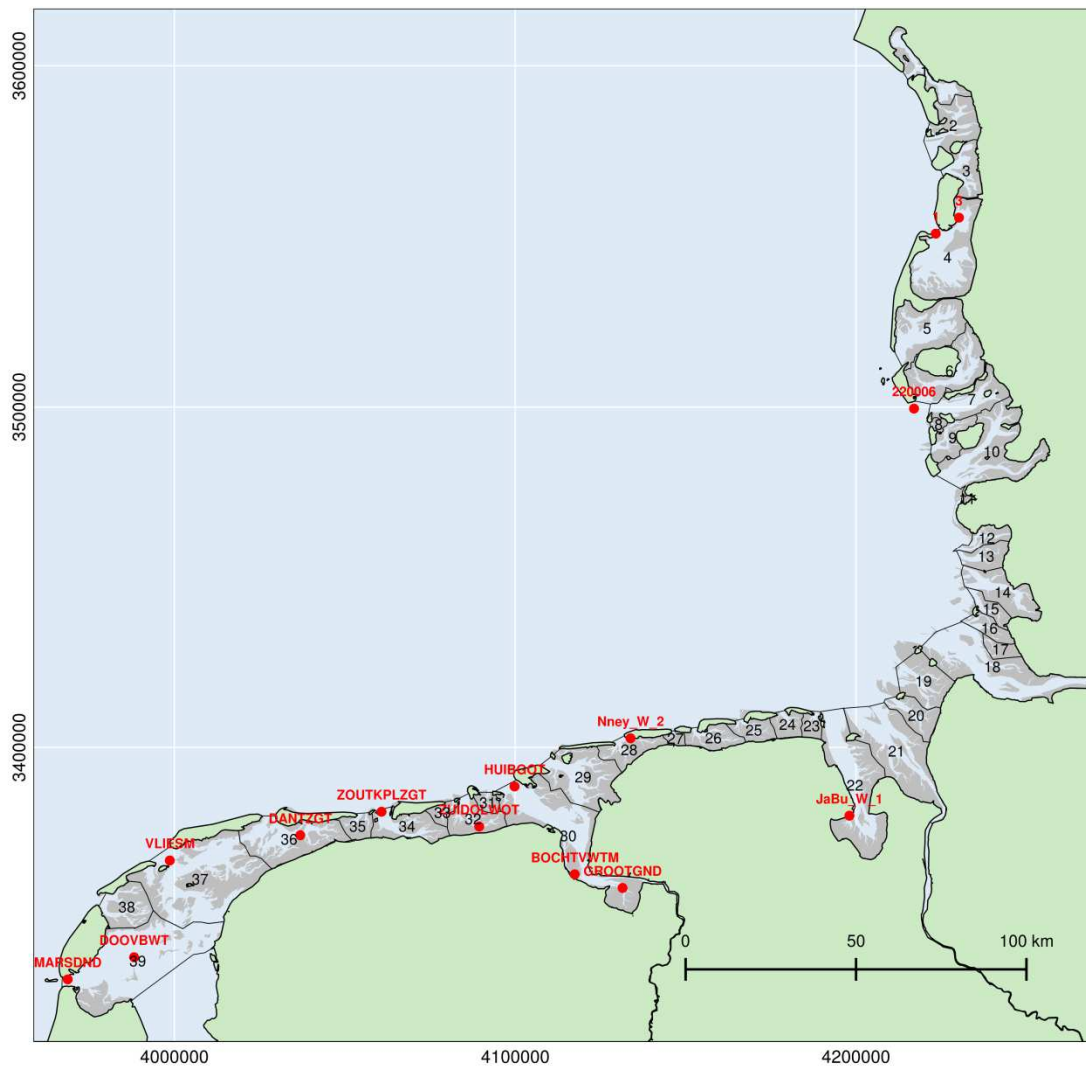
## Trends in chlorofyl-a, nutriënten concentraties en saliniteit

**Dit hoofdstuk presenteert een geografisch overzicht van data en trends in chlorofyl-a en nutriënten concentraties en saliniteit in de trilaterale Waddenzee. Deze informatie is nodig om vergelijkingen van de mate van eutrofiëring tussen kombergingen te maken.**

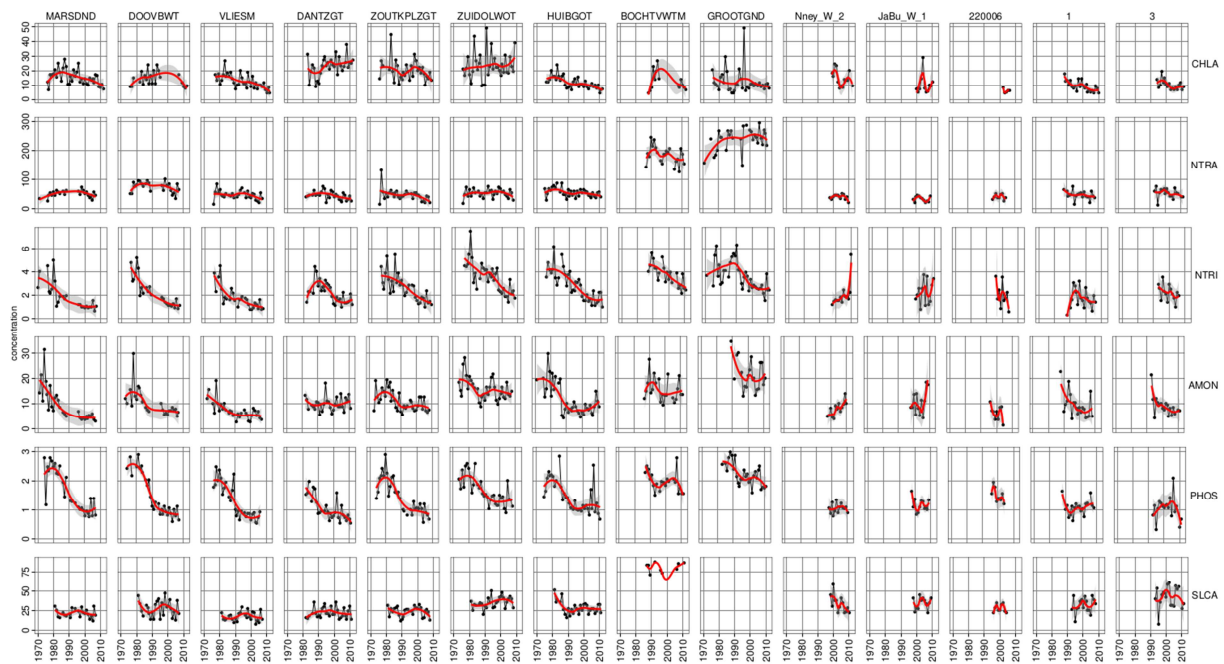
Eutrofiëring speelt een belangrijke rol bij de groei van zeegras (Burkholder et al. 2007). Een hoge concentratie van nutriënten stimuleert de groei van epifyten op zeegrasbladeren waardoor minder licht de zeegrasbladeren kan bereiken en de groei van zeegras belemmerd wordt (Philippart 1995, van Katwijk et al. 2000). Eutrofiëring gaat ook samen met de groei van macroalgen die op zeegrasvelden terecht kunnen komen alwaar ze zeegrasplanten verstikken (Dolch et al. 2013). In de literatuur wordt ook vaak vertroebeling van de waterkolom door fytoplankton genoemd als beperkende factor; hierbij dient echter te worden opgemerkt dat dit vooral een rol speelt in diepere kustwateren (Burkholder et al. 2007). De mate van eutrofiëring kan goed beschreven worden aan de hand van chlorofyl-a en nutriënten concentraties.

Voor dit overzicht is gebruik gemaakt van de stations die binnen het Trilateral Monitoring and Assessment Program (TMAP) vallen waarvoor voldoende data beschikbaar was voor systematische vergelijkingen (Figuur 2) (zie hoofdrapport voor alle TMAP stations en selectiecriteria). In de meeste Nederlandse kombergingen zijn er stations met relatief lange tijdseries (Figuur 3). Helaas zijn er voor de Duitse en Deense Waddenzee zulke lange tijdseries niet beschikbaar. De kombergingen met redelijk lange termijn data series van nutriënten en chlorofyl-a zijn 4, 6, 7, 22, 28, 30, 32, 34, 36, 37 en 39. Er dient te worden opgemerkt dat sommige van de meetstations diep in de kombergingen liggen terwijl andere stations in of nabij de zeegaten liggen. Dit soort geografische verschillen binnen kombergingen kunnen aanzienlijke effecten hebben op de gemeten chlorofyl-a en nutriënten concentraties (Cloern 2001).





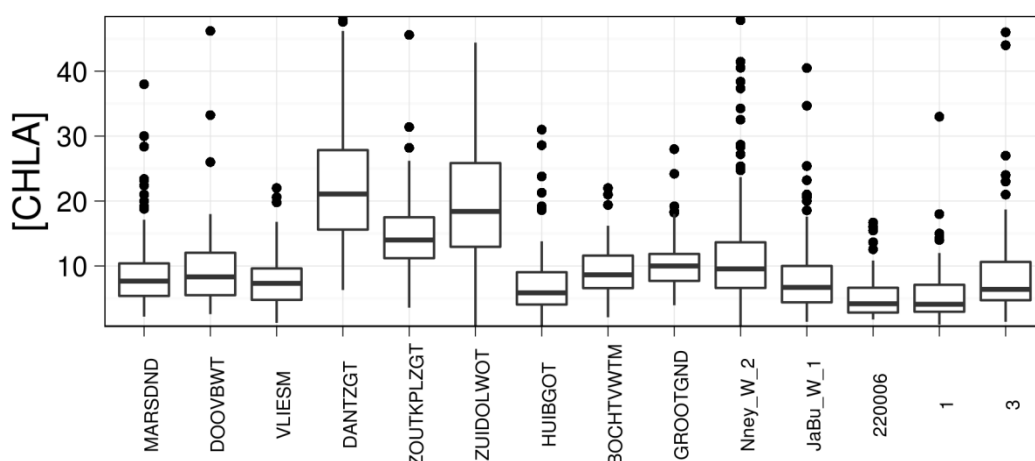
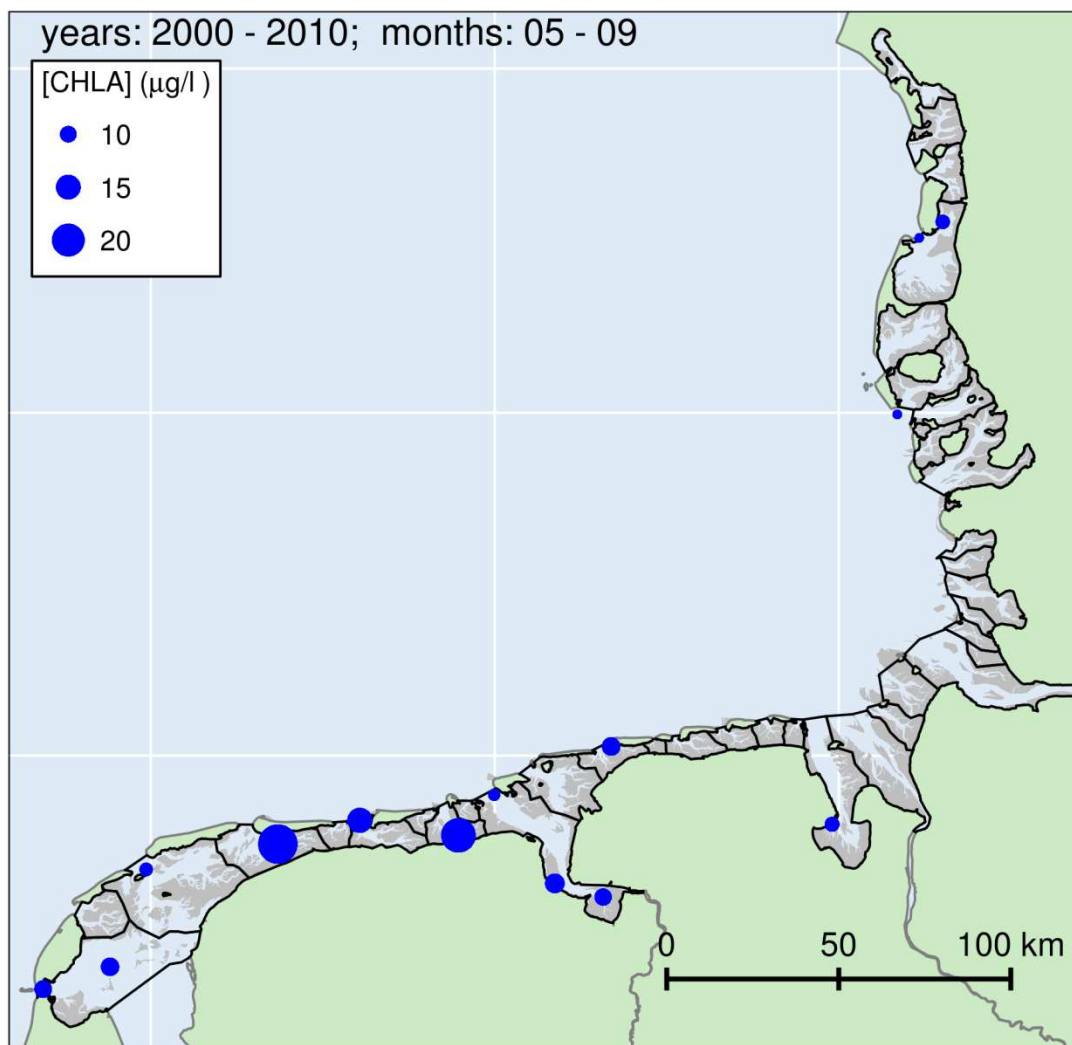
**Figuur 2:** Waddenzee met kombergingen en TMAP monitor stations. Stations met voldoende data voor analyse zijn in de kaart opgenomen.



**Figuur 3:** Lange termijn trends in zomer chlorofyl-a en winter nutriënt concentraties voor de geselecteerde TMAP stations. Punten representeren gemiddelde concentraties voor jaren en perioden. De rode lijn is de loess smoother en helpt om de trend zichtbaar te maken.

Ondanks de voorselectie is er substantiële variabiliteit in de data dichtheid tussen de stations wat vergelijking van de trends tussen kombergingen bemoeilijkt. Voor sommige periodes en stations zijn de aantallen metingen per tijdseenheid hoog terwijl voor andere stations relatief weinig metingen gedaan zijn. Door de onregelmatige tijdseries te interpoleren is dit probleem beperkt (zie hoofdrapport voor methodische details). De lange termijn trends die berekend zijn op basis van de temporeel onregelmatige metingen (maar meer dan twee per seizoen) zijn vrijwel identiek aan de trends op basis van de geïnterpoleerde waarden. Het is geruststellend om te weten dat de berekende trends en de uiteindelijke conclusies niet afhangen van de gebruikte methode.

Hoewel de data dichtheid sterk varieert zijn er interessante en robuuste patronen en trends te zien. De gemiddelde zomer (van mei t/m september) concentraties van chlorofyl-a over de periode 2000 - 2010 staan gepresenteerd in de kaart van figuur 4. Deze figuur laat zien dat de chlorofyl-a concentraties in de noordelijke Waddenzee beduidend lager zijn dan in de zuidelijke Waddenzee. De hoogste chlorofyl-a concentraties worden in de oostelijk Nederlandse Waddenzee (maar buiten de Eems-Dollard) gemeten. De concentraties en regionale patronen komen overeen met de bevindingen uit het Quality Status Report (Van Beusekom et al. 2009). In het hoofdrapport zijn soortgelijke kaarten als figuur 4 voor alle nutriënten en de saliniteit ook opgenomen.



**Figuur 4:** Kaart en boxplot van chlorofyl-a concentraties (in  $\mu\text{g/l}$ ) tussen 2000 en 2010 voor de maanden mei - september. De grootte van de punten in de kaart corresponderen met de gemiddelde concentraties. In de boxplot zijn de stations geordend van zuidwest naar noordoost.

De chlorofyl-a concentraties zijn afgenomen sinds begin jaren 80 bij de Nederlandse stations MARSDND, VLIESM, HUIBGOT en sinds eind jaren 80 / begin jaren 1990 bij de stations 1 en 3 in Schleswig-Holstein. Door de grote variatie en beperkte hoeveelheid metingen zijn er geen duidelijke veranderingen in chlorofyl-a concentraties zichtbaar bij de stations DOOVBWT, DANTZGT, ZOUTKPLZGT, ZUIDOLWOT, BOCHTVWTM, GROOTGND, Nney\_W\_2, JaBu\_W\_1 en 220006. In de Nederlandse Waddenzee zijn tussen 1970 en 1990 de nitraat concentraties toegenomen of constant gebleven. Maar tussen 1990 en 2010 laten de meeste Nederlandse stations een afname in nitraat concentratie zien. De uitzondering is GROOTGND in de Dollard waar de nitraat concentraties zeer hoog zijn en een variabele maar positieve trend laten zien. De Duitse stations Nney\_W\_2, 1 en 3 laten een afname zien vanaf eind jaren 90. De nitriet concentraties laten een sterke afname zien vanaf een waarde van 3.5 µmol/l in de begin jaren 80 tot 1.5 µmol/l rond 2010. De trends in nitriet concentraties in Duitsland zijn minder duidelijk hoewel de concentraties van stations 1 en 3 licht lijken af te nemen. De ammonium concentraties zijn door de gehele Waddenzee sterk afgenomen. De snelheid van de afname is bij de meeste locaties echter afgenomen. DANTZGT, Nney\_W\_2 en JaBu\_W\_1 zijn uitzonderingen waar constante niveaus of zelfs toenames te zien zijn. De fosfaat concentraties zijn door de gehele Waddenzee sinds de jaren 80 zeer sterk gedaald. In de westelijke Waddenzee is een afname van ca. 60% te zien. Sinds de jaren 90 zijn de sterke afnames gestagneerd en geven de verschillende stations een wisselend beeld waarbij bij enkele stations ook toenames in fosfaat concentraties te zien zijn. De silicaat trends laten geen duidelijke patronen zien. Het is wel opvallend dat de nutriënten concentraties in de Eems-Dollard extreem hoog zijn (stations BOCHTVWTM en GROOTGND).

## Implicaties voor verwachte zeegrasonwikkeling

Indien eutrofiëring een beperkende factor is, dan mag worden aangenomen dat de-eutrofiëring gunstig is voor zeegrasonwikkeling (Burkholder et al. 2007). De dalende chlorofyl-a concentraties in de noordelijke Waddenzee kunnen de toename in zeegras in dit deel van de Waddenzee helpen verklaren (Dolch et al. 2013) (Hoofdstuk 3). De chlorofyl-a concentraties in de westelijke Nederlandse Waddenzee nemen ook af en benaderen de concentraties van de noordelijke Waddenzee. Het is daarom mogelijk dat ook in de westelijk Nederlandse Waddenzee de groeicondities voor zeegras verbeteren. Chlorofyl-a concentraties in de oostelijke Nederlandse Waddenzee zijn hoog en de trends zijn wisselend. Daarmee lijken de condities vanuit het perspectief van eutrofiëring voor zeegras in de oostelijke Waddenzee niet verbeterd te zijn. De chlorofyl-a concentraties in Neder-Saksen zijn hoger dan in de noordelijke Waddenzee en op ongeveer hetzelfde niveau als in de westelijke Nederlandse Waddenzee. Vanwege de korte tijdseries zijn de trends niet zichtbaar wat het moeilijk maakt om te beoordelen of de condities voor zeegrasonwikkeling verbeterd zijn of niet. De snelheid van afname van de concentraties van ammonium, nitriet en fosfaat zijn tegenwoordig lager dan in de jaren 90. Dit suggereert dat de snelheid van de-eutrofiëring is afgenomen wat consequenties heeft voor toekomstige chlorofyl-a concentraties en de ontwikkeling van zeegras.

# Hoofdstuk 3

## Litorale zeegras ontwikkelingen in de Waddenzee

**Ruimtelijke spreiding en temporele ontwikkelingen van litoraal zeegras is essentieel voor effectief beheer, bescherming en herstel. In dit hoofdstuk wordt een overzicht van de ontwikkelingen van zeegrasvelden door de gehele Waddenzee gepresenteerd op basis van beschikbare data uit Nederland, Duitsland en Denemarken. De gecompileerde dataset wordt vervolgens gebruikt om het zeegras verspreidingsmodel te ontwikkelen.**

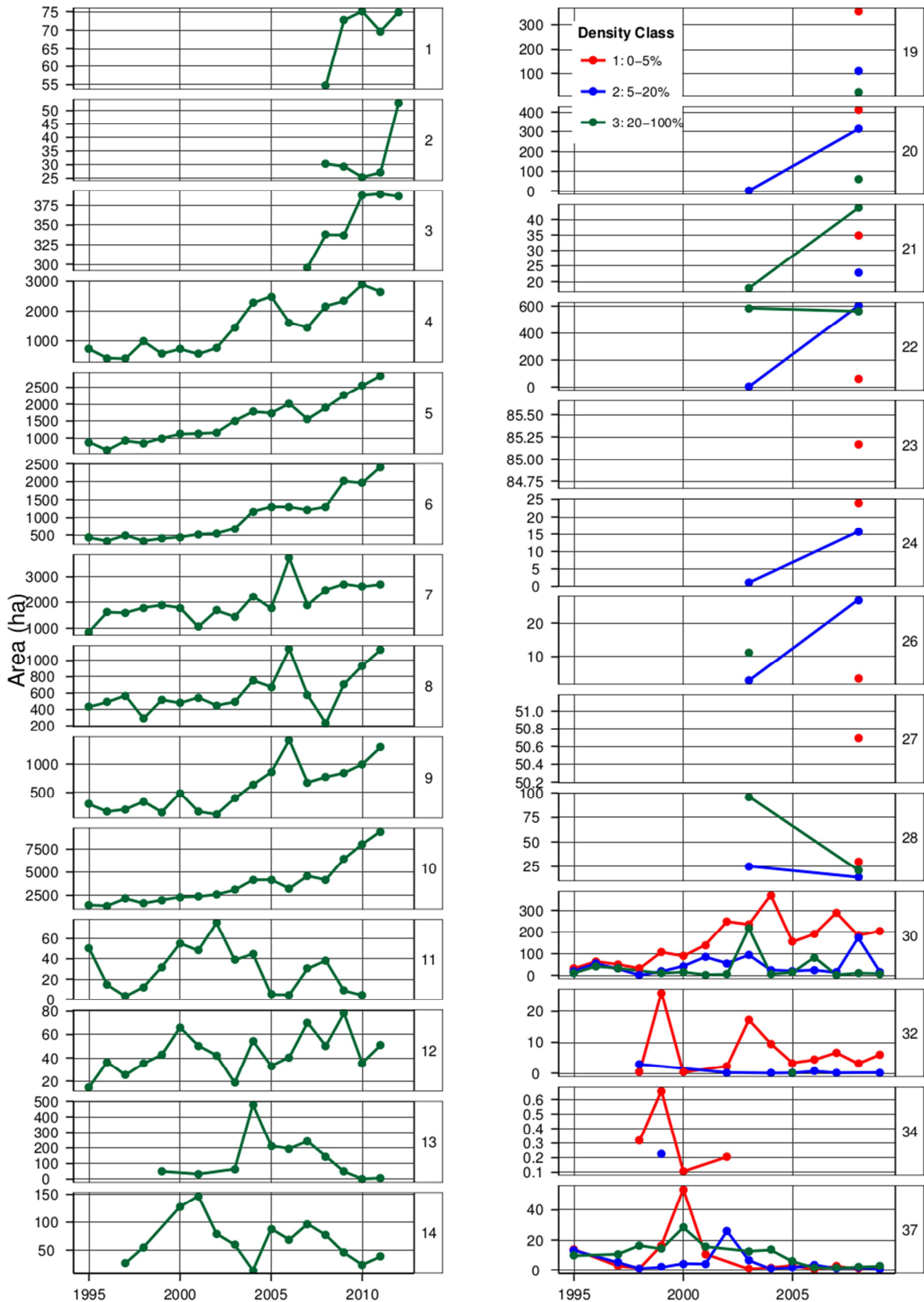
Zeegras karteringen in de Waddenzee zijn onderdeel van het TMAP (Trilateral Monitoring and Assessment Program). De "TMAP seagrass working group" heeft in het verleden de vergelijkbaarheid van de zeegras data van Denemarken, Duitsland en Nederland onderzocht. In het Quality Status Rapport (QSR) van 2004 werd geconcludeerd dat een geharmoniseerde vergelijking van monitoringdata tussen de landen bemoeilijkt wordt door beperkte vergelijkbaarheid van meetmethodes en data (Essink et al. 2005). Een belangrijke reden voor de methodische verschillen is dat er in de noordelijke Waddenzee veel grote zeegrasvelden bestaan terwijl er in de zuidelijke Waddenzee veel minder zeegras is. Deze verschillen verlangen aangepaste monitoringsinspanningen wat resulteert in moeilijk vergelijkbare datasets. Toch is het mogelijk om een globaal beeld te ontwikkelen van trilaterale zeegras ontwikkelingen waarbij de beperkingen van de data worden gerespecteerd.

In het hoofdrapport worden voor Nederland, Neder-Saksen, Schleswig-Holstein en Denemarken de monitoringmethoden beschreven en met behulp van detailkaarten en figuren de litorale zeegras ontwikkelingen per regio geïllustreerd. In Nederland worden contouren van zeegrasvelden door onderzoekers met GPS gedetailleerd in kaart gebracht. In Denemarken en Schleswig-Holstein worden zeegrasvelden vanuit een vliegtuig gekarteerd. Vanuit een vliegtuig zijn dunne bedekkingen niet zichtbaar waardoor er alleen hoge dichtheidsklassen bestaan. De verschillen tussen de regio's hangen daarom samen met de verschillende dichtheidsklassen en het scoren van soortensamenstellingen (die vanuit de lucht niet waarneembaar zijn) van de zeegrasvelden. In het hoofdrapport worden de oorspronkelijke regionale dichtheidsklassen geherclassificeerd waardoor de trends per komberging onderling toch vergeleken kunnen worden. In dit rapport worden de uitkomsten van deze harmonisatie gepresenteerd. Ten slotte wordt hier ook de zeegras compilatie van de jaren 70 door Kees Dijkema (Dijkema et al. 1989) gepresenteerd ter vergelijking met de situatie van de periode 1988 - 2010 (Figuur 6 en 7).

### 3.1 Tijdsseries per komberging

Figuur 5 illustreert de zeegras trends voor alle kombergingen van de gehele trilaterale Waddenzee. De linker kolom met panelen illustreert de trends in de kombergingen van de noordelijke Waddenzee (Denemarken en Schleswig-Holstein, kombergingen 1-14). In de beschutte kombergingen 1-10 is er sprake van een duidelijke en gelijkmatige toename van zeegras. In de meer open en dus meer aan golven blootgestelde kombergingen 11-14 ten noorden van de Elbe zijn de bedekkingen gemiddeld veel lager dan in het noorden van het gebied. Tevens zijn de trends in deze geëxponeerde kombergingen meer variabel. De rechter kolom met panelen in Figuur 5 beschrijft de zeegras trends in de zuidelijke Waddenzee (ten zuiden en westen van de Elbe). Ten eerste moet worden opgemerkt dat zeegras in de hoge bedekkingsklasse (i.e. >20%) in de

zuidelijke Waddenzee vrijwel niet voorkomt. Ten tweede moet worden opgemerkt dat de "trends" in Neder-Saksen gebaseerd zijn op slechts twee karteringen in 2003 en 2008. De grafiek laat zien dat tussen 2003 en 2008 de bedekking in vrijwel geheel Neder-Saksen toegenomen is. De uitzondering is komberging 28 waar een *Zostera noltii* zeegrasveld verdwenen is tussen de plaats Norden op het vaste land en de oostpunt van het eiland Juist (zie hoofdrapport voor kaartmateriaal). In de Nederlandse Waddenzee komt zeegras gedurende de periode 1988-2010 alleen voor in kombergingen 30, 32, 34 en 37. In komberging 30 (Eems-Dollard) is er sprake van een toename vanaf eind jaren 90 die sinds 2003 zeer variabel is.



**Figuur 5:** Litorale zeegrass tijdseries per komberging voor de gehele Waddenzee op basis van drie bedekkingsklassen.

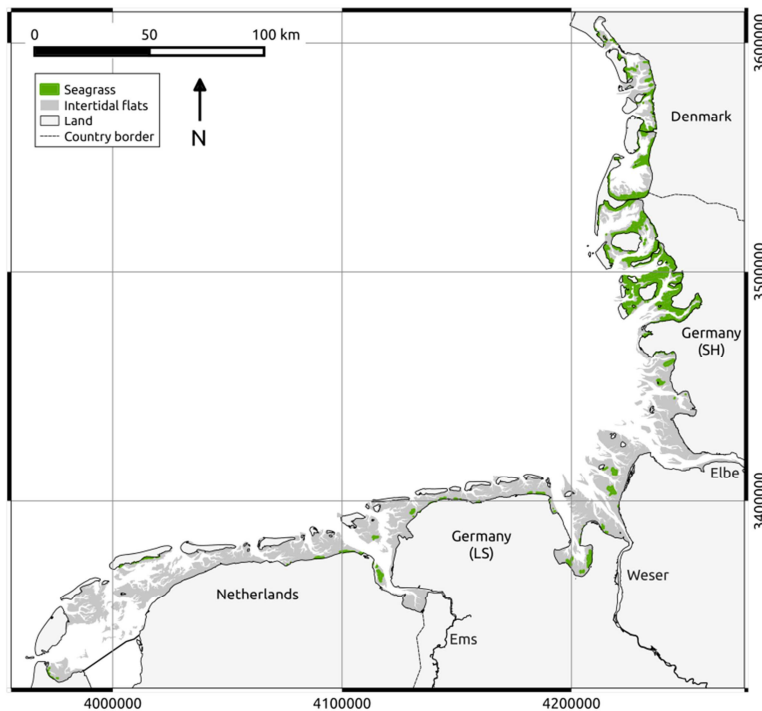
NB: In 2007 is alleen het zuidelijke deel van de Deense Waddenzee gemonitord. Daarom is de inschatting van komberging 1 in 2007 lager dan de werkelijke situatie.

### 3.2 Trilaterale zeegrass kaarten

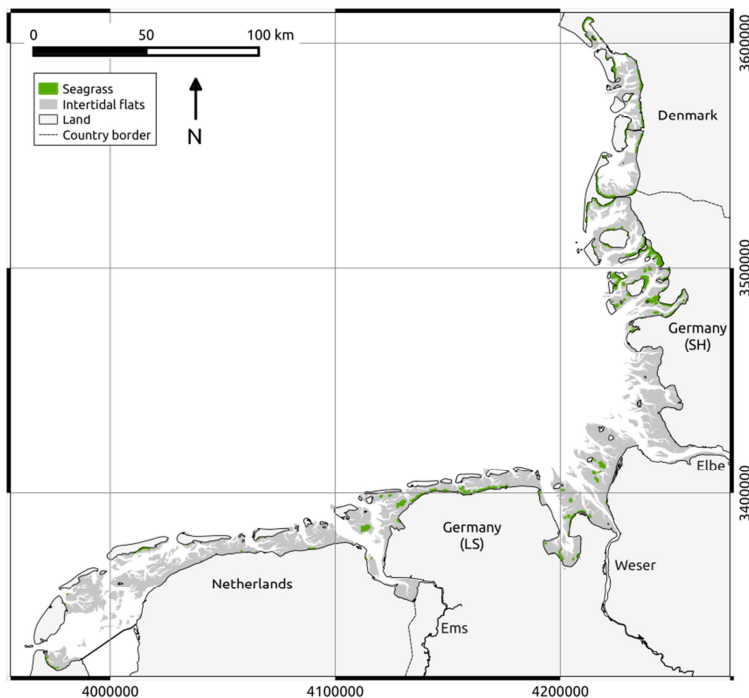
De huidige zeegrass verspreidingen en de verspreidingen van eind jaren 70 staan in de kaarten in Figuur 6 en 7 gepresenteerd. Over het algemeen vertonen de verspreidingen tussen de twee perioden behoorlijk grote gelijkenis. De kartering methodes verschillen sterk tussen en binnen de kaarten. Daarom kunnen ze "slechts" gebruikt worden voor globale vergelijkingen van het type plekken die in de verschillende periodes bedekt werden. Er dient te worden opgemerkt dat de situatie in de jaren 70 geenszins een streefbeeld is. In beide perioden kwamen de grootste zeegrassvelden voor in de noordelijke Waddenzee, al zijn er tegenwoordig vele plekken in Schleswig-Holstein bedekt die in de jaren 70 nog onbedekt waren. Over het algemeen is de bedekking in de zuidelijke Waddenzee zeer laag. Enkele zeegrassvelden komen voor in de Jadebusen, Eems-Dollard (Hond-Paap) en langs de vastelandskust van Neder-Saksen en de provincie Groningen. Opvallend is het verdwijnen van zeegrassvelden op een groot aantal plekken langs de vastelandskust in Neder-Saksen.

Beide kaarten geven belangrijke informatie over de potentiële geschiktheid van de kombergingen voor zeegrass en zijn daarom zeer waardevol voor de ontwikkeling van het zeegrass verspreidingsmodel in het volgende hoofdstuk.





**Figuur 6:** Litorale zeegraskaart op basis van karteringen in de periode 1988-2010. Alle observaties van zeegrasvelden zijn hier gecombineerd. Bij de interpretatie van deze kaart dient er rekening mee gehouden te worden dat karteringen niet in alle gebieden even vaak plaatsgevonden hebben en dat de methodiek per deelgebied verschilt.



**Figuur 7:** Zeegras verspreidingskaart representatief voor eind jaren 70. De kaart is geconstrueerd op basis van de compilatie van Dijkema (1991).

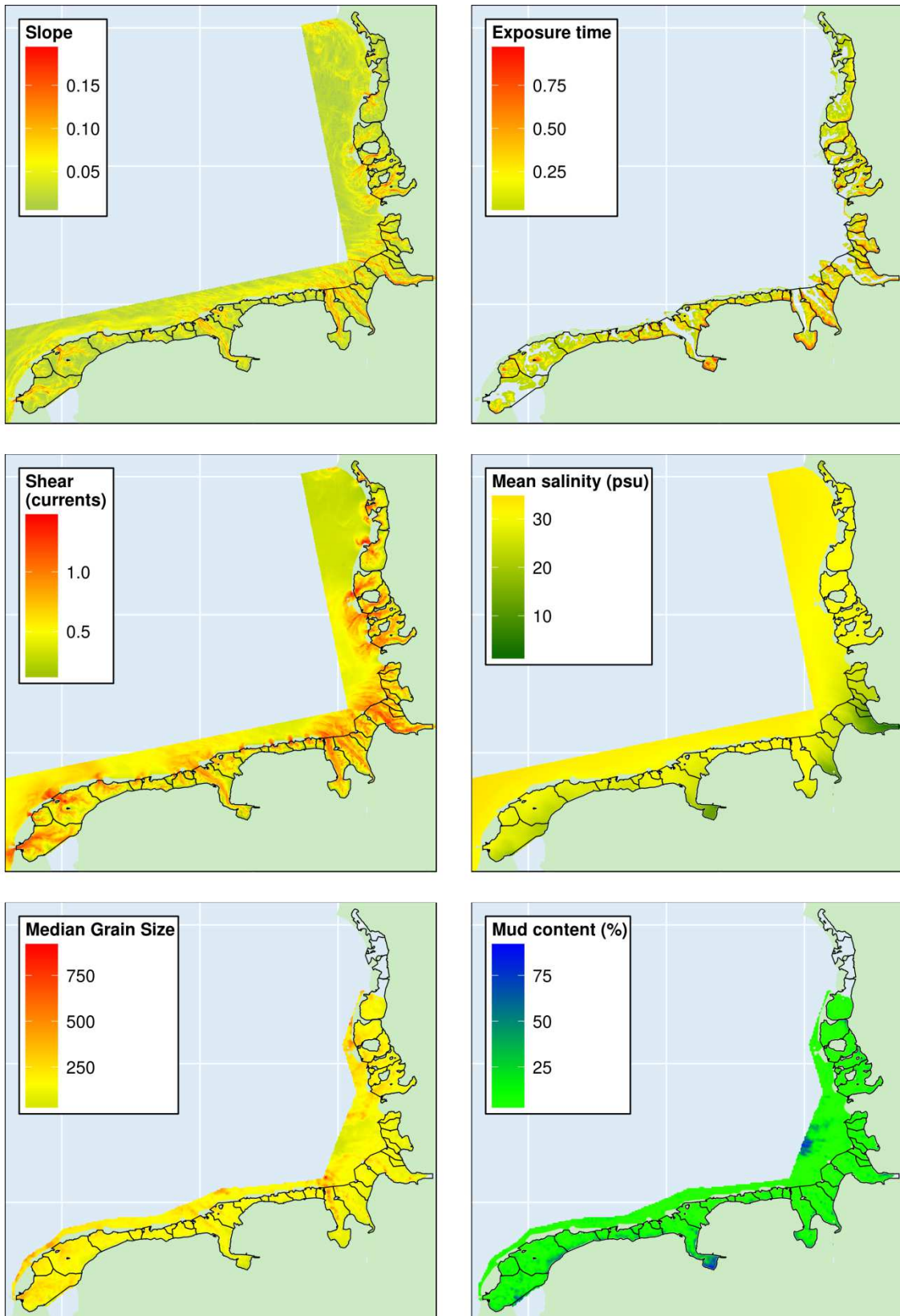
# Hoofdstuk 4

## Zeegras habitat verspreiding model

**De relatief hoge bedekking en de positieve ontwikkelingstrend van litoraal zeegras in de noordelijke Waddenzee biedt een unieke mogelijkheid om inzicht te krijgen in de belangrijkste factoren die de verspreiding en ontwikkeling van zeegras bepalen.**

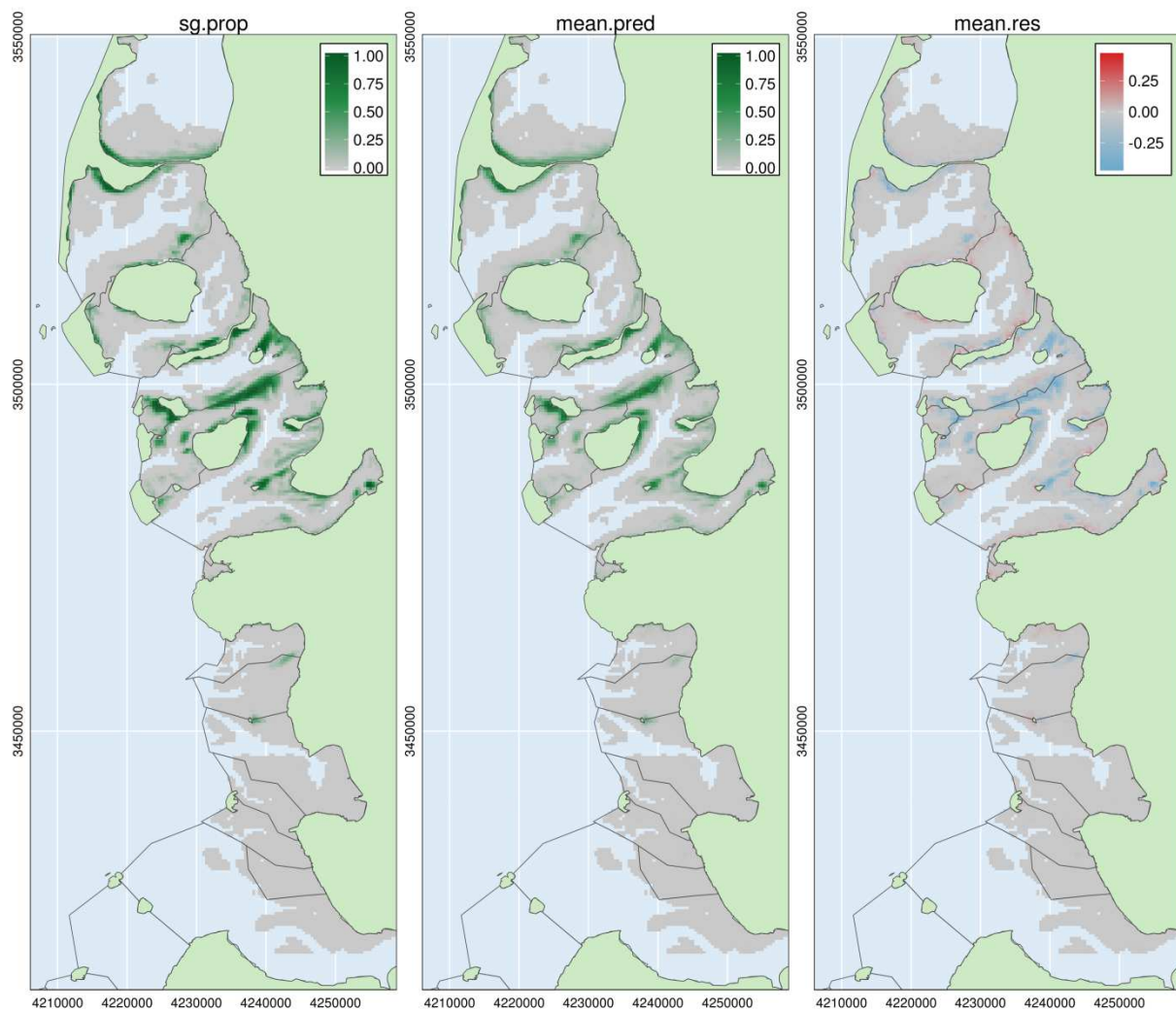
In dit hoofdstuk wordt een statistisch verspreidingsmodel (Habitat Distribution Model, HDM) voor zeegras ontwikkeld aan de hand van zeegras karteringen in Schleswig-Holstein en hydrodynamisch-geomorfologische predictoren (factoren die van belang zijn voor het inschatten van de geschiktheid van intergetijdeplaten voor zeegras) voor de gehele Waddenzee. De gebruikte variabelen zijn droogligduur, bodemschuifspanning, helling van de zeebodem, mediane korrelgrootte, slibgehalte en afstand tot land. Deze variabelen zijn relatief statisch op langere tijdschaal wat nodig is voor het schatten van robuuste relaties die op lange termijn geldig zijn. Droogligduur is een belangrijke predictor voor zeegras omdat het een essentiële gradiënt over de wadplaten beschrijft: hoog op de wadplaten wordt de groei van zeegras beperkt door uitdroging en laag op de platen door hydrodynamische verstoring. Ook bodemschuifspanning is een belangrijke indicator voor hydrodynamiek en op plaatsen waar deze variabele groot is, kan vestiging en groei van zeegras niet plaatsvinden. De helling van de zeebodem correleert met de gemiddelde stroomsnelheid en op plaatsen waar de helling groot is, stroomt het water relatief snel waardoor zeegras zich niet kan vestigen. Ook de sediment karakteristieken mediane korrelgrootte en slibgehalte geven een indruk van de hydrodynamische condities; op de ruigere plekken is de mediane korrelgrootte groot en het slibgehalte laag. Hoewel een hoog slibgehalte samenvalt met hydrodynamisch rustige plekken is het ongunstig voor de groei van zeegras omdat slibrijke bodems zuurstofarm zijn en de concentraties van het toxische sulfide hoog. Ten slotte wordt zeegras bijna alleen in de nabijheid van het vaste land en de eilanden gevonden en kan met de variabele "afstand tot land" deze relatie worden beschreven. Het verspreidingsmodel wordt gebruikt om geschikt zeegras habitat in de Waddenzee te identificeren. Aan het einde van het hoofdstuk worden habitat kaarten gepresenteerd en vergeleken met zeegras karteringen.

In het hoofdrapport worden de data, relaties en de methodes in detail besproken; hier wordt met een korte beschrijving volstaan. Op basis van de zeegrascontouren uit Schleswig-Holstein is voor de monitoringperiode van 17 jaar tussen 1995 en 2011 de frequentie van zeegras voorkomen ("prevalentie") op een grid van 200×200 m geconstrueerd. Omdat *Zostera noltii* en *Zostera marina* onder vergelijkbare condities voorkomen en omdat ze vanuit het vliegtuig niet te onderscheiden zijn, zijn ze in de analyses samengevoegd. De hydrodynamische predictoren droogligduur en bodemschuifspanning zijn binnen het PACE project met het GETM-GOTM Estuariene Transport Model geconstrueerd (Figuur 8). De variabelen mediane korrelgrootte ("Median grain size") en slib gehalte ("Mud content") van de zeebodem zijn afkomstig uit het Aufmod project . De relaties tussen zeegrasvoorkomen in Schleswig-Holstein en de predictoren zijn met behulp van de Random Forest regressie methode (Breiman 2001, Hastie et al. 2009) geanalyseerd. Omdat Random Forests niet-lineaire relaties en complexe interacties accuraat kwantificeren zijn ze uitermate geschikt voor ruimtelijke extrapolaties.



**Figuur 8:** Predictor variabelen die ten grondslag liggen aan het zeegras verspreidingsmodel. De predictoren 'Exposure time', 'Shear', 'Mean salinity' zijn afkomstig van het PACE project. De predictoren 'Median Grain Size' en 'Mud content' komen van het Aufmod project. Voor details wordt verwezen naar het hoofdrapport.

Figuur 9 presenteert in kaartvorm de geobserveerde zeegrassvoorkomens, de door het verspreidingsmodel voorspelde voorkomens en het verschil tussen de twee (de zogenaamde residuen) voor Schleswig-Holstein. De observaties en de voorspellingen corresponderen uitermate goed. Het model voorspelt op slechts enkele plaatsen zeegrass buiten de gebieden waar het geobserveerd is. Het model heeft wel de neiging om op plaatsen waar vaak zeegrass voorkwam een lagere prevalentie te voorspellen (Figuur 9, rechter paneel, blauwe kleur). Een mogelijke reden hiervoor is dat reeds aanwezig zeegrass het voorkomen in de opvolgende jaren stimuleert door productie en het vasthouden van zaad en wortelstokken (rizomen). Dit type van terugkoppeling is niet opgenomen in het model. De overeenstemming tussen voorspelling en waarneming is zeer bevredigend en daarom kan het model gebruikt worden om het voorkomen van zeegrashabitat in andere delen van de Waddenzee te voorspellen.



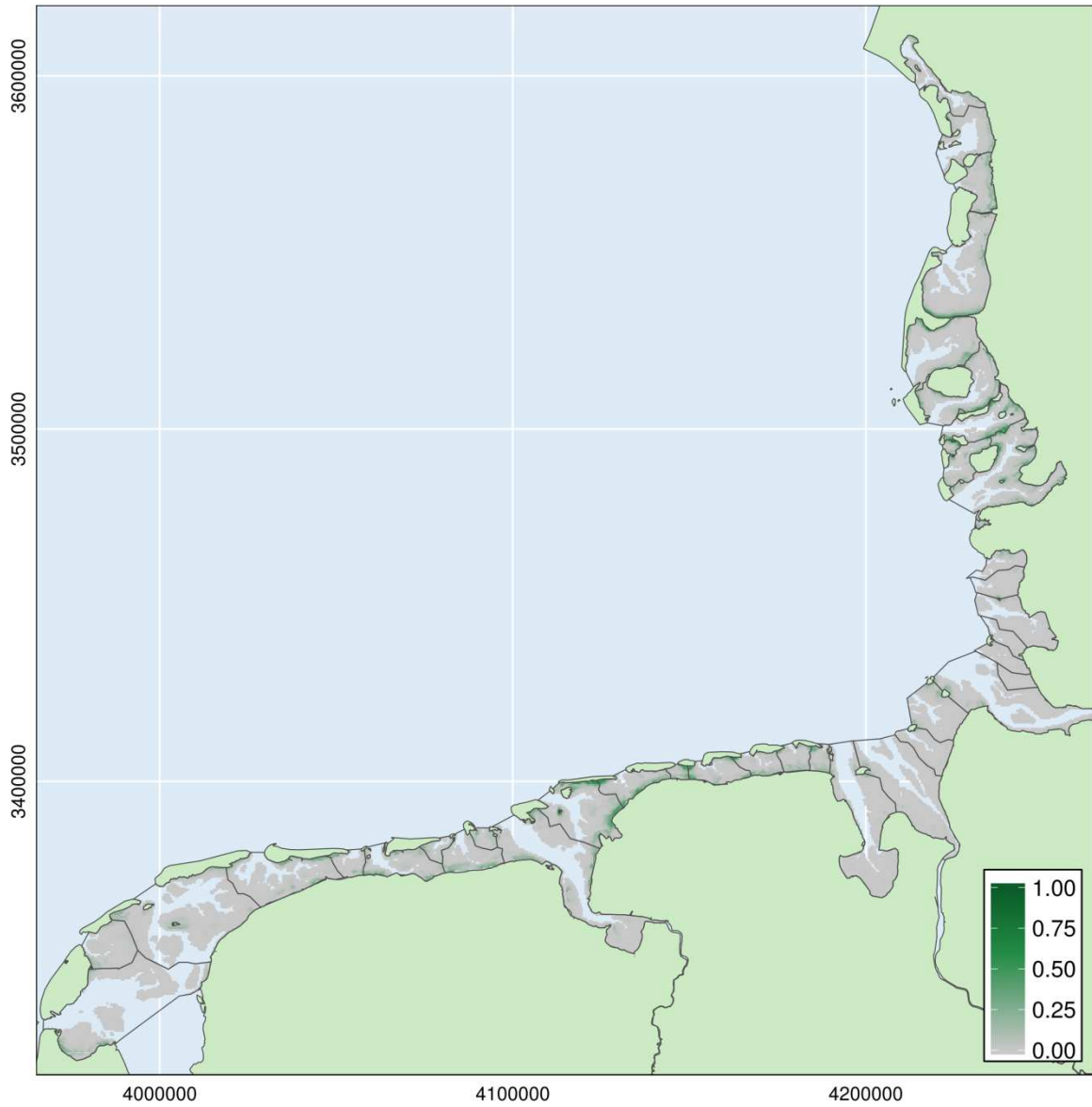
**Figuur 9:** Geobserveerd zeegrass voorkomen (links), gemodelleerd zeegrass voorkomen (midden) en residuen (rechts) in de Waddenzee van Schleswig-Holstein.

## Litorale zeegraskansen in de trilaterale Waddenzee

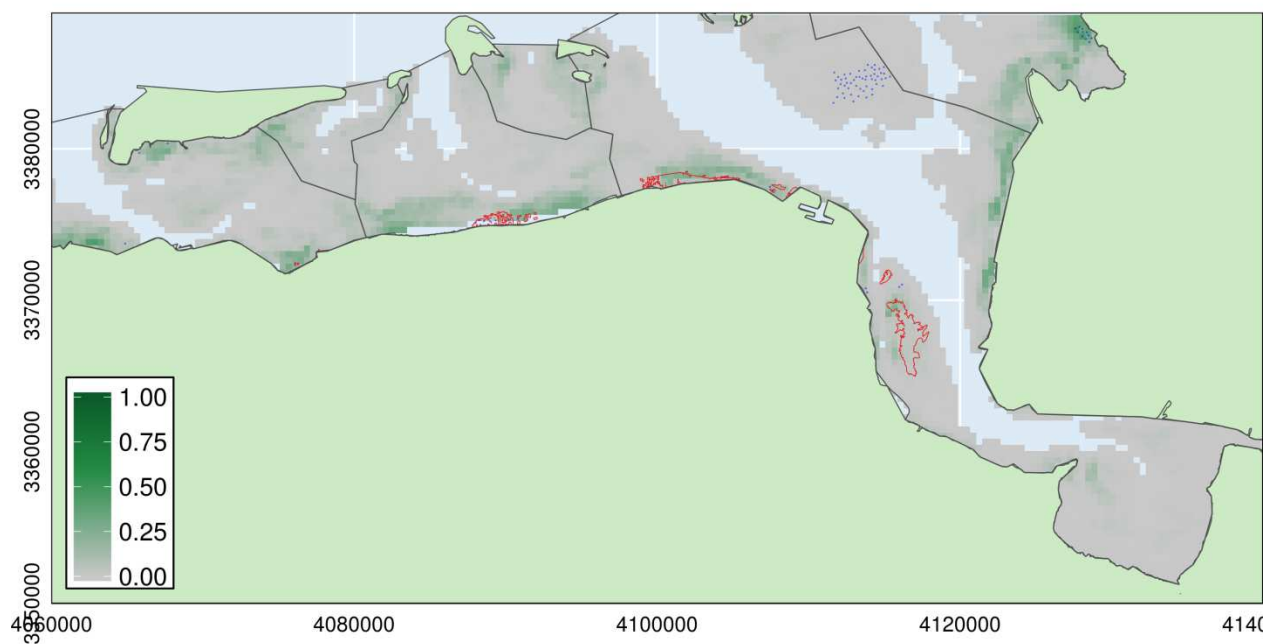
Figuur 10 presenteert een trilateraal overzicht van de geschiktheid van de Waddenzee voor het voorkomen van litoraal zeegras op basis van het verspreidingsmodel (HDM). Geschikt habitat komt in de gehele Waddenzee voor in beschutte gebieden. Het gebrek aan gunstig zeegras habitat in de centrale Waddenzee wordt verklaard door de hydrodynamische verstoring (Figuur 10). Een andere belangrijke beperkende factor is de droogligduur welke niet te hoog of te laag dient te zijn.

In het hoofdrapport zijn detailkaarten van de Deense en de Duitse Waddenzee opgenomen. In dit rapport wordt alleen de Nederlandse Waddenzee uitgelicht. De kaarten in de figuren 11 en 12 tonen de geschiktheid van het habitat van de oostelijk en westelijk Nederlandse Waddenzee in detail en bevatten karteringen uit het verleden. De rode contourlijnen zijn gebaseerd op de karteringen uit de recentere periode 1988 - 2010. De blauwe stippen in de kaarten zijn afkomstig van de Dijkema atlas op basis van karteringen in de jaren 70. In de oostelijke Nederlandse Waddenzee is er relatief veel geschikt habitat langs het vaste land van de provincie Groningen. De geschiktheid van de Eems-Dollard is over het algemeen laag, hoewel delen van Hond-Paap volgens het model als geschikt beoordeeld worden. Het is inderdaad het geval dat op de locaties die volgens het model geschikt zijn, in het verleden en/of tegenwoordig zeegras voorkwam. Hoewel de overeenkomsten tussen voorspelde en gekarteerde voorkomens goed zijn (d.w.z. geen voorkomen van zeegras op ongeschikte locaties), zijn er ook locaties waarvan verwacht wordt dat er zeegras kan voorkomen hoewel hier nog nooit zeegras is waargenomen. Dit geldt vooral voor de intergetijdeplaten ten zuiden van de Waddeneilanden die volgens het model geschikt zijn terwijl op die locaties bij karteringen zelden of nooit zeegras waargenomen is.

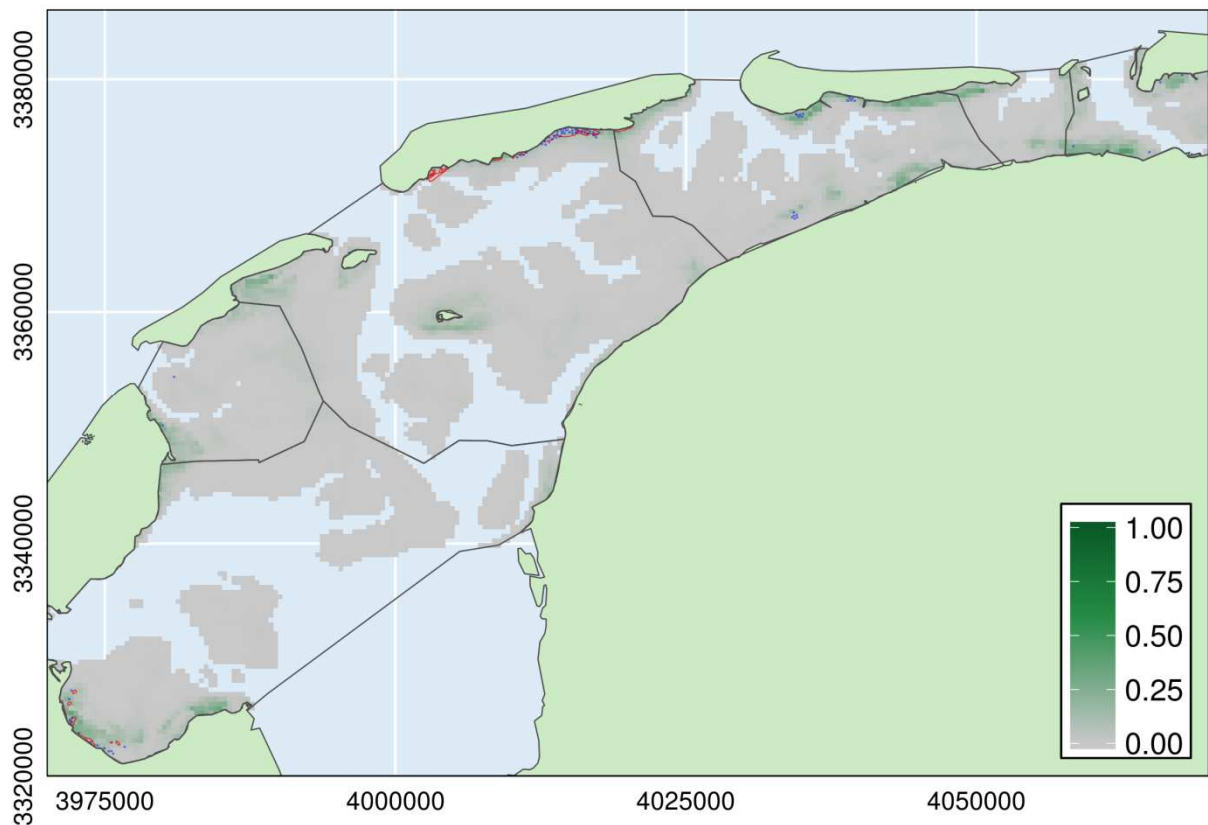
De voorspellingen van het verspreidingsmodel laten zien dat er geen uitgestrekt geschikt zeegrashabitat in de westelijk Nederlandse Waddenzee voorkomen (figuur 12). De grootste geschikte gebieden liggen op het Balgzand, de Vlake van Kerken, ten zuidoosten van Vlieland en ten zuiden van Terschelling en Ameland. De locaties waar in het verleden zeegras voorkwam zijn inderdaad geschikt op basis van de hydrodynamisch-geomorfologische factoren zoals voorspeld door het verspreidingsmodel (bijvoorbeeld Balgzand en de intergetijdeplaten ten zuiden van Terschelling en Ameland).



**Figuur 10:** Voorspelde habitat geschiktheid voor litoraal zeegras op basis van het verspreidingsmodel.



**Figuur 11:** Voorspelde habitat geschiktheid voor litoraal zeegras in de oostelijke Nederlandse Waddenzee. De rode contourlijnen representeren de gebieden waar ten minste een keer zeegrasvelden gekarteerd zijn in de periode 1988-2010; de blauwe stippen representeren de gebieden waar zeegras in de jaren 70 aangetroffen is (Dijkema 1991).



**Figuur 12:** Voorspelde habitat geschiktheid voor litoraal zeegras in de westelijke Nederlandse Waddenzee. De rode contourlijnen representeren de gebieden waar ten minste een keer zeegrasvelden gekarteerd zijn in de periode 1988–2010; de blauwe stippen representeren de gebieden waar zeegras in de jaren 70 gekarteerd is (Dijkema 1991).

## Resumerend

Het verspreidingsmodel is goed in staat om het voorkomen van zeegras in Schleswig-Holstein te voorspellen aan de hand van slechts enkele predictoren. Doordat het model robuust is kan met behoorlijke zekerheid de geschiktheid van het habitat ook in de rest van de Waddenzee voorspeld worden. Over het algemeen corresponderen de voorspellingen en de karteringen buiten Schleswig-Holstein dan ook goed. Overigens werd er op verschillende locaties geschikt zeegrashabitat geïdentificeerd waar nooit zeegras gekarteerd was. Omdat de aanwezigheid van geschikt habitat "slechts" een van meerdere voorwaarden is voor het voorkomen van zeegras, ligt het binnen de verwachtingen dat er volgens het model geschikte maar in de realiteit onbezette intergetijdte platen bestaan.

Het verspreidingsmodel rust op de aanname dat de relaties tussen zeegrasvoorkomen en de hydrodynamisch-geomorfologische variabelen door de hele Waddenzee identiek zijn. Globaal gesproken zal dit ook wel het geval zijn maar het is niet onwaarschijnlijk dat de nuances in relaties verschillen voor deelgebieden omdat noodzakelijkerwijs niet alle factoren van belang voor zeegras in het model zijn opgenomen. Om deze reden dienen de voorspellingen met enige bedachtzaamheid geïnterpreteerd en gebruikt te worden. Er bestaat geen simpele oplossing voor dit mogelijke probleem anders dan het ontwikkelen en fijnlijpen van modellen op basis van meer geharmoniseerde data over een groter geografisch gebied. Ondanks deze mogelijke oorzaken van regionale afwijkingen is de overeenkomst van de voorspelde verspreidingen en karteringen buiten



Schleswig-Holstein zeer bemoedigend. De Jong et al. (2005) hebben ook een zeegraskansenkaart ontwikkeld op basis van Nederlandse zee gras data en gegevens over relaties uit de literatuur. Hoewel de Jong et al. (2005) stroomsnelheid, golf impact, droogligduur, ammonium belasting en saliniteit als predictoren gebruikten en gebruik maakten van andere kwantitatieve methodes, zijn de overeenkomsten tussen de voorspellingen opvallend groot. Dit heeft waarschijnlijk te maken met de overheersende effecten van stroomsnelheid en droogligduur en de sediment eigenschappen (die sterk aan ammonium belasting gecorreleerd zijn). Vanwege de overeenkomst tussen voorspellingen en observaties binnen en buiten Schleswig-Holstein en de match met de zeegraskansenkaart van de Jong et al. (2005), kunnen de voorspellingen met goed vertrouwen gebruikt worden.

# Hoofdstuk 5

## Potentiële zeegrasonwikkeling op basis van het verspreidingsmodel, eutrofiëring en zeegras voorkomen in het verleden

**In dit hoofdstuk worden verwachtingen geformuleerd voor potentiële zeegrasonwikkeling per komberging op basis van het verspreidingsmodel, eutrofiëring, en zeegras voorkomen uit het verleden.**

Een verwachting wordt geformuleerd op basis van de volgende informatie en stappen:

1. Op basis van het verspreidingsmodel is het areaal zeegrashabitat berekend voor iedere komberging. Zeegrashabitat is hier gedefinieerd als intergetijdengebied waarvan verwacht wordt dat er zeegras kan groeien op basis van alleen de hydrodynamisch-geomorfologische variabelen. Het oppervlak is berekend door het oppervlak van de cellen met een prevalentie waarde groter dan twee te sommeren. Figuur 13 geeft het absolute oppervlak geschikt zeegrashabitat per komberging; figuur 14 presenteert het oppervlak in relatie tot het oppervlak van het intergetijdengebied.
2. Het huidige areaal van zeegras in de drie dichtheidsklassen ligt ten grondslag aan de ontwikkeling van de verwachting. Als het huidige oppervlak van zeegrasvelden lager is dan het gemodelleerde oppervlak geschikt habitat is er ruimte voor een toename van zeegrasareaal.
3. Het voorkomen van zeegras in de jaren 70 is ook onderdeel van de formulering van de verwachting. Als er grote gebieden zijn die in de jaren 70 bedekt waren maar tegenwoordig onbedekt zijn, dan is er ruimte voor toename. De aanname is hier dat de litorale wadplaten niet sterk zijn veranderd.
4. Zoals beschreven in hoofdstuk 1 heeft eutrofiëring een negatief effect op zeegras. Tijdsreeksen van chlorofyl-a en nutriënten concentraties zijn alleen beschikbaar voor acht van de 39 kombergingen. Daarom zijn chlorofyl-a en nutriënten concentraties voor de kombergingen zonder gegevens geschat op basis van concentraties in de omliggende kombergingen waarvoor wel tijdsreeksen beschikbaar waren. Zowel concentraties als trends zijn in ogenschouw genomen. Lage concentraties en neerwaartse trends zijn als gunstig beschouwd. Omdat eutrofiëring alleen zeegrasonwikkeling kan beïnvloeden wanneer er geschikt habitat aanwezig is, kan eutrofiëring als een tweede orde factor beschouwd worden. Daarom wordt er in de gevallen waar meer habitat beschikbaar is dan er zeegras is, het effect van sterke eutrofiëring als negatief gescoord.

Inschattingen van de beperkende factoren voor zeegras ontwikkeling zijn in tabel 1 samengevat. Omdat niet alle waterkwaliteitsparameters beschikbaar zijn voor alle kombergingen is het onmogelijk om de ontwikkeling van zeegras nauwkeurig te voorspellen. Bovendien variëren de nutriënten en chlorofyl-a concentraties ook binnen kombergingen (diep in de komberging zijn de concentraties hoger dan bij de zeegaten). Om een valse indruk van nauwkeurigheid te voorkomen, zijn de verwachte zeegras ontwikkelingen kwalitatief uitgedrukt (afname ↓, toename ↑, geen verandering →). De beperkende factoren (ofwel habitat: "Hab" of eutrofiëring: "Eut") worden per komberging gegeven.

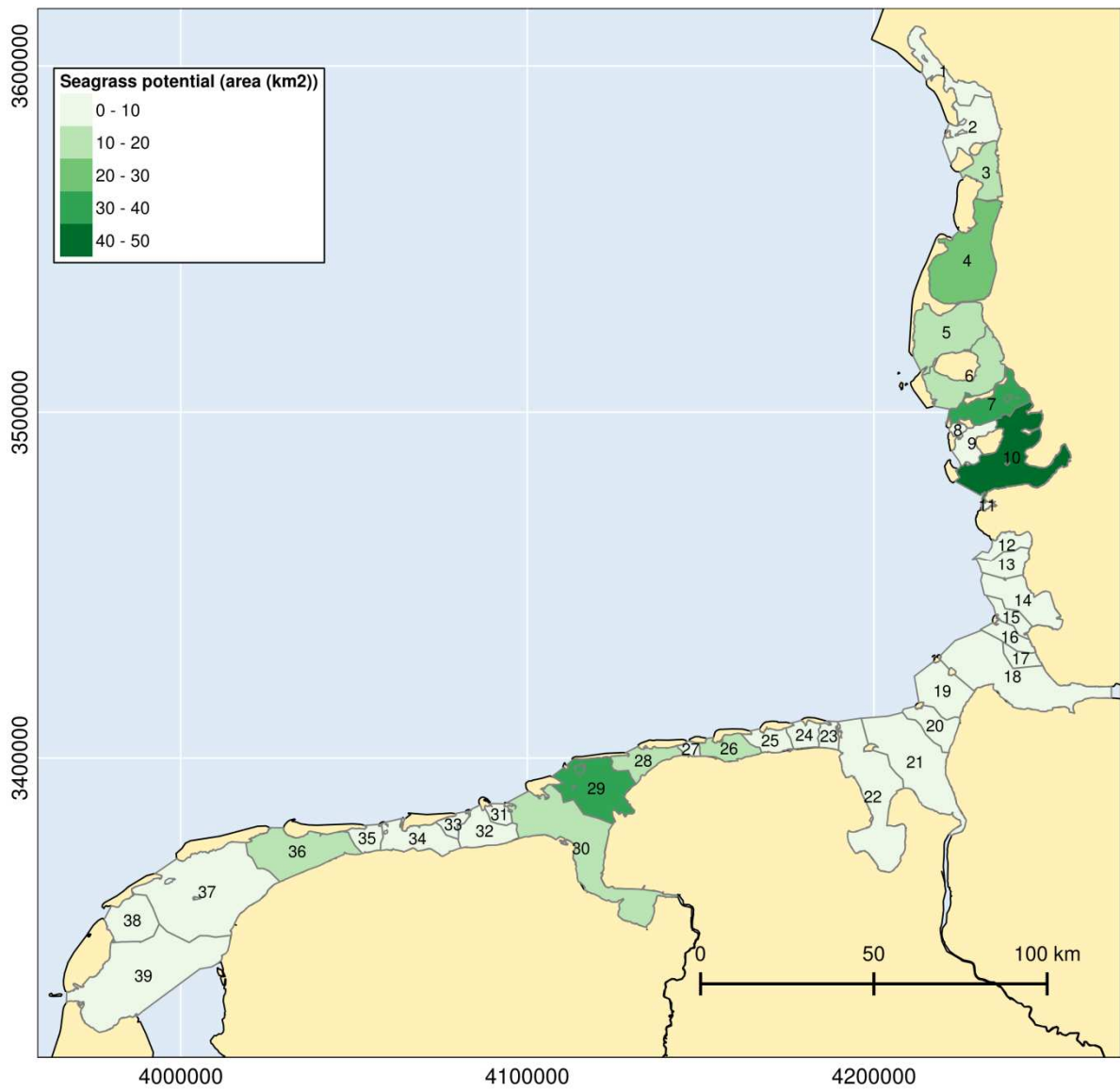
## Verwachte zeegrasontwikkelingen

De verwachting is dat in de noordelijkste kombergingen 1-3 van de Waddenzee zeegras zal toenemen omdat de huidige bedekkingen lager zijn dan de voorspelde arealen zeegrashabitat en omdat de zeegras trends positief zijn. Verder zijn er gebieden die in de jaren 70 bezet waren waar tegenwoordig geen zeegras voorkomt; dit impliceert dat er ruimte is voor een toename. Ten slotte is er in de noordelijke Waddenzee sprake van de-eutrofiëring wat waarschijnlijk gunstig is voor zeegras.

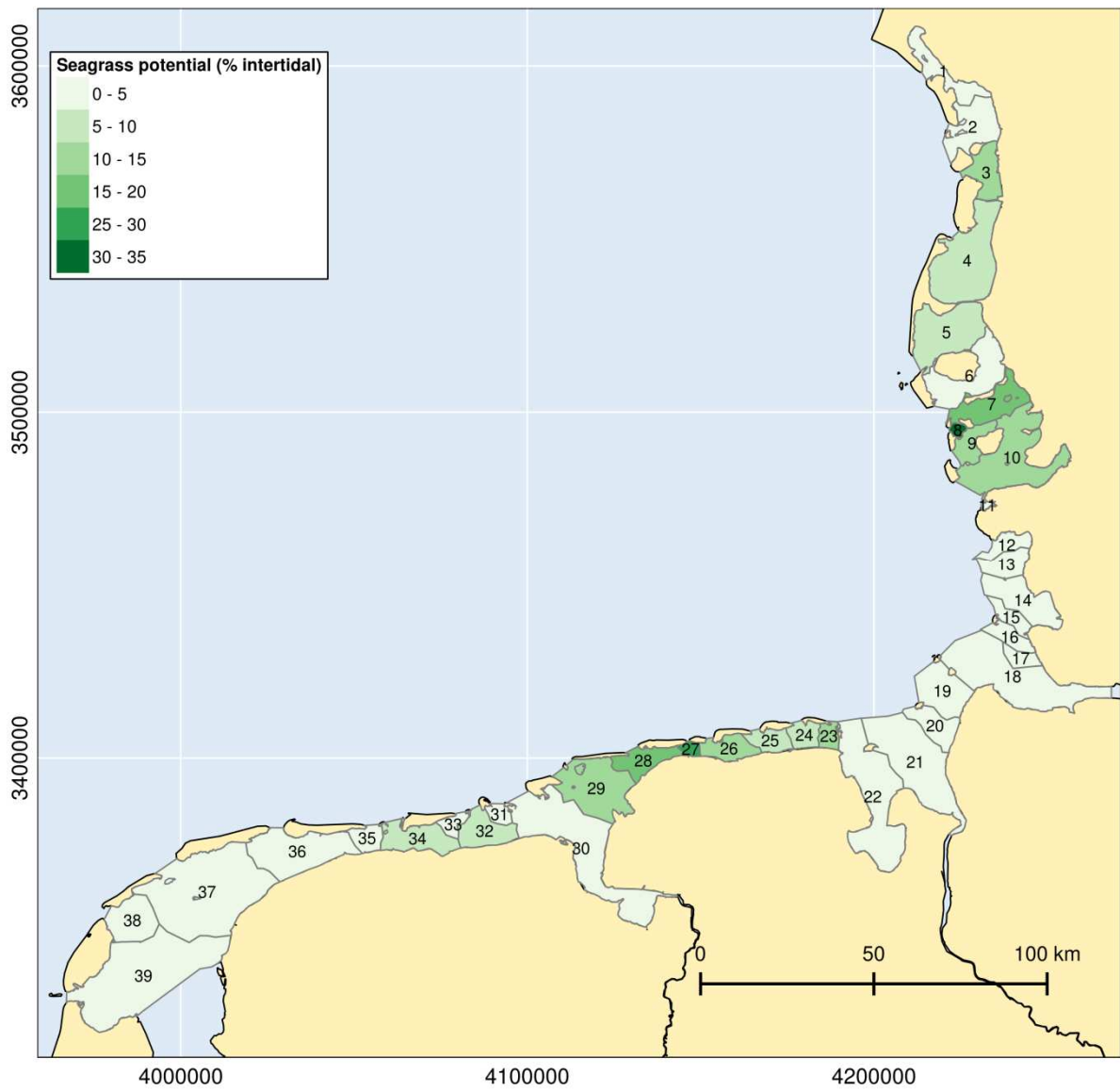
In de kombergingen 4-10 zijn de geobserveerde arealen groter dan de potentieel geschikte arealen (NB prevalentie groter dan 0.2). Dit suggereert dat ook de minder geschikte wadplaten bedekt zijn met zeegras. De tijdseries van kombergingen 4 en 7 lijken af te vlakken wat volgens verwachting is indien al het geschikte habitat bedekt met zeegras zou zijn (figuur 5). Verder zijn er geen gebieden die in de jaren 70 bedekt waren met zeegras en nu onbedekt zijn. Daarom wordt verwacht dat de zeegrasarealen in deze gebieden gelijk blijven of zullen gaan afnemen. In kombergingen 11-18 zijn de geobserveerde zeegrasbedekkingen en het voorspelde areaal heel laag en systematische veranderingen zijn niet te verwachten. Ook de karteringen van de jaren 70 geven geen aanleiding om een substantiële toename in zeegras bedekking te verwachten. In kombergingen 19-21 wordt er geen verandering verwacht omdat al het geschikte habitat – mede op basis van de karteringen in de jaren 70 – bedekt zijn.

In de zuidelijke Waddenzee in kombergingen 22-29 is de verwachting dat zeegras zal kunnen toenemen omdat de voorspelde arealen geschikt habitat vele malen groter zijn dan de huidige bedekkingen. Bovendien zijn er grote gebieden die in de jaren 70 bedekt waren waar tegenwoordig geen zeegras voorkomt. Helaas is er niet veel te zeggen over de veranderingen in waterkwaliteit omdat de tijdseries te kort zijn. Wel zijn de chlorofyl-a concentraties lager dan in de oostelijke Nederlandse Waddenzee.

Er worden geen substantiële veranderingen verwacht in komberging 30 (Eems-Dollard). Ook in komberging 31 wordt er geen toename verwacht omdat er weinig geschikt habitat is en omdat er in het verleden ook geen grote velden voorkwamen. In komberging 32 is er een groot potentieel areaal voor zeegras. Echter is de concentratie chlorofyl-a zeer hoog wat er op kan duiden dat de eutrofiëringsniveaus te hoog zijn voor zeegrasvelden zich hier te ontwikkelen. In komberging 33 is het areaal geschikt habitat klein en zijn er ook uit het verleden geen aanwijzingen dat er zeegras gegroeid heeft. Tevens zijn de chlorofyl-a concentraties hoog. Het valt daarom niet te verwachten dat zeegras in komberging 33 goed zal kunnen gedijen. In de kombergingen 34-36 zijn er volgens het model enkele vierkante kilometers geschikt habitat. In de jaren 70 kwam ook zeegras voor op wadplaten ten zuiden van Schiermonnikoog en Ameland en op het wad ten noorden van Paesens en Noard-Fryslân Bûtendyks. Ondanks de aanwezigheid van geschikt habitat valt niet te verwachten dat zeegras hier zal toenemen omdat de chlorofyl-a en nutriënten concentraties hoog zijn. In komberging 37 zijn de wadplaten rondom Griend en ten zuiden van Terschelling geschikt voor zeegras. Echter komt er tegenwoordig alleen zeegras voor ten zuiden van Terschelling; ook in de jaren 70 kwam hier zeegras voor. Het lijkt alsof er ruimte is voor meer zeegras en ook de waterkwaliteit wordt beter. Hoewel de trend negatief is, kan er in komberging 37 toch een toename van zeegras verwacht worden. Ten oosten van Texel op de Vlakte van Kerken is er een redelijk groot gebied dat geschikt lijkt te zijn voor zeegras. In het verleden heeft hier dicht tegen het eiland dan ook zeegras gestaan. Ook hier dalen de chlorofyl-a concentraties en een toename van zeegras is niet onmogelijk op deze wadplaten. In het verleden kwamen zowel *Zostera noltii* als *Zostera marina* voor op het Balgzand in komberging 39. Recente zeegras transplantaties zijn relatief succesvol gebleken in de zin dat *Zostera marina* planten na aanplanting enkele jaren achtereen terugkwamen (waarna ze alsnog verdwenen).



*Figuur 13: Oppervlakte geschikt zeegras habitat per komberging.*



*Figuur 14: Oppervlakte geschikt zeegras habitat per komberging. De zeegras potentie is uitgedrukt als het percentage habitat ten opzichte van het oppervlakte intergetijdengebied.*

## Dankbetuiging

- Programma naar een Rijke Waddenzee (PRW), Waddenacademie en het WaLTER project voor financiering en ondersteuning.
- Folkert de Jong voor zijn inzet voor meer en beter trilateraal onderzoek in de Waddenzee.
- Katja Philippart en Peter Herman voor het agenderen van dit onderzoek en voor nuttige discussies en commentaar op het hoofdrapport.
- CWSS (Gerold Lüerßen) voor de TMAP nutriënten en chlorofyl-a data.
- Folkert de Jong, Katja Philippart, Justus van Beusekom en Marieke van Katwijk voor discussie en commentaar op het hoofdrapport.
- AWI: Tobias Dolch (en Karsten Reise) voor: 1. het delen van hun uiterst waardevolle lange termijn zeegras data set; 2. discussies over zeegras verspreidingen en ontwikkelingen; 3. gastvrijheid en het bezoek aan de prachtige zeegrasvelden rondom Sylt; 4. scherp commentaar op het hoofdrapport.
- Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) voor de zeegras karteringen in Neder-Saksen en Kerstin Kolbe voor haar inhoudelijke bijdrage.
- National Park Wattenmeer voor het beschikbaar stellen van zeegras gegevens uit Neder-Saksen.
- Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein (Schleswig-Holsteins Government-Owned Company for Coastal Protection, National Parks and Ocean Protection) voor de zeegraskarteringen in Schleswig-Holstein.
- Rijkswaterstaat voor de Nederlandse zeegras, chlorofyl-a en nutriënten data.
- NST Vadehavet: Hanne Fogh Vinther voor de Deense zeegras datasets.
- PACE project en met name Ulf Gräwe van het Leibniz Institute for Baltic Sea Research Warnemuende voor het beschikbaar stellen van de hydrodynamische gegevens.
- Aufmod: Jennifer Valerius van het Bundesamt fuer Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) voor het beschikbaar stellen en het bespreken van de sediment gegevens.
- IMARES voor het beschikbaar maken van de Dijkema atlas.
- Dick de Jong voor de historische zeegrasdata in het hoofdrapport en advies.
- Wim Wolff voor discussie en advies.
- Willem van Duin (IMARES) voor advies over geomorfologische karteringen.
- Peter Vos (Deltares) voor het bespreken van paleogeografische kaarten van de trilaterale Waddenzee.
- Jeroen Bergwerff van Rijkswaterstaat voor informatie over zeegras-karteringsprotocollen.

**PROGRAMMA NAAR EEN  
RIJKE WADDENZEE**

Zuidersingel 3  
8911 AV Leeuwarden

[info@rijkwaddenzee.nl](mailto:info@rijkwaddenzee.nl)  
[www.rijkwaddenzee.nl](http://www.rijkwaddenzee.nl)

