

Ecotopen- en Kansrijkdomkaart van de Nederlandse Waddenzee

*Project
Waddensleutels*

Fundament onder natuurherstel



WADDEN
sleutels



Auteurs:

M.J.A. Christianen*, S.J. Holthuijsen*, E.M. van der Zee *, A. van der Eijk, L.L. Govers, T. van der Heide, H. de Paoli en H. Oloff.

*Gelijkwaardige auteurs

Waddensleutels rapportnummer 2015.04.01

April 2015

Waddensleutels is een project van het Waddenfonds



Inhoudsopgave

Inleiding	4	5. Het belang van mosselbanken voor het voedselweb	68
1. Ecotopenkaart	6	5.1. Isotoopbemonstering in de Waddenzee	69
1.1. Basisgegevens ecotopenkaart	7	5.2. Foto impressie fuikenbemonstering op de wadplaten	72
1.2. Verschillende types ecotopen en hun ecologische beschrijving	9	5.3. Mosselbanken herbergen een hoger aantal soorten dan habitats daarbuiten	73
Marsdiep	14	6. Het belang van droogvallende wadplaten voor het voedselweb	77
Eijerlandse Gat	15	6.1. Bemonstering fytoplankton en zoöplankton	78
Vlie	16	6.2. Bemonstering kiezelwieren	80
Borndiep	17	6.3. Resultaten isotoopanalyse	82
Pinkegat	18	6.4. Benthische bijdrage van verschillende soorten	88
Zoutkamperlaag	19	6.5. Voedselweb van de Nederlandse Waddenzee op basis van de verzamelde isotoopmonsters	89
Eilanderbalg	20	7. Conclusie en aanbevelingen	90
Lauwers	21	8. Referenties	94
Schild	22	Bijlagen	96
Eems-Dollard	23	Diepte	97
2. Kansrijke locaties voor mosselen	24	Droogvalduur	98
Voorkomen droogvallende schelpdierbanken	25	Zoutgehalte	99
Nederlandse Waddenzee	25	Korrelgrootte van het sediment	100
Droogvallende schelpdierbanken westelijke Waddenzee	26	Kombergingsgebieden en gesloten gebieden	101
Droogvallende schelpdierbanken oostelijke Waddenzee	27	Vaarwegen	102
3. Mosselbank herstel experiment	30	MZI locaties en kweekpercelen	103
3.1. Foto impressie aanleg mosselbanken en kokosmatten	32	Intensiteit garnalenvisserij	104
3.2. Resultaten restauratie mosselbanken	34	Handkokkelgebieden	105
3.3. Resultaten predatie experiment	36		
4. Macrozoöbenthos op droogvallende platen (SIBES)	38		
4.1. Monstering methodisch	39		
4.2. Foto impressie SIBES bemonstering	40		
4.3. Biomassa en variatie	42		
4.4. Belangrijke soorten uitgelicht - factsheets	46		



Inleiding

In dit document wordt verslag gedaan van de verschillende experimenten die gedaan zijn in het kader van het Waddenfonds project "Waddensleutels" in het Nederlandse deel van de Waddenzee (verderop in dit rapport aangeduid met 'Waddenzee'). Dit onderzoeksproject is een samenwerking tussen Natuurmonumenten, Staatsbosbeheer, Rijksuniversiteit Groningen en het NIOZ Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee. Het project onderzoekt de kansen en de wegen voor het herstel van een rijke Waddenzee en het voedselweb, wat de basis vormt voor de maatregelen.

Daarnaast wordt een voorstel gedaan om de Waddenzee in te delen in verschillende ecotooptypes. Er zijn momenteel maar twee types. Deze ecotopenkaarten en de achtergrond daarvan zijn te vinden in hoofdstuk 1.

In hoofdstuk 2 wordt op basis van data van IMARES en MARINX een overzicht gegeven van de kansrijke locaties voor droogvallende en ondergedoken schelpdierbanken.

Hoofdstuk 3 doet verslag van een aantal experimenten die zijn gedaan naar de mogelijkheden om actieve herstelmaatregelen te nemen om de terugkeer van droogvallende mosselbanken te bewerkstelligen. Ook wordt gekeken naar de beperkende factoren voor de terugkeer van droogvallende mosselbanken.

In hoofdstuk 4 is de rijkdom van het bodemleven van de droogvallende Waddenzee in kaart gebracht (SIBES), hier zijn ook een aantal belangrijke soorten uitgelicht waarvoor in factsheets achtergrond informatie is gegeven. Hoofdstuk 5 kijkt naar het belang van de droogvallende mosselbank in het voedselweb. Met behulp van een veldexperiment met fuiken op en naast mosselbanken en isotoopanalyse is het belang van mosselbanken in kaart gebracht.

Het belang van de droogvallende platen in de Waddenzee wordt aangetoond in hoofdstuk 6. Door verschillende bemonsteringstechnieken en isotoopanalyse is te zien dat kiezelwieren een belangrijke rol in het voedselweb spelen.

Tenslotte staan in hoofdstuk 7 de belangrijkste conclusies en wordt er een voorschot genomen op het aanwijzen van belangrijke gebieden in de Nederlandse Waddenzee die het beschermen waard zijn.





1. Ecotopenkaart

Achtergrond

Door een toename in menselijke gebruik staat het ecologisch functioneren van de Waddenzee sterk onder druk. De laatste decennia is er dan ook veel van de biodiversiteit verloren gegaan. Zeegrasvelden zijn verdwenen en droogvallende mosselbanken keren maar langzaam terug na een lange tijd van afwezigheid. De meeste toppredatoren zoals roggen, haaien en tuimelaars, zijn uit het systeem verdwenen of sterk uitgedund en wadbodems worden voortdurend verstoord door visserij, zand- en schelpenwinning, en baggeractiviteiten.

Behoud en herstel van biodiversiteit en natuurwaarden is echter een kernprioriteit geworden in het beheer van de Waddenzee. Waar vroeger het beheer vooral gevoerd werd vanuit belangen van scheepvaart, visserij, kustverdediging en recreatie, is nu het belang van natuur mede voorop komen te staan, grotendeels veroorzaakt door een verschuiving in publieke opinie, nationaal beleid en internationale afspraken (Natura 2000, Kaderrichtlijn Water, Vogel- en habitatrichtlijn, World Heritage Site status). De huidige doelstelling is dan ook dat de Waddenzee weer een ecologisch gezonde zee moet worden, met een goede waterkwaliteit en uitgestrekte schelpdierbanken en zeegrasvelden.

Om een goed beleid en beheer te kunnen voeren is kennis nodig van het ecologisch functioneren van de Waddenzee en deze kennis moet vervolgens worden vertaald naar concrete beleid-enbeheeroplossingen. Daarom slaan natuurbeheerders en wetenschappers de handen ineen. Binnen het project Waddensleutels, bundelen de Rijksuniversiteit Groningen, het NIOZ Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee, Natuurmonumenten en Staatsbosbeheer de krachten. Waddensleutels richt zich hoofdzakelijk op de 'kern' van het

waddengebied, namelijk de droogvallende platen en geulen. De focus ligt hierbij op het herstel van mosselbanken. Mosselen zijn zogenaamde biobouwers, organismen die milieuomstandigheden zoals sedimentcondities en hydrodynamica, sterk kunnen beïnvloeden. Daardoor creëren ze geschikte leefomstandigheden voor zichzelf, maar ook voor andere soorten. Op die manier spelen ze een sleutelrol in het voortbestaan van de biodiversiteit van de Waddenzee. Waddensleutels experimenteert met het aanleggen van mosselbanken om te achterhalen waarom het herstel van deze soort zo langzaam gaat. Naast het herstel van mosselbanken, onderzoekt Waddensleutels, samen met lopende projecten (o.a. SIBES, METAWAD), ook het voedselweb van de Waddenzee door dit d.m.v. van isotopenonderzoek in kaart te brengen.

Op basis van deze gegevens is vervolgens een kanskaart opgesteld en zijn richtlijnen voor natuurherstel geformuleerd. Terreinbeheerders en overheden kunnen die nu in de praktijk toepassen. Om tot een kanskaart voor natuurherstel te komen is het echter noodzakelijk om eerst de ecologische gebiedskenmerken van de Waddenzee in hoofdlijnen in kaart te brengen. Een ecotopenkaart is hiervoor een handig hulpmiddel. Dit is een classificatiesysteem waarin de belangrijkste abiotische eenheden van een ecosysteem geordend zijn. De ecotopenkaart, opgesteld binnen Waddensleutels, vertoont grote overeenkomsten met eerder opgestelde kaarten (o.a. Bouma et al. 2005; Dankers et al. 2006) en is dan ook goed te vergelijken met deze oudere kaarten.

Doel

De ecotopenkaart dient als basis voor de kanskaart van natuurherstel voor het waden het 'natte deel' van de Waddenzee en geeft de belangrijkste ecotopen in de Waddenzee weer. De verschillende ecotopen in combinatie met soortenaantallen en gegevens van isotopen, mosselbankherstel en menselijk gebruik, brengen kansrijke locaties voor natuurherstel in beeld. Hiermee kunnen natuurorganisaties en overheden met meer zekerheid inschatten welke locaties geschikt zijn voor natuurherstel.

Werkwijze en opzet

Ecotopen worden grotendeels bepaald door fysische processen zoals droogvalduur, stroming en sedimentatie, en deze processen zijn daarnaast ook van groot belang voor het al dan niet voorkomen van specifieke soorten. Het is echter onmogelijk om alle fysische omgevingsfactoren overzichtelijk in één kaartlaag samen te voegen. Daarom is gekozen voor de fysisch omgevingsfactoren die naar verwachting de meeste invloed zullen hebben op de leefgemeenschappen in het gebied: droogvalduur en sediment.

Voor het opstellen van de ecotopenkaart is de noodzakelijke kennis bijeengebracht in het geografische informatiesysteem ArcGIS. De ecotopenkaart geeft een overzicht van de verschillende ecotooptypes en is gebaseerd op verschillende onderliggende lagen die bestaan uit bathymetrie- en sedimentgegevens, droogvalduur, kustvegetatie en het voorkomen van mosselen en zeegras.

In de volgende hoofdstukken worden de verschillende onderliggend kaartlagen en de daaruit volgende ecotooptypes beschreven. Aansluitend wordt de ecotopenkaart gepresenteerd.

1.1. Basisgegevens ecotopenkaart

Voor het opstellen van de ecotopenkaart zijn de volgende gegevens gebruikt:

Dieptekaart

De bodemdiepte van de Nederlandse kust en de Waddenzee wordt regelmatig in kaart gebracht door Rijkswaterstaat binnen het programma Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands (MWTL). De zone die daarbij ingemeten wordt loopt vanaf de droge gebieden aan de kust tot aan de NAP -20 m dieptelijn in de Noordzee. De dieptemetingen worden uitgevoerd vanaf schepen waarbij raaien worden ingemeten met een automatisch echolodingsysteem. De metingen worden in fase uitgevoerd waarbij de opnamefrequentie varieert van eenmaal per jaar tot eens in de zes jaar (Wiegmann et al. 2005). Dit is afhankelijk van de dynamiek en menselijke activiteiten in bepaalde gebieden. Alle metingen worden vervolgens verwerkt en met de interpolatietechniek DIGIPOL omgezet in een 20x20 m raster (Perluca et al. 2006). Deze dataset is vrij beschikbaar onder de naam vaklodingen (<http://opendap.deltares.nl>).

Bij het opstellen van de ecotopenkaart, is gebruik gemaakt van een dieptekaart die gebaseerd is op vaklodingen over de periode van 2003-2008.

Droogvalduurkaart

Tijdens de getijdencyclus vallen intergetijdengebieden voor een bepaalde tijd droog. De periode waarover dit gebeurt is de droogvalduur. Voor de ecologie is dit een belangrijke parameter omdat het de leefomstandigheden voor organismen bepaalt. Voor bodemorganismen bepaalt de droogvalduur hoe lang ze blootgesteld worden aan verdroging, hoe lang ze voedsel kunnen verzamelen en hoe lang ze onderhevig zijn aan predatie door vogels, vissen en krabben. Voor vogels



en vissen bepaalt de droogvalduur hoe lang ze naar voedsel kunnen zoeken.

Voor het bepalen van de droogvalduur wordt gebruik gemaakt van de dieptegegevens en waterstanddata. Door de waterstanden te bepalen voor alle punten van de dieptekaart, kan een droogvalduurkaart worden berekend. Die kaart geeft vervolgens het percentage weer van de tijd dat een bepaalde locatie op de kaart droogvalt.

Voor de droogvalkaart zijn de grid cellen van de dieptekaart (RWS-MWTL) vergeleken met geïnterpoleerde waterstanden over de periode 2003-2008. De geïnterpoleerde waterstanden zijn berekend voor elke 10 minuten en gebaseerd op de waterstand van 15 getijdenstations (Rappoldt & Ens 2011). Voor de interpolatie wordt de Waddenzee grotendeels afgedekt met driehoeken die gevormd worden door de 15 getijdenstations. Binnen die driehoeken wordt de waterstand berekend als een gewogen gemiddelde van de drie waterstanden op de hoeken (Rappoldt & Ens 2011). Waterstandgegevens zijn afkomstig van Rijkswaterstaat (www.waterbase.nl).

Sedimentkaart

Binnen het project SIBES (Synoptic Intertidal Benthic Survey) wordt jaarlijks het bodemleven en het sediment in de Waddenzee bemonsterd. Dit monitoringsprogramma omvat het gehele intergetijdengebied en beslaat ruim 4600 locaties. De sedimentmonsters worden geanalyseerd op korrelgrootte waarbij de mediaan van de korrelgrootte per locaties wordt bepaald. Op basis van deze gegevens is een sedimentkaart gemaakt. Sediment monsters werden geanalyseerd in het jaar 2011 en zijn geïnterpoleerd over de Waddenzee met behulp van ArcGIS 10.0 (Compton et al. 2013).

Kwelders, strand en duinenindeling

Kweldervegetatie is zeer divers en complex. Dit wordt o.a. veroorzaakt door hoogteverschillen op de kwelder en de daarbij horende omstandigheden waaronder planten moeten overleven. De pionierzone, bijvoorbeeld, wordt regelmatig overspoeld met zout water. Hierdoor groeien in deze zone alleen planten die goed met zout om kunnen gaan, zoals als zeekraal en Engels slijkgras.

Rijkswaterstaat beschikt over karteringen van de Nederlandse kwelders. Aan de hand van deze karteringen is door RWS een vegetatiezoneringskaart opgesteld. Op de kaart wordt de vegetatie ingedeeld in vegetatiezones zoals pionierzone, lage kwelder en hoge kwelder. Het meetnet Kwelderartering (VEGWAD) maakt onderdeel uit van het monitoringsprogramma MWTL van Rijkswaterstaat. Daarnaast wordt ook het duingebied door RWS in kaart gebracht. Dit gebeurt aan de hand van de zogenaamde Grove Standaard Typologie (GST) op basis van foto's.

Mossel- en oesterbanken (litoraal en sublitoraal)

Jaarlijks worden de litorale mossel- en oesterbanken in de Waddenzee in kaart gebracht. Deze monitoring van mosselbanken en later ook Japanse oesterbanken is gestart in de jaren '90 toen er nog op litoraal mosselzaad gevist mocht worden. De monitoring wordt uitgevoerd door IMARES en bureau MarinX in opdracht en in samenwerking met de schelpdiersector. Sinds 2007 wordt de monitoring uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van EZ binnen het programma WOT (Wettelijke Onderzoeks Taken).

De manier waarop bemonsterd wordt, is in detail beschreven in Brinkman et al. (2003) en Craeymeersch et al. (2004) en wordt hieronder kort samengevat. Litorale mossel en oesterbanken worden tijdens laag water te voet bezocht. Een gebied met groepen mosselen en/of oesters die minder

dan 25 meter uit elkaar liggen en waarbij de bedekking van het gebied met mosselen en/of oesters minimaal 5% bedraagt, wordt gedefinieerd als een mossel- of oesterbank. Liggen de groepen mosselen en/of oesters verder dan 25 meter uit elkaar dan is er sprake van meerdere banken. Is de dichtheid lager dan 5% dan is er geen sprake meer van een bank, maar "strooisel". Wanneer er geen duidelijke groepen zichtbaar zijn, dan is de dichtheid (> 5%) het criterium of een gebied met mosselen en/of oesters nog als bank wordt beoordeeld of als strooisel. Deze beoordelingen worden zowel voor mosselen als voor oesters gemaakt. Tijdens het bemonsteren wordt er rond de banken gelopen en worden de contouren vastgelegd met GPS. Deze gegevens worden vervolgens verder uitgewerkt in het GIS-systeem ArcGIS.

De inventarisatie van het bestand aan sublitorale mosselen en oesters wordt uitgevoerd door IMARES en bureau MarinX. Het sublitorale mossel- en oesterbestand wordt bepaald op basis van bodemonsters en sonarbeelden die worden genomen vanaf een schip. De bemonsteringsfrequentie van de sublitorale banken varieert en de focus van de surveys ligt vooral op de westelijke Waddenzee.

Voor het mossel- en Japanse oesterecotoop zijn gebieden in kaart gebracht waar deze schelpdieren regelmatig voorkomen. Op de ecotopenkaart zijn de gebieden weergegeven waar in de periode van 2001-2011 minimaal 5 keer mossel en/of oesters hebben gelegen. Mossel- en oesterkaarten zijn beschikbaar gesteld via IMARES en MarinX.

Zeegras

In de Waddenzee worden zeegraskarteringen (Klein en Groot Zeegras) uitgevoerd in opdracht van Rijkswaterstaat. Vanaf 1994 vindt deze uitvoering plaats binnen het kader van de MWTL-Biologische monitoring. In de Waddenzee werd jaarlijks gekarteerd, maar vanaf 2011 is dit gewijzigd naar

een 3-jaarlijkse alternerende cyclus. De nieuwe cyclus van de kartering voor de Wadden is gestart in 2011. Tot 2010 zijn de gegevens ingewonnen door veldwerk in combinatie met interpretatie van een luchtfoto beelden. In 2010 is de kartering van de Waddenzee overgegaan op een nieuw rastermethode: gebieden worden systematisch afgelopen en er vindt geen luchtfoto-interpretatie plaats. Per rastercel van 20x20 meter wordt de bedekking van zeegras bepaald en op die manier wordt er een kaart opgebouwd van de verspreiding en dichtheid van de verschillende zeegrassoorten. In grote gebieden waar zeegras in zeer lage gebieden voorkomen, worden vastgelegde transecten geïnventariseerd.

Voor het zeegrasescotoop zijn gebieden in kaart gebracht waar regelmatig zeegras voorkomt (Klein en Grootzeegras). Op ecotopenkaart zijn de gebieden weergegeven waar in de periode van 2001-2011 minimaal 5 keer zeegras heeft gestaan. Zeegraskaarten zijn beschikbaar via het Nationaal GeoRegister.

1.2. Verschillende types ecotopen en hun ecologische beschrijving Geul (dieper dan 5 meter)

De geulen transporteren grote hoeveelheden water in en uit de Waddenzee. Hierdoor worden vaak hoge stroomsnelheden bereikt en ontstaat er een zeer dynamische leefgebied dat sterk kan verschillen van de ondieper gelegen droogvallende wadplaten. Geulen vormen een belangrijk habitat voor vissen (zowel voor volwassen vissen als voor larven). Daarnaast overwinteren soorten zoals de Grijze garnaal (Crangon crangon) en Strandkrab (Carcinus maenas) in de geulen (Klein Breteler 1976). Tevens vormen de geulen een belangrijk foerageergebied voor Grijze en Gewone zeehonden en voor verschillende soorten vogels zoals meeuwen, sterns, aalscholvers en duikeenden. Naast de functie als leef- en foerageergebied, zijn de geulen ook belangrijk voor transport



en verspreiding van voedsel (bijv. algen en organisch materiaal) en larven van allerlei verschillende soorten. Lokaal kunnen in de geulen mosselbanken voorkomen. De bodem kan zowel zandig als slibbig zijn, afhankelijk van de stroomsnelheid en sedimentatie.

Ondergedoken wadplaten (<-5m-1% droogvallend)

Ondergedoken wadplaten liggen grotendeels beneden de laagwaterlijn. De bodemfauna in dit ecotoop vertoont overeenkomsten met de fauna die voorkomt op droogvallende platen, maar wordt ook gekenmerkt door een aantal soorten die alleen voorkomen in sublitorale delen van de Waddenzee zoals vissen, anemonen en zeesterren. Lokaal kunnen mosselbanken voorkomen. Vóór de jaren 1930 kwam voornamelijk in de westelijke Waddenzee ook Groot Zeegrass (*Zostera marina*) voor in dit ecotoop. Daarnaast vormt deze zone ook een belangrijk foerageergebied voor Grijze en Gewone zeehonden en voor verschillende soorten vogels zoals meeuwen, sterns, aalscholvers en duikeenden. De bodem kan zowel zandig als slibbig zijn, afhankelijk van de stroomsnelheid en sedimentatie.

Lage wadplaten (1-33% droogvallend)

Lage wadplaten liggen 1-33% van de getijcyclus droog. De lage wadplaten grenzen aan de ondergedoken wadplaten en geulen. Ontwatering van de lage platen vindt plaats door prielen en geulen die zich vertakken. Op de platen komen mosselbanken, oesterbanken, en kokkelbanken voor. Daarnaast worden zandige wadplaten vaak gekenmerkt door hoge dichtheden wadpieren. Andere veel voorkomende soorten op de lage wadplaten zijn Strand- en Slijkgapers, Nonnetjes, Amerikaanse Zwaardschedes, Wapenwormen, Zandzagers en Zeeduizendpoten. Diatomeeën zorgen in het voorjaar en de zomer vaak voor een bruine tot groen gekleurde laag op het zand. Lage wadplaten zijn tijdens laagwater belangrijk foerageergebied voor verschillende

soorten steltlopers, meeuwen en eenden. Tijdens hoogwater vormen ze een belangrijk foerageergebied voor krabben, garnalen, platvissen, sterns en duikeenden. De bodem kan zowel zandig als slibbig zijn, afhankelijk van de dynamiek in het gebied.

Middelhoge wadplaten (33-67% droogvallend)

De overgang van lage naar middelhoge wadplaten is gradueel. Afgezien van de droogvalduur (33-67% van de tijd droog) zijn er daarom weinig verschillen tussen de lage en middelhoge wadplaten. De bodemfauna is vergelijkbaar en de aanwezigheid van verschillende soorten is vooral afhankelijk van sedimenttype, zoals ook op de lage wadplaten het geval is. De langere droogvalduur kan wel de groei en dichtheid van veel bodemdieren beïnvloeden. De middelhoge wadplaten worden naast mossel- en oesterbanken ook gekenmerkt door droogvallende zeegrassvelden (*Zostera noltii*), hoewel deze maar op een paar locaties in de Waddenzee voorkomen.

Hoge wadplaten (67-99% droogvallend)

De hoge wadplaten liggen 67-99% van de getijcyclus droog. Dit deel is vaak onderhevig aan golven omdat de platen reiken tot aan het hoogwaterniveau. Daarentegen kan de stroomsnelheid wel zo laag zijn dat sommige bodemdieren zich hier eerst vestigen om vervolgens naar lager gelegen gebieden te migreren. Vanwege de lange droogvaltijd heeft de bodemfauna weinig tijd om voedsel te verzamelen. De hogere gedeelten hebben daardoor een lagere soortenrijkdom en biomassa aan bodemdieren. Mosselbanken komen niet op de hoog gelegen platen niet voor. Tijdens laagwater worden deze gebieden wel bezocht door steltlopers en meeuwen. De bodem kan zowel zandig als slibbig zijn.

Overstroomd tijdens springtij (>99% droogvallend)

Hogere deel van de eilanden dat grotendeels uit strand bestaat.

Droog

Hogere deel van de eilanden dat grotendeels uit duinen bestaat. Langs de kust van het vasteland worden de droge delen gevormd door dijken.

Hoge slik-en zandplaten

Hogere delen van het wad kunnen plaatselijk begroeid raken. Met name tijdens stormen kan er lokaal veel sediment afgezet worden of juist sterke erosie plaatsvinden. Vegetatie die er groeit bestaat voornamelijk uit Zeekraal en Engels slijkgras.

Kwelderkreken en -poelen

Kwelderkreken bevinden zich op de kwelder en zijn van groot belang voor de aan- en afvoer van water en sediment. Kwelderpoelen stromen met hoogwater vol en bieden tijdens laag water een zoutwaterhabitat voor allerlei soorten.

Zilte pionierbegroeiing

De pionierzone is het laagste deel van de kwelder dat begroeid is en overstroomt gemiddeld twee keer per dag tijdens hoog water. Hierdoor groeien in deze zone alleen planten die goed met zout om kunnen gaan, zoals zeekraal en Engels slijkgras.

Lage/jonge kwelders

De lage/ jonge kwelder overstroomt gemiddeld 100-300 keer per jaar, dus niet met elk tij. Op de lage/jonge kwelder kunnen meerjarige plantensoorten groeien. Soorten die op dit type kwelder voorkomen zijn Engels lepelblad, Gerande schijnspurrie, Schorrenzoutgras en Gewone zoutmelde. Ontwatering vindt plaats via kwelderkreken. Tijdens hoogwater wordt de lage kwelder als hoogwatervluchtplaats gebruikt door steltlopers en meeuwen. Daarnaast is dit deel van de kwelder van belang als foerageergebied voor ganzen en als broedgebied voor vogels zoals de Kluut, Tureluur en Kokmeeuw.

Middelhoge kwelder

De middelhoge kwelder is erg dynamisch en overstroomt ongeveer 30-100 keer per jaar. Het kan echter ook voorkomen dat het weken achtereen niet overstroomd. De belangrijkste plantensoorten die voorkomen op de middelhoge kwelder zijn o.a. Gewone zoutmelde, Zulte, Rood zwenkgras, Zeeweegbree, Zeealsum en Spiesselde. Daarnaast wordt ook dit deel van de kwelder door vogels gebruikt als hoogwatervlucht-, foerageer- en broedplaats. De hoge of oude kwelder overstroomt alleen tijdens springtij of storm, ongeveer 30 keer per jaar. De plantensoorten die voorkomen op de hoge/oude kwelder zijn o.a. Fioringras, Rood zwenkgras, Zeekweek, Kattendoorn, Engels raigras, Veldbeemdgras en allerlei klavers en mossen.

Embryonale duinen en strandvlakte

Embryonale duinen komen voor aan de voet van de zeereep langs het strand. Daarnaast komen ze ook voor langs de randen van sluffers, wash-overs (plekken waar zoutwater over de stuifduik heen kan slaan tijdens extreem hoog water) en langs strandvlakten. Door de hoge dynamiek in dit gebied varieert de begroeiing sterk. De vegetatie die hier wordt aangetroffen bestaat uit Biestarwegras en vloedmerkvegetatie.

De Strandvlakte is een stuk strand dat door lage duinen van het strand wordt gescheiden.

Buitendelta's

De buitendelta's omvatten de gebieden ten noorden van de Wadden en worden gevormd door de zeegaten. De buitendelta's worden gekenmerkt door een hoge dynamiek. Over de bodemfauna in deze gebieden is nog weinig bekend, maar er komen wel verschillende soorten wormen, schelpdieren, krabben en platvissen voor (van Leeuwen et al. 1994).

Daarnaast maken ook verschillende vogelsoorten, zoals



zee-eenden, en steltlopers gebruik van de buitendelta's als hoogwatervluchtplaats en foerageergebied.

Mossel- en oester-banken (litoraal en sublitoraal)

Mosselbanken worden gevormd door mosselen die zich aan elkaar vast hechten. Ze ontstaan vaak doordat jonge mosseltjes zich hechten aan hard substraat op het wad zoals (lege) schelpen van kokkels, restanten van oude mossel- en oesterbanken en kokerwormen. In het eerste jaar liggen de mosselen verspreid en min of meer los op het wad en deze jonge banken zijn daardoor gevoelig voor stormen, ijs en predatie. Naarmate de mosselbank ouder wordt is het gevormde rif sterker en bestaan ze uit stevige mosselbulten met daartussen poeltjes en open ruimtes. Deze variatie in het landschap zorgt voor een grote soortenrijkdom (Norling & Kautsky 2007; Markert et al. 2010). Op en tussen de mosselen en oesters groeien veel planten en beesten, zoals zeewieren, slakjes, visjes en garnalen, die vervolgens weer door grotere vissen of wadvogels worden gegeten. De mosselen zelf vormen een zeer belangrijke voedselbron voor vogels, krabben en zeesterren. Naast het feit dat mosselbanken voor vaste ondergrond zorgen op de anders zachte bodem in de Waddenzee, filteren ze ook het water en produceren 'pseudofeces', een soort slibbig mosselpoep. Op de litorale wadplaten komt dit rond de mosselen op de zandbodem terecht en is erg rijk aan nutriënten. Het effect is niet alleen lokaal op de banken zichtbaar, maar ook ver voorbij de contouren van de bank. Dit ruimtelijk effect heeft een sterke aantrekkingskracht op vogels, zoals Scholeksters, Wulpen en Rosse grutto's, die in grote aantallen in slibrijke gebieden rond de litorale banken naar voedsel komen zoeken (Van der Zee et al. 2012).

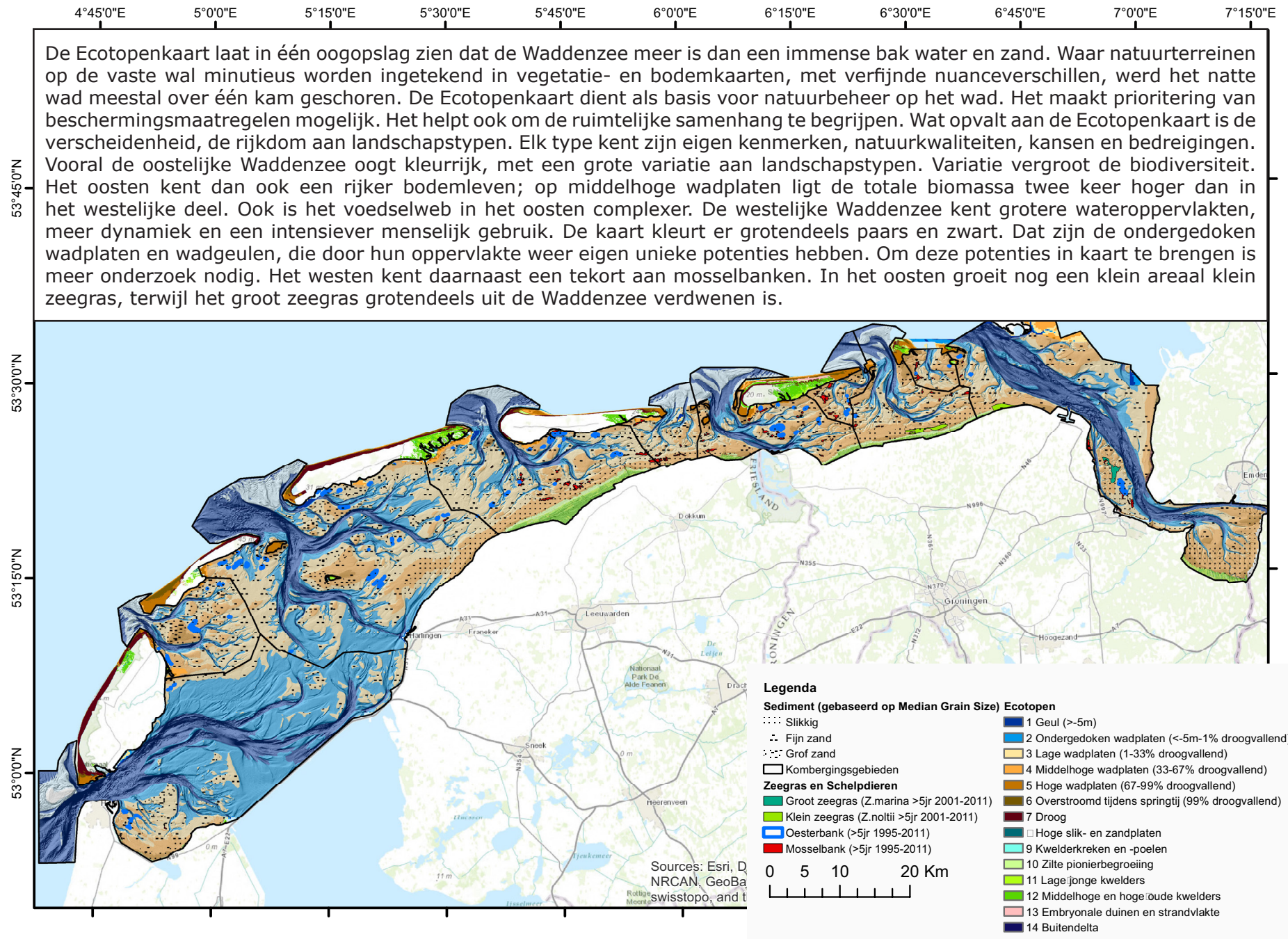
Zeegras (litoraal)

Zeegras komt met name voor op middelhoge tot hoge, enigszins beschutte, wadplaten. Vroeger kwam vooral Groot Zeegras, *Zostera marina*, wijdverspreid voor in zowel het litoraal als het sublitoraal. De sublitorale populatie is al sinds de jaren 1930 verdwenen uit de Waddenzee en litoraal komt groot zeegras nog slechts sporadisch voor. Klein zeegras, *Zostera noltii*, is nu de meest voorkomende soort zeegras in de Waddenzee, al wordt deze soort ook slechts op een beperkt aantal plaatsen aangetroffen in het litoraal. Ook zeegras is een zogenaamde biobouwer: de bladeren remmen de stroming waardoor fijn slib op de bodem terecht komt en ze vormen substraat op de anders zo zandige wadbodem (Orth et al. 1984; Fonseca & Cahalan 1992). Zeegrasvelden dienen als foerageergebied, schuilplaats voor predatie en als kraamkamer voor vele diersoorten en zijn dan ook erg belangrijk voor de biodiversiteit (Heck et al. 2003; Polte et al. 2005).

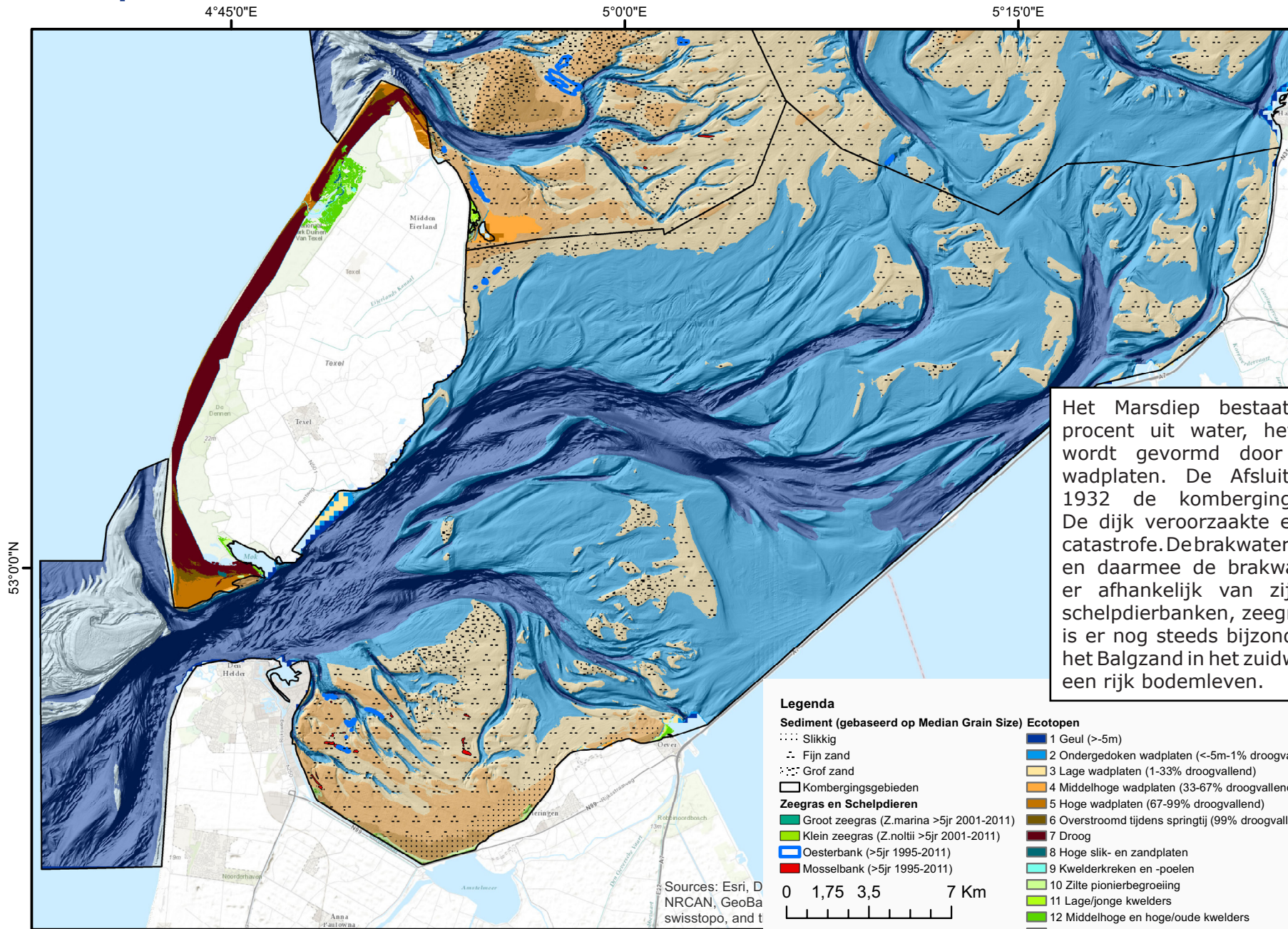
Wadplaten met verschillende sedimentcondities

Sedimentcondities hebben een groot effect op de bodemfauna. Op de ecotopenkaart zijn daarom 3 sedimenttypes weergegeven: slibbig, zandig sediment en grofzandig sediment. Sediment typen zijn alleen weergegeven voor 3 typen ecotopen namelijk lage wadplaten, middelhoge wadplaten en hoge wadplaten. De types zijn gebaseerd op de mediaan van de korrelgrootte van het sediment. Het type met een lage mediane korrelgrootte (25–106 µm) wordt getypeerd als slibbig wad, het type met een gemiddeld mediane korrelgrootte (106–186 µm) komt veel voor en is getypeerd als zandig wad. Het type met een hoge mediane korrelgrootte (186–393 µm) wordt getypeerd als grof zandig wad.

1.3. Ecotopenkaarten



Marsdiep



Het Marsdiep bestaat voor tachtig procent uit water, het overige deel wordt gevormd door droogvallende wadplaten. De Afsluitdijk sneed in 1932 de komberging doormidden. De dijk veroorzaakte een ecologische catastrofe. De brakwaterzone verdween, en daarmee de brakwatersoorten die er afhankelijk van zijn. Het areaal schelpdierbanken, zeegras en kwelders is er nog steeds bijzonder laag. Alleen het Balgzand in het zuidwesten herbergt een rijk bodemleven.

Legenda

Sediment (gebaseerd op Median Grain Size)

- Slikkig
- - - Fijn zand
- Grof zand
- Kombergingsgebieden

Zeegras en Schelpdieren

- Groot zeegras (*Z. marina* >5jr 2001-2011)
- Klein zeegras (*Z. noltii* >5jr 2001-2011)
- Oesterbank (>5jr 1995-2011)
- Mosselbank (>5jr 1995-2011)

Ecotopen

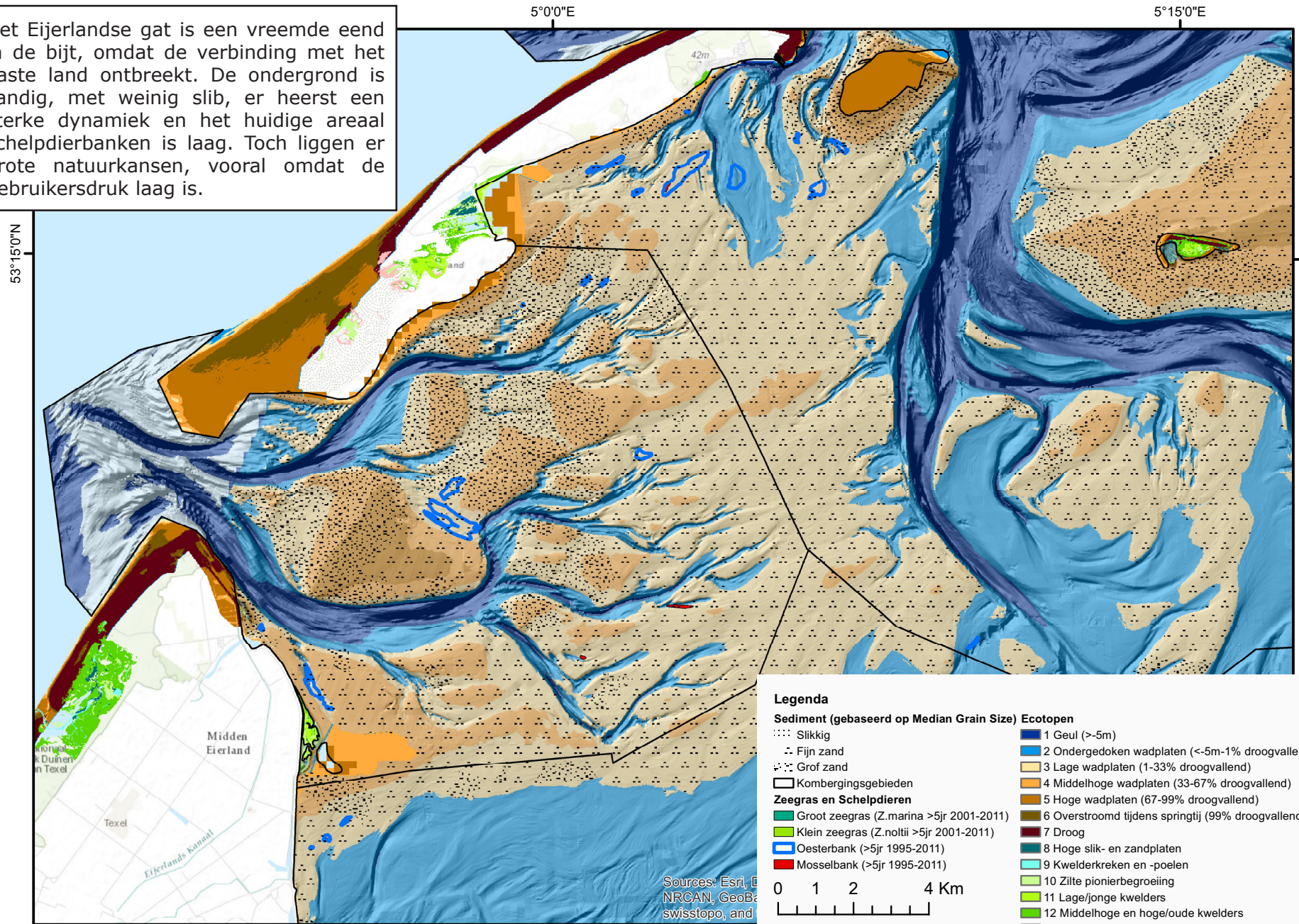
- 1 Geul (>-5m)
- 2 Ondergedoken wadplaten (<-5m-1% droogvallend)
- 3 Lage wadplaten (1-33% droogvallend)
- 4 Middelhoge wadplaten (33-67% droogvallend)
- 5 Hoge wadplaten (67-99% droogvallend)
- 6 Overstroomd tijdens springtij (99% droogvallend)
- 7 Droog
- 8 Hoge slijk- en zandplaten
- 9 Kwelderkreken en -poelen
- 10 Zilte pionierbegroeiing
- 11 Lage/jonge kwelders
- 12 Middelhoge en hoge/oude kwelders
- 13 Embryonale duinen en strandvlakte
- 14 Buitendelta

0 1,75 3,5 7 Km

Sources: Esri, D NRCAN, GeoBasis, and t swisstopo, and t

Eijerlandse Gat

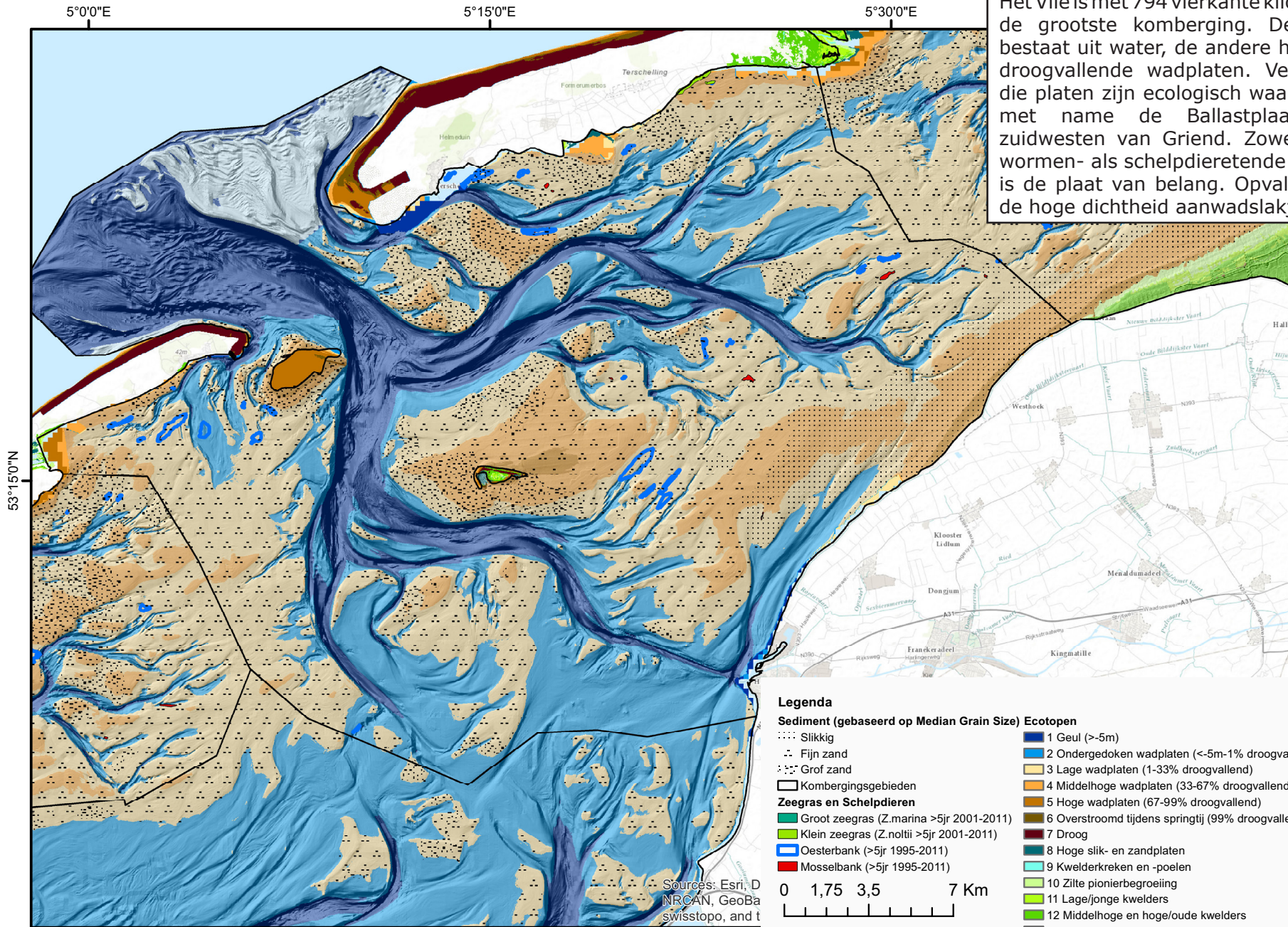
Het Eijerlandse gat is een vreemde eend in de bijt, omdat de verbinding met het vaste land ontbreekt. De ondergrond is zandig, met weinig slib, er heerst een sterke dynamiek en het huidige areaal schelpdierbanken is laag. Toch liggen er grote natuurkansen, vooral omdat de gebruikersdruk laag is.



Legenda

Sediment (gebaseerd op Median Grain Size)		Ecotopen	
•••••	Slikkig	1	Geul (>-5m)
••••	Fijn zand	2	Ondergedoken wadplaten (<-5m-1% droogvallend)
•••	Grof zand	3	Lage wadplaten (1-33% droogvallend)
□	Kombergingsgebieden	4	Middelhoge wadplaten (33-67% droogvallend)
Zeegras en Schelpdieren		5	Hoge wadplaten (67-99% droogvallend)
■	Groot zeegras (Z.marina >5jr 2001-2011)	6	Overstroombd tijdens springtij (99% droogvallend)
■	Klein zeegras (Z.noltii >5jr 2001-2011)	7	Droog
■	Oesterbank (>5jr 1995-2011)	8	Hoge slik- en zandplaten
■	Mosselbank (>5jr 1995-2011)	9	Kwelderkreken en -poelen
0 1 2 4 Km		10	Zilte pionierbegroeiing
		11	Lage/jonge kwelders
		12	Middelhoge en hoge/oude kwelders
		13	Embryonale duinen en strandvlakte
		14	Buitendelta

Sources: Esri, De Luchter, NRCAN, GeoBasis-AM, swisstopo, and others



Het Vlie is met 794 vierkante kilometer de grootste komberging. De helft bestaat uit water, de andere helft uit droogvallende wadplaten. Veel van die platen zijn ecologisch waardevol, met name de Ballastplaat ten zuidwesten van Griend. Zowel voor wormen- als schelpdieretende vogels is de plaat van belang. Opvallend is de hoge dichtheid aanwadslakjes.

Legenda

Sediment (gebaseerd op Median Grain Size)

- Slikkig
- Fijn zand
- Grof zand
- Kombergingsgebieden

Zeegras en Schelpdieren

- Groot zee gras (Z.marina >5jr 2001-2011)
- Klein zee gras (Z.noltii >5jr 2001-2011)
- Oesterbank (>5jr 1995-2011)
- Mosselbank (>5jr 1995-2011)

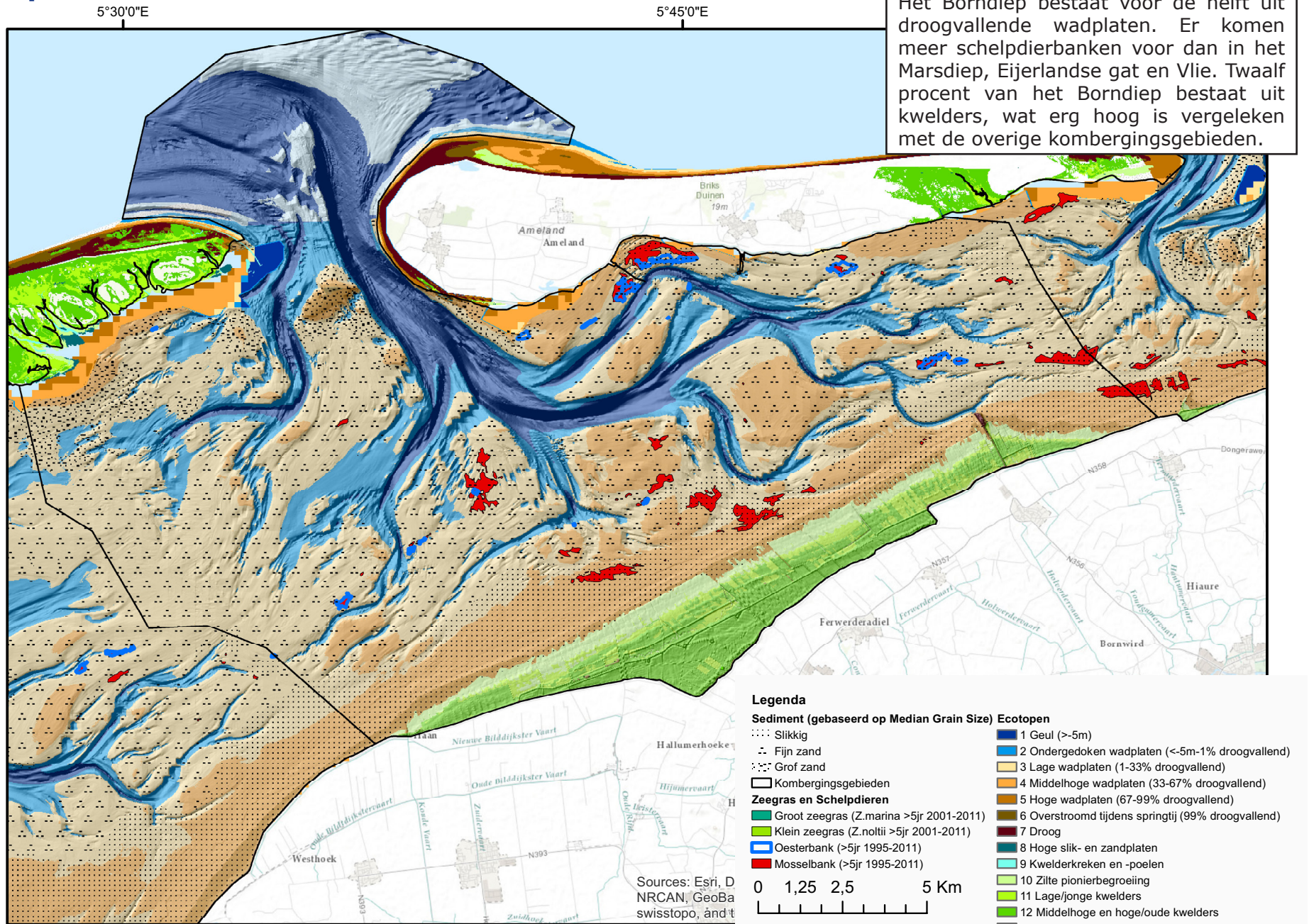
Ecotopen

- 1 Geul (>-5m)
- 2 Ondergedoken wadplaten (<-5m-1% droogvallend)
- 3 Lage wadplaten (1-33% droogvallend)
- 4 Middelhoge wadplaten (33-67% droogvallend)
- 5 Hoge wadplaten (67-99% droogvallend)
- 6 Overstroomd tijdens springtij (99% droogvallend)
- 7 Droog
- 8 Hoge slijk- en zandplaten
- 9 Kwelderkreken en -poelen
- 10 Zilte pionierbegroeiing
- 11 Lage/jonge kwelders
- 12 Middelhoge en hoge/oude kwelders
- 13 Embryonale duinen en strandvlakte
- 14 Buitendelta

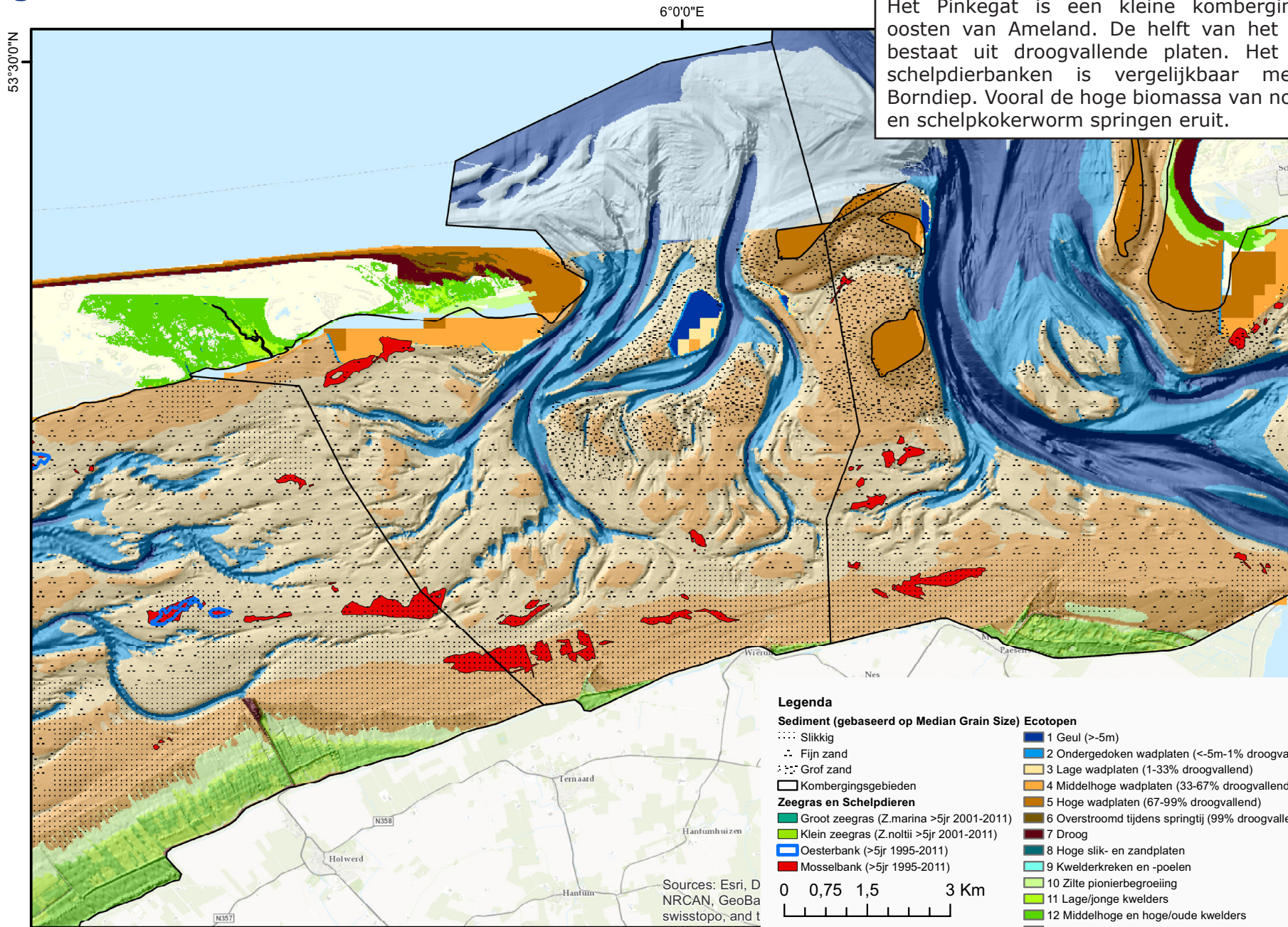
0 1,75 3,5 7 Km

Sources: Esri, D NRCAN, GeoBa swisstopo, and t

Borndiep



Pinkegat



Het Pinkegat is een kleine komberging ten oosten van Ameland. De helft van het gebied bestaat uit droogvallende platen. Het areaal schelpdierbanken is vergelijkbaar met het Borndiep. Vooral de hoge biomassa van nonnetje en schelpkokerworm springen eruit.

Legenda

Sediment (gebaseerd op Median Grain Size)

- Slikkig
- Fijn zand
- Grof zand
- ▭ Kombergingsgebieden

Zeegras en Schelpdieren

- Groot zeegras (Z.marina >5jr 2001-2011)
- Klein zeegras (Z.noltii >5jr 2001-2011)
- Oesterbank (>5jr 1995-2011)
- Mosselbank (>5jr 1995-2011)

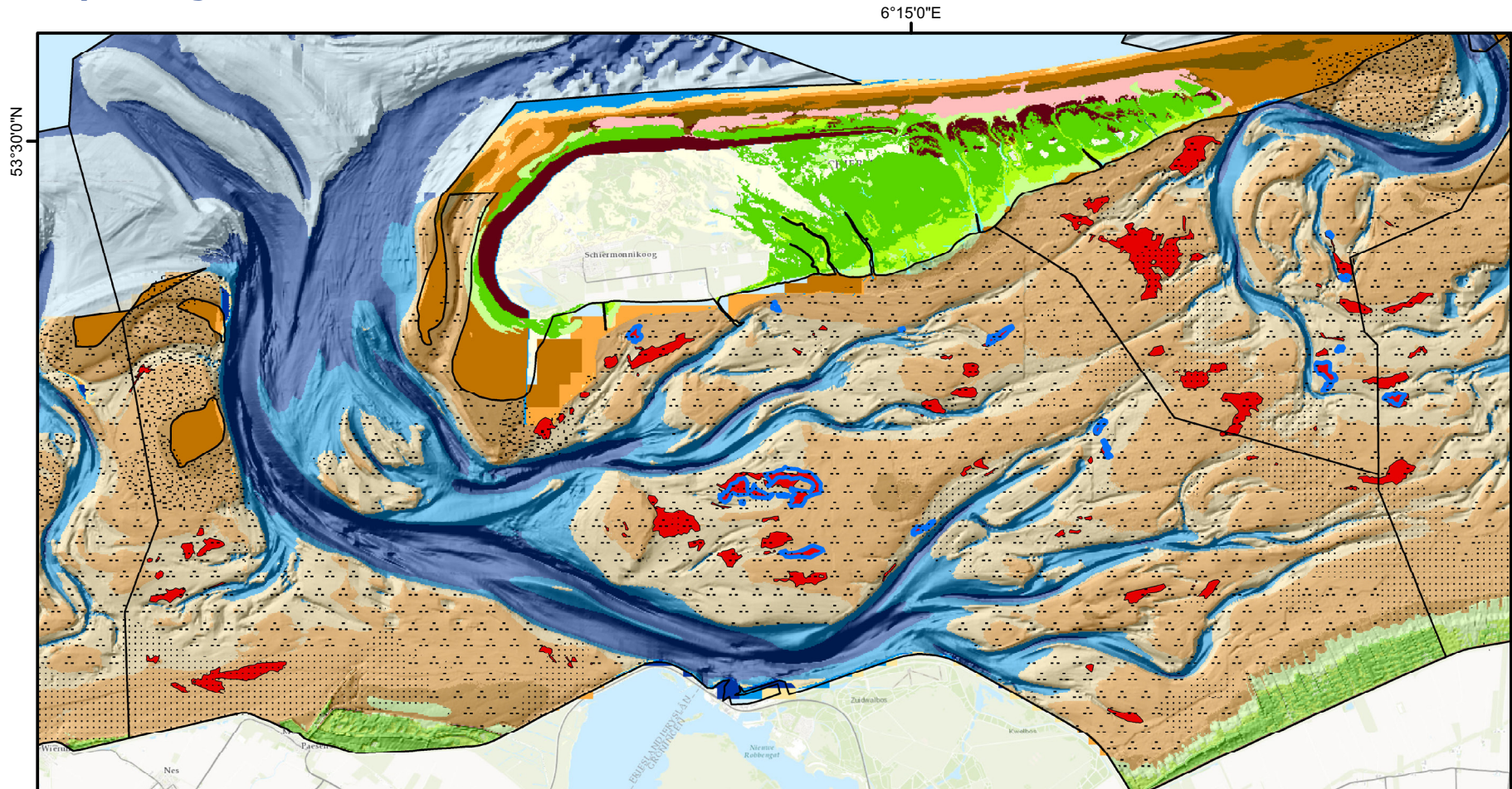
Ecotopen

- 1 Geul (>-5m)
- 2 Ondergedoken wadplaten (<-5m-1% droogvallend)
- 3 Lage wadplaten (1-33% droogvallend)
- 4 Middelhoge wadplaten (33-67% droogvallend)
- 5 Hoge wadplaten (67-99% droogvallend)
- 6 Overstroomd tijdens springtij (99% droogvallend)
- 7 Droog
- 8 Hoge slik- en zandplaten
- 9 Kwelderkreken en -poelen
- 10 Zilte pionierbegroeiing
- 11 Lage/jonge kwelders
- 12 Middelhoge en hoge/oude kwelders
- 13 Embryonale duinen en strandvlakte
- 14 Buitendelta

0 0,75 1,5 3 Km

Sources: Esri, D NRCAN, GeoBa swisstopo, and t

Zoutkamperlaag



Het kombergingsgebied Zoutkamperlaag bestaat voor de helft uit droogvallende wadplaten. Het areaal schelpdierbanken is vergelijkbaar met het Borndiep en het Pinkegat. Net als bij het Marsdiep heeft de sluiting van het Lauwersmeer hier grote ecologische gevolgen gehad. De wadgeul is afgebogen, de zoetzoutgradiënt grotendeels verdwenen.

Sources: Esri, D NRCAN, GeoBasis, and t

Legenda

Sediment (gebaseerd op Median Grain Size)

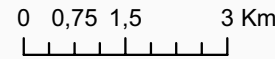
- Slikkig
- Fijn zand
- Grof zand
- ▭ Kombergingsgebieden

Zeegras en Schelpdieren

- Groot zeegras (*Z.marina* >5jr 2001-2011)
- Klein zeegras (*Z.noltii* >5jr 2001-2011)
- Oesterbank (>5jr 1995-2011)
- Mosselbank (>5jr 1995-2011)

Ecotopen

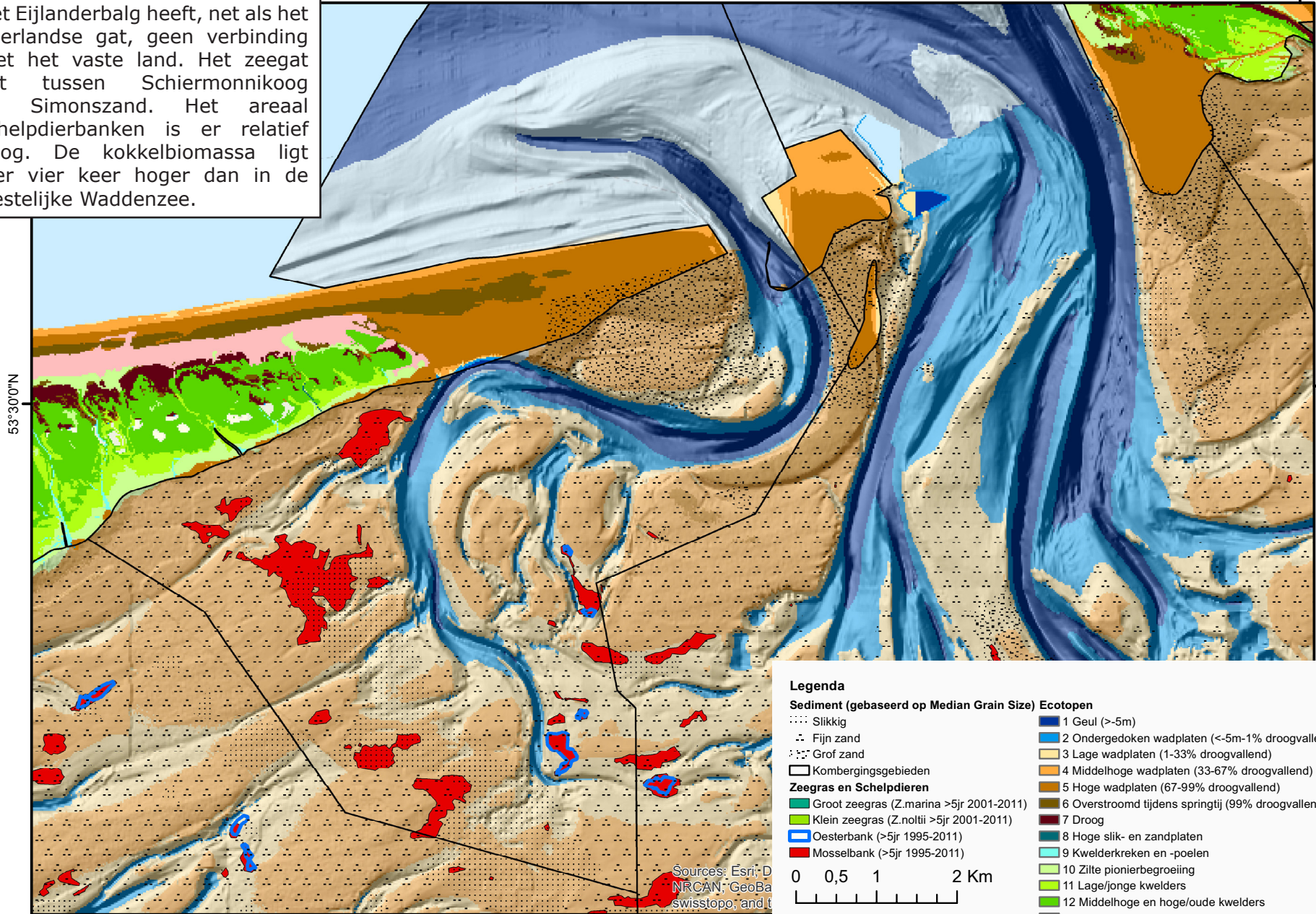
- 1 Geul (>5m)
- 2 Ondergedoken wadplaten (<5m-1% droogvallend)
- 3 Lage wadplaten (1-33% droogvallend)
- 4 Middelhoge wadplaten (33-67% droogvallend)
- 5 Hoge wadplaten (67-99% droogvallend)
- 6 Overstroemd tijdens springtij (99% droogvallend)
- 7 Droog
- 8 Hoge slijk- en zandplaten
- 9 Kwelderkreken en -poelen
- 10 Zilte pionierbegroeiing
- 11 Lage/jonge kwelders
- 12 Middelhoge en hoge/oude kwelders
- 13 Embryonale duinen en strandvlakte
- 14 Buitendelta



Eilanderbalg

6°30'0"E

Het Eijlanderbalg heeft, net als het Eijerlandse gat, geen verbinding met het vaste land. Het zeegat ligt tussen Schiermonnikoog en Simonszand. Het areaal schelpdierbanken is er relatief hoog. De kokkelbiomassa ligt hier vier keer hoger dan in de westelijke Waddenzee.



Legenda

Sediment (gebaseerd op Median Grain Size)

- Slikkig
- Fijn zand
- Grof zand
- ▭ Kombergingsgebieden

Zeegras en Schelpdieren

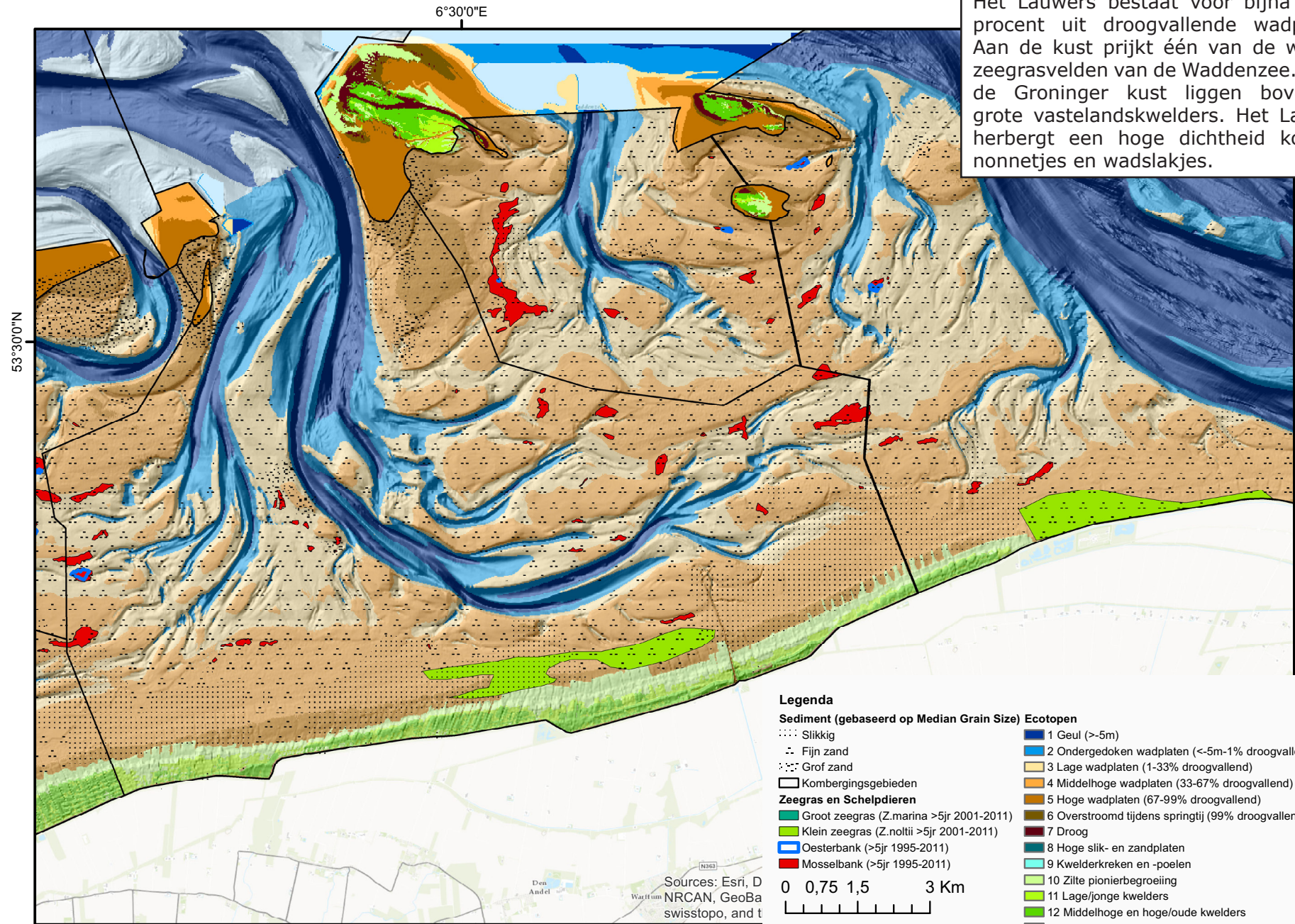
- Groot zeegras (Z.marina >5jr 2001-2011)
- Klein zeegras (Z.noltii >5jr 2001-2011)
- Oesterbank (>5jr 1995-2011)
- Mosselbank (>5jr 1995-2011)

Ecotopen

- 1 Geul (>-5m)
- 2 Ondergedoken wadplaten (<-5m-1% droogvallend)
- 3 Lage wadplaten (1-33% droogvallend)
- 4 Middelhoge wadplaten (33-67% droogvallend)
- 5 Hoge wadplaten (67-99% droogvallend)
- 6 Overstroomd tijdens springtij (99% droogvallend)
- 7 Droog
- 8 Hoge slijk- en zandplaten
- 9 Kwelderrekken en -poelen
- 10 Zilte pionierbegroeiing
- 11 Lage/jonge kwelders
- 12 Middelhoge en hoge/oude kwelders
- 13 Embryonale duinen en strandvlakte
- 14 Buitendelta

Sources: Esri; D NRCAN; GeoBa swisstopo; and t

Lauwers



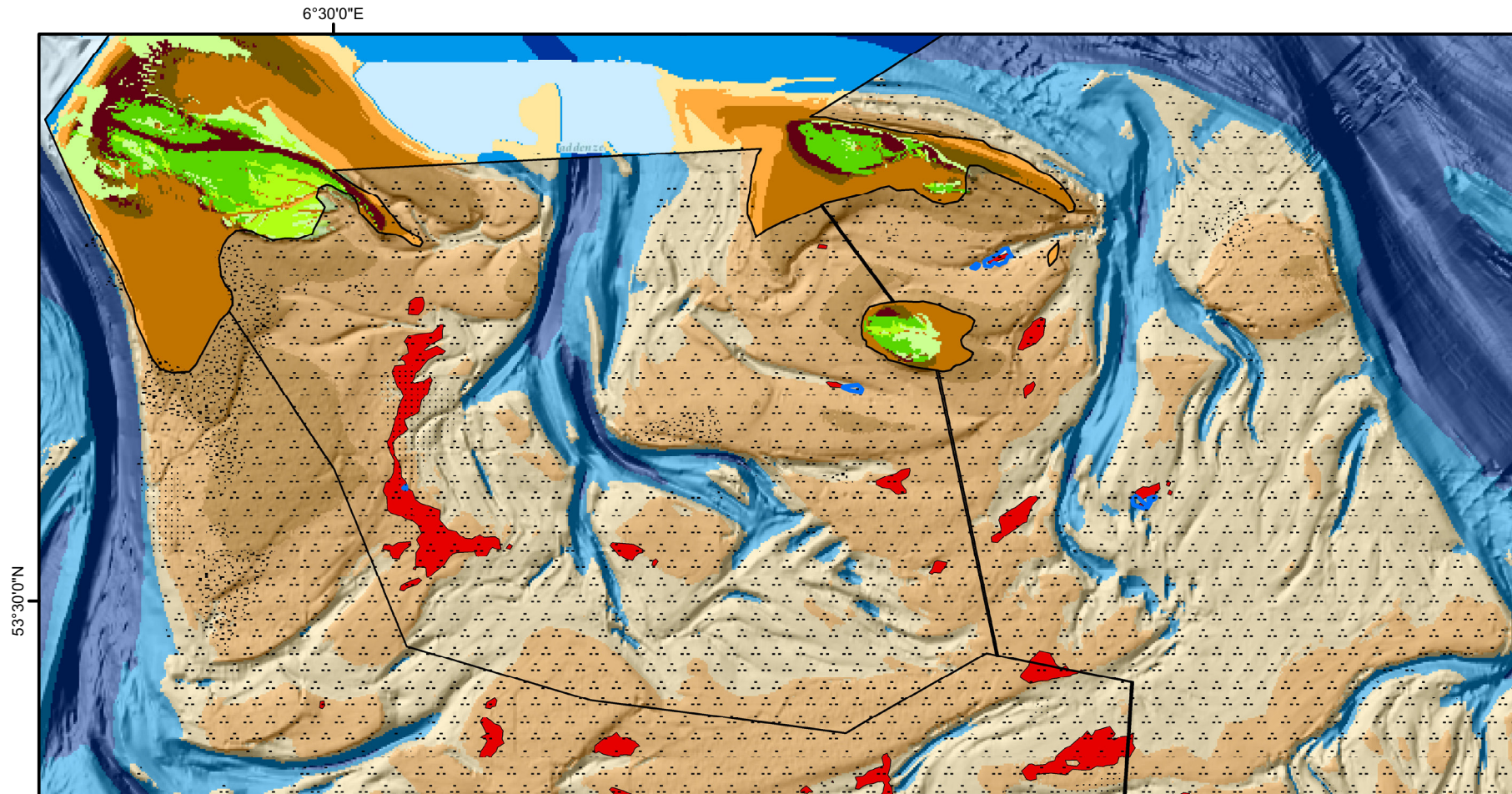
Het Lauwers bestaat voor bijna zestig procent uit droogvallende wadplaten. Aan de kust prijkt één van de weinige zeegrasvelden van de Waddenzee. Langs de Groninger kust liggen bovendien grote vastelandskwelders. Het Lauwers herbergt een hoge dichtheid kokkels, nonnetjes en wadslakjes.

Legenda

- | | | | |
|--|---|-----------------|--|
| Sediment (gebaseerd op Median Grain Size) | | Ecotopen | |
| ••••• | Slikkig | 1 | Geul (>5m) |
| •••• | Fijn zand | 2 | Ondergedoken wadplaten (<5m-1% droogvallend) |
| ••• | Grof zand | 3 | Lage wadplaten (1-33% droogvallend) |
| □ | Kombergingsgebieden | 4 | Middelhoge wadplaten (33-67% droogvallend) |
| Zeegras en Schelpdieren | | 5 | Hoge wadplaten (67-99% droogvallend) |
| ■ | Groot zeegras (Z.marina >5jr 2001-2011) | 6 | Overstroomd tijdens springtij (99% droogvallend) |
| ■ | Klein zeegras (Z.noltii >5jr 2001-2011) | 7 | Droog |
| ■ | Oesterbank (>5jr 1995-2011) | 8 | Hoge slijk- en zandplaten |
| ■ | Mosselbank (>5jr 1995-2011) | 9 | Kwelderkreken en -poelen |
| 0 0,75 1,5 3 Km | | 10 | Zilte pionierbegroeiing |
| | | 11 | Lage/jonge kwelders |
| | | 12 | Middelhoge en hoge/oude kwelders |
| | | 13 | Embryonale duinen en strandvlakte |
| | | 14 | Buitendelta |

Sources: Esri, D
NRCAN, GeoBa
swisstopo, and t

Schild



Het Schild is de kleinste komberging. Het ligt tussen Rottumeroog en het Zuiderstrand. Het Schild staat zonder meer te boek als de rijkste komberging van de Waddenzee. De verscheidenheid aan landschapstypen is er hoog, net als natuurwaarden, met veel schelpdierbanken (vier procent), een rijk bodemleven (de hoogste biomassa van de gehele Waddenzee) en hoge dichtheden aan wadvogels. Visserij is er verboden, de verstering door recreatie is er laag.

Sources: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, IGN, GeoBasisnederland, Landsat, swisstopo, and the USDA

Legenda

Sediment (gebaseerd op Median Grain Size)

- Slikkig
- Fijn zand
- Grof zand
- ▭ Kombergingsgebieden

Zeegras en Schelpdieren

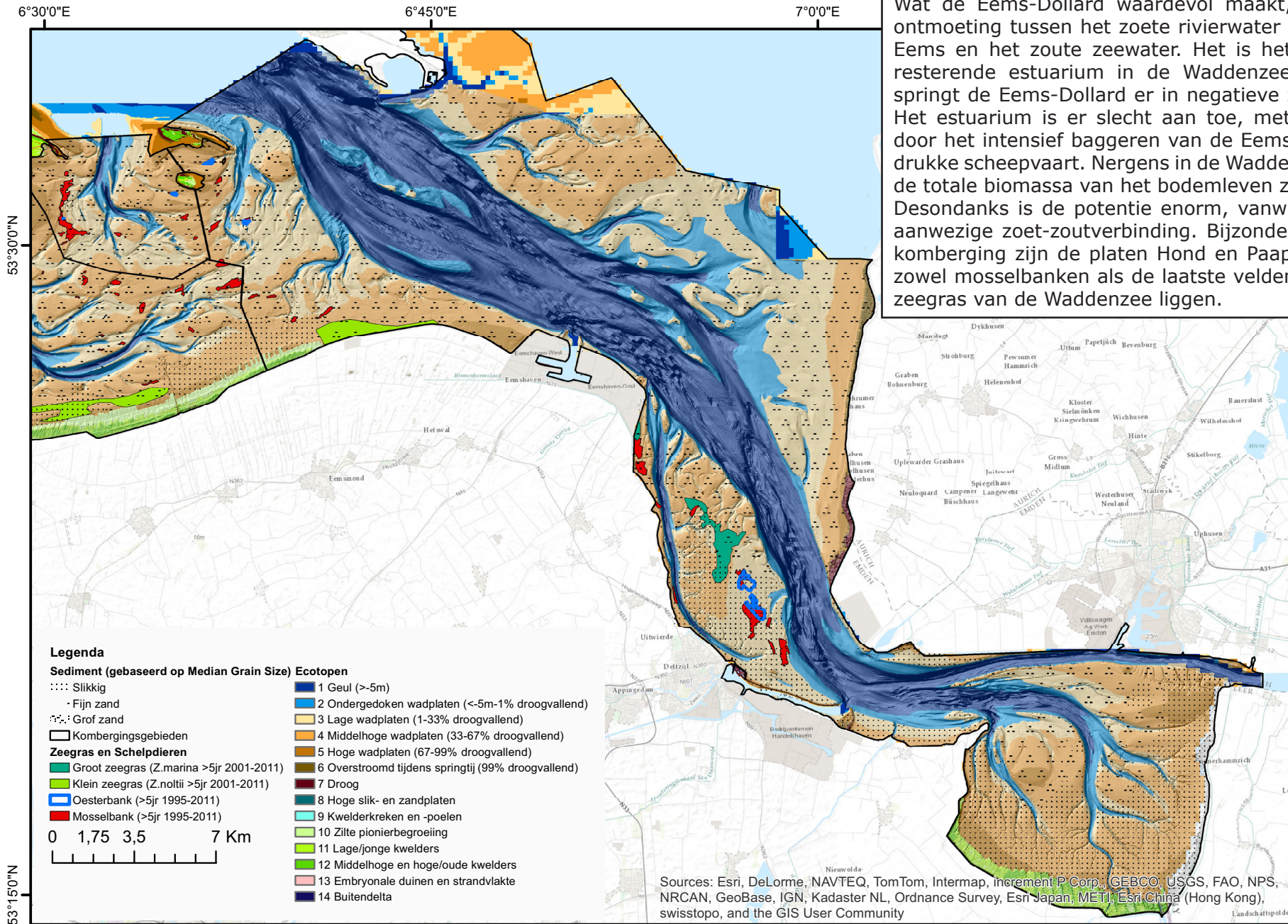
- Groot zee gras (Z.marina >5jr 2001-2011)
- Klein zee gras (Z.noltii >5jr 2001-2011)
- Oesterbank (>5jr 1995-2011)
- Mosselbank (>5jr 1995-2011)

Ecotopen

- 1 Geul (>-5m)
- 2 Ondergedoken wadplaten (<-5m-1% droogvallend)
- 3 Lage wadplaten (1-33% droogvallend)
- 4 Middelhoge wadplaten (33-67% droogvallend)
- 5 Hoge wadplaten (67-99% droogvallend)
- 6 Overstroomd tijdens springtij (99% droogvallend)
- 7 Droog
- 8 Hoge slijk- en zandplaten
- 9 Kwelderkreken en -poelen
- 10 Zilte pionierbegroeiing
- 11 Lage/jonge kwelders
- 12 Middelhoge en hoge/oude kwelders
- 13 Embryonale duinen en strandvlakte
- 14 Buitendelta

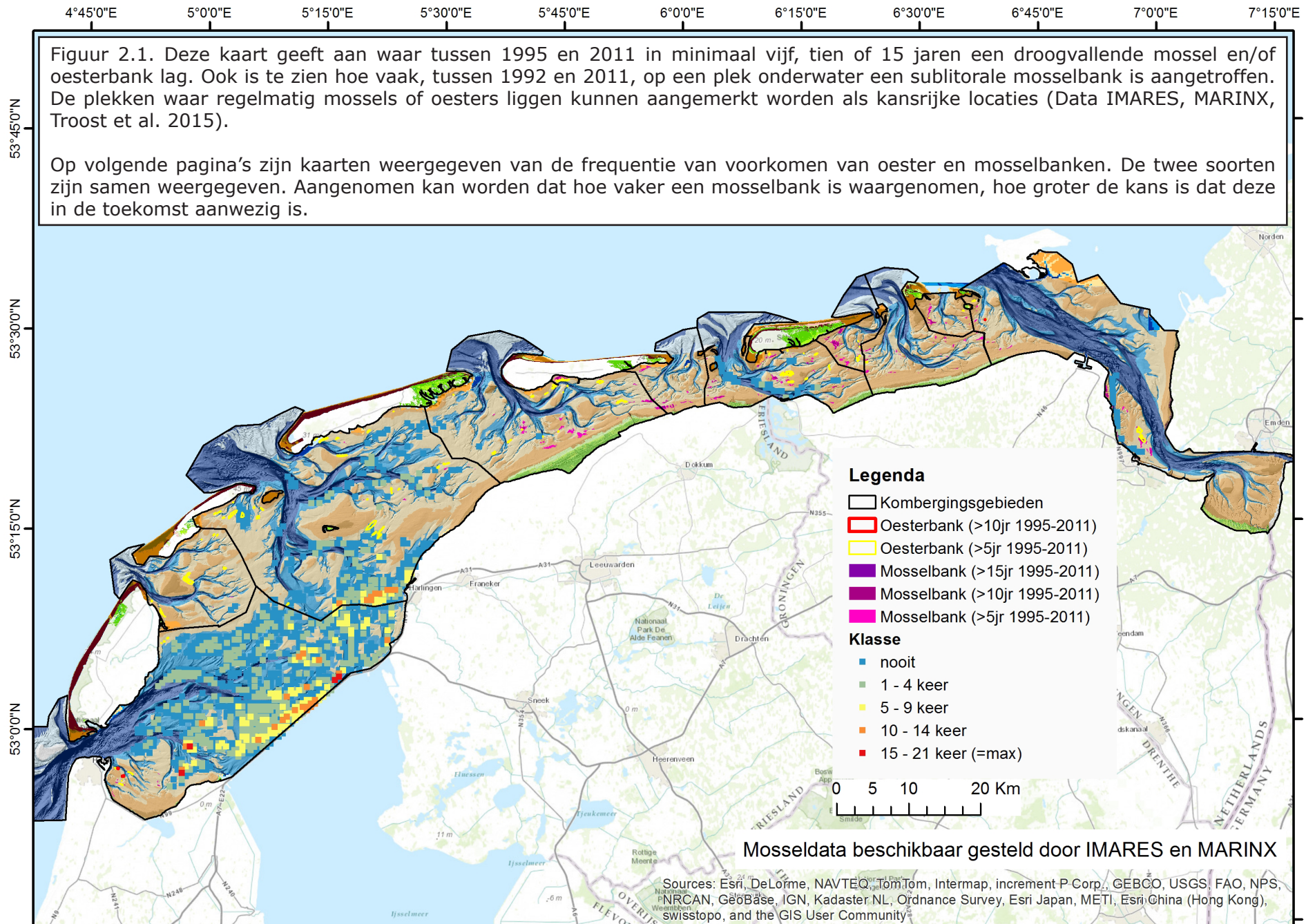
0 0,5 1 2 Km

Eems-Dollard

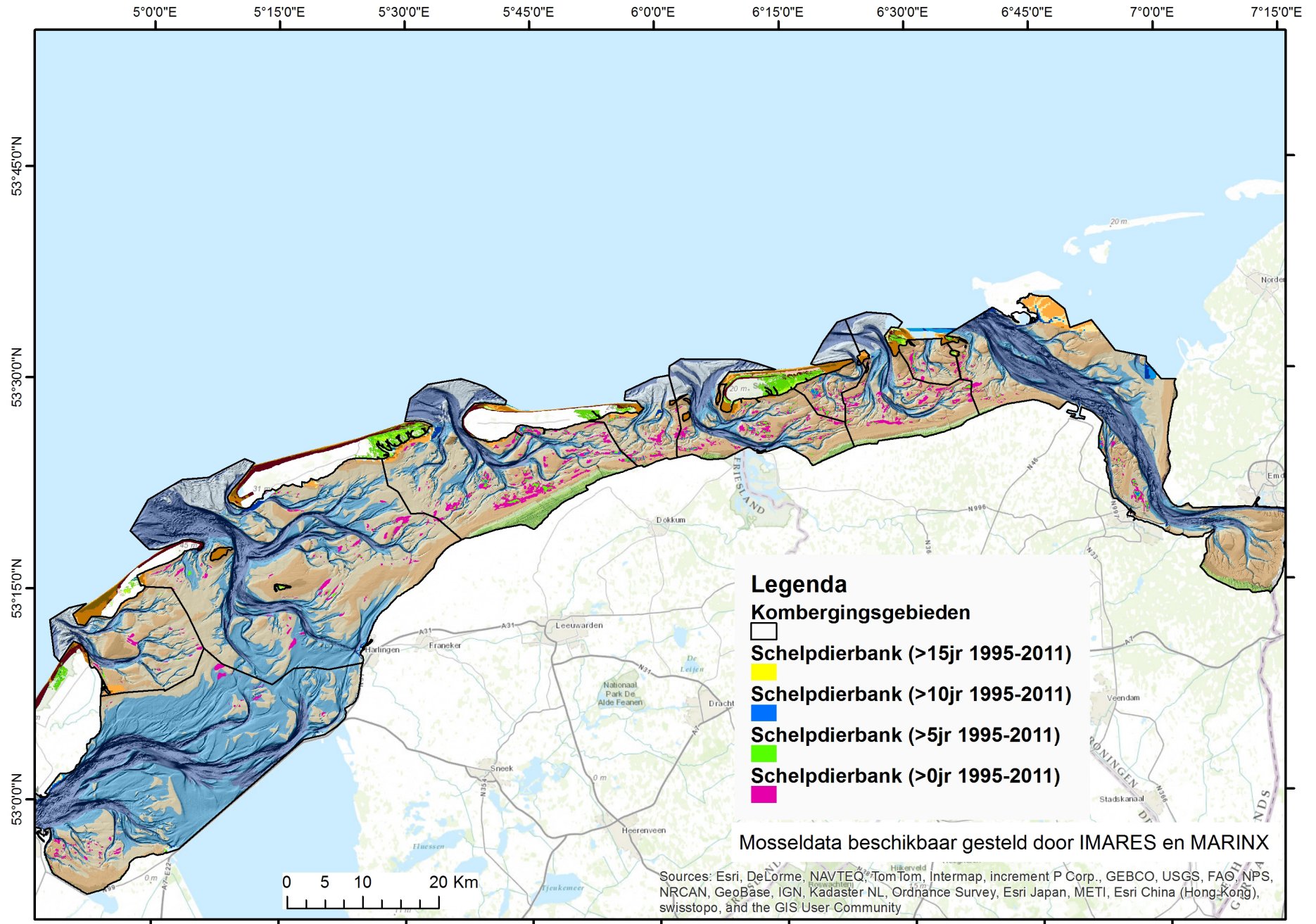


Wat de Eems-Dollard waardevol maakt, is de ontmoeting tussen het zoete rivierwater van de Eems en het zoute zeewater. Het is het enige resterende estuarium in de Waddenzee. Toch springt de Eems-Dollard er in negatieve zin uit. Het estuarium is er slecht aan toe, met name door het intensief baggeren van de Eems en de drukke scheepvaart. Nergens in de Waddenzee is de totale biomassa van het bodemleven zo laag. Desondanks is de potentie enorm, vanwege de aanwezige zoet-zoutverbinding. Bijzonder in de komberging zijn de platen Hond en Paap, waar zowel mosselbanken als de laatste velden groot zeegras van de Waddenzee liggen.

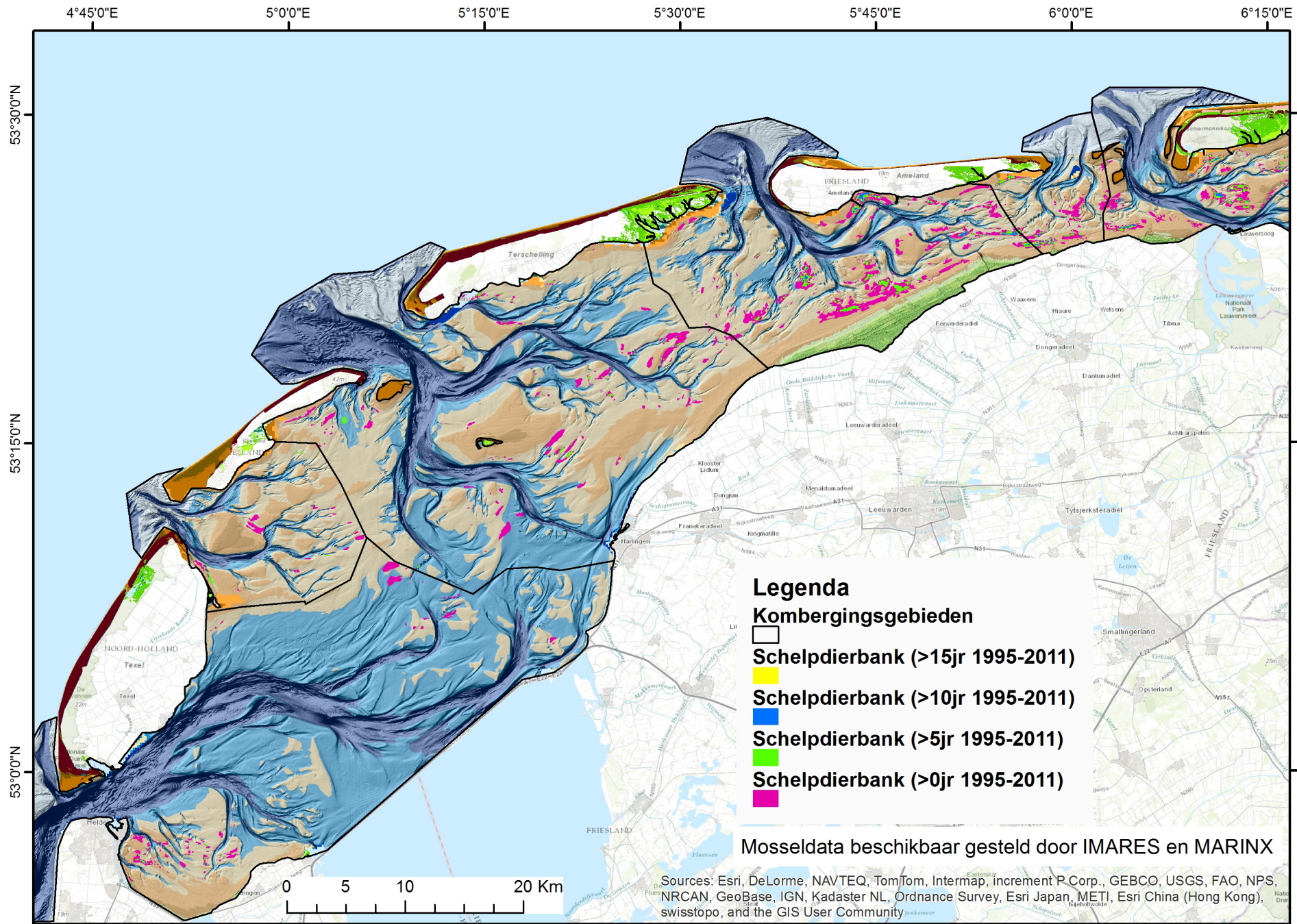
2. Kansrijke locaties voor mosselen



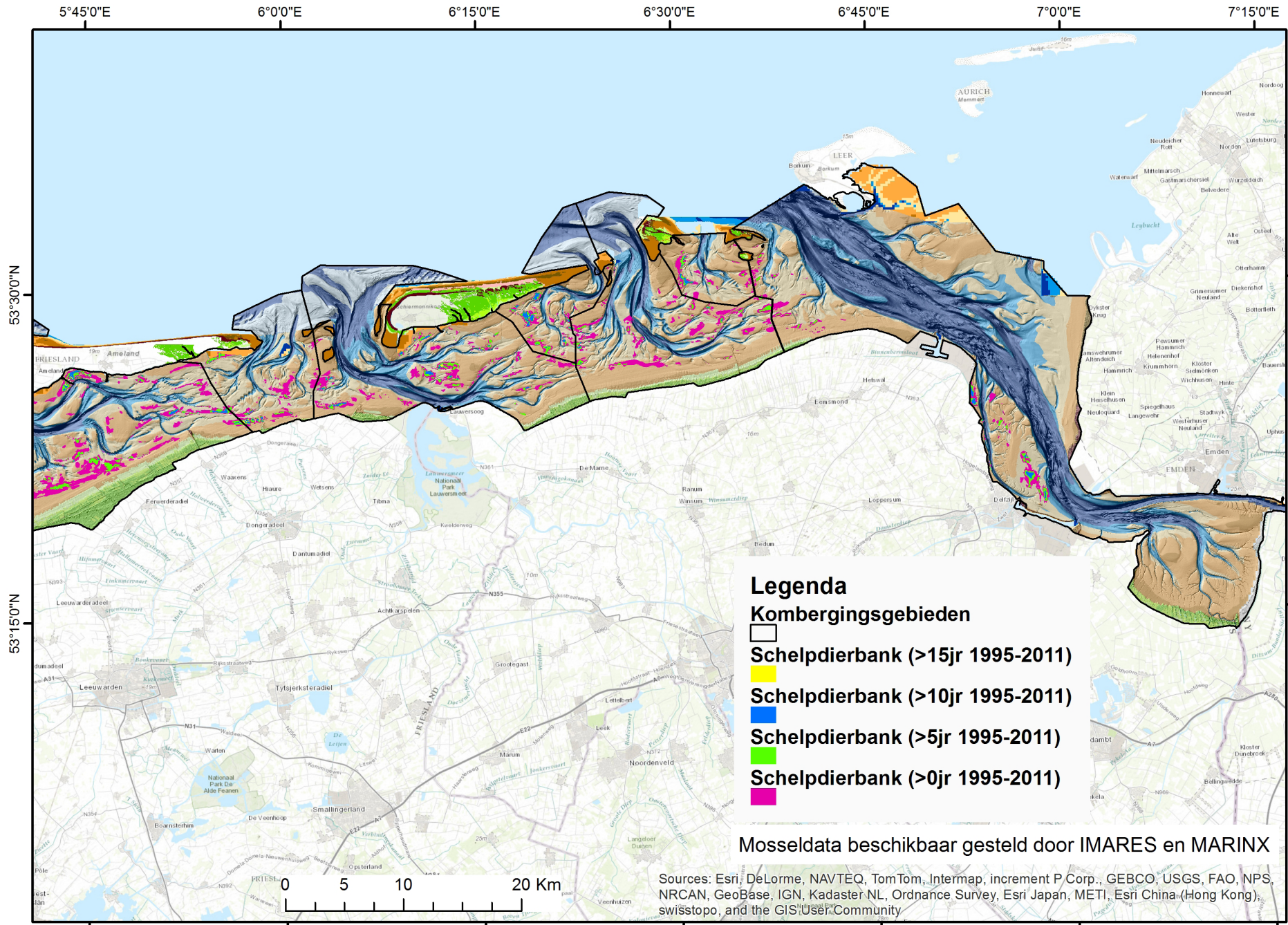
Voorkomen droogvallende schelpdierbanken Nederlandse Waddenzee



Droogvallende schelpdierbanken westelijke Waddenzee



Droogvallende schelpdierbanken oostelijke Waddenzee



Rif bouwende schelpdieren

Mytilus edulis

Mossel

Maximale lengte: 120 mm

Maximale leeftijd: 24 jaar

Kleur: Blauw-zwart, sublitoraal geel-bruin

Sedimentvoorkeur in de

Waddenzee: slib en slibbig zand

Voorkeur voor lage en middelhoge wadplaten.

Zouttolerantie: 10-35 psu

De mossel is een middelgroot schelpdier met een redelijk dikke schelp. Ze komen voor in het litoraal vanaf de hoogwaterlijn tot op een diepte van ongeveer 30m. Ze gebruiken bysusdraden om zich vast te hechten aan hard substraat zoals dijken, boeien, Japanse oesters of andere mossels. Op het wad kunnen ze grote banken vormen, meestal in combinatie met Japanse oesters. In een mosselbank in de biodiversiteit hoger en het voedselweb robuuster. Na een situatie met weinig mosselbanken begin jaren negentig zijn ze in het oosten van de Waddenzee aardig terug gekomen. Ook sublitoraal zijn grote mosselbanken te vinden. Deze mossels zijn minder goed aan de ondergrond gehecht en hebben een dunnere schelp.

Voedselvoorkeur: Zoöplankton, fytoplankton en organisch materiaal in het water.

Filter feeder.

Voedselaandeel diatomeeën: 13%
Meer mossels in het oostelijke deel van de Nederlandse Waddenzee.
Biobouwer

Wordt o.a. gegeten door:

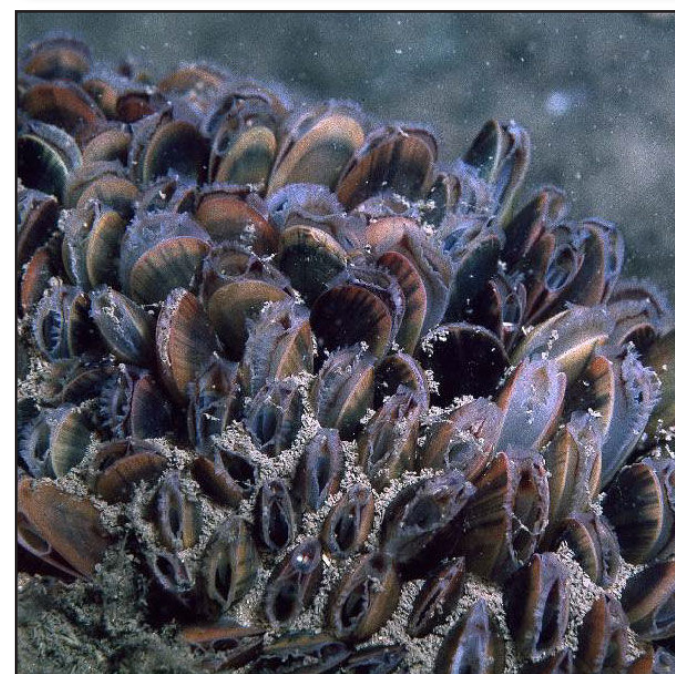
Volwassen mossels:

- Scholeksters
- Zilvermeeuwen
- Eidereenden
- Strandkrabben
- Mensen

Mossel broed:

- Kanoeten
- Strandkrabben
- Garnalen

Mosselvisseren vissen in het voor- en najaar mosselzaad op om deze op te kweken op percelen, vooral onder de eilanden. Volgroeid worden ze dan naar Zeeland gebracht om verkocht te worden.



Rif bouwende schelpdieren

Crassostrea gigas

Japanse oester

Maximale lengte: 300 mm

Maximale leeftijd: 40 jaar

Kleur: Grijs

Sedimentvoorkeur in de

Waddenzee: zand

Voorkeur voor lage en middelhoge wadplaten.

Zouttolerantie: 10-35 psu

De Japanse oester is een groot schelpdier met een dikke, grof geribbelde, ruwe schelp. Ze komen voor in het litoraal vanaf de hoogwaterlijn tot op een diepte van ongeveer 15m. De schelpen zitten met een van de twee kleppen vastgehecht aan een andere oester of ander schelpdier. Vaak te vinden in banken in combinatie met mossels. In de jaren zestig zijn ze geïmporteerd in Zeeland voor consumptie. Sinds 1983 zijn ze in de Waddenzee te vinden. Daar hebben ze deels de rif vormende rol van de mossel overgenomen. Losse oesters worden door meeuwen van grote hoogte op, bijvoorbeeld, dijken gegooid om zo bij het vlees te komen.

Voedselvoorkeur: Zoöplankton, schelpdierlarven, fytoplankton en organisch materiaal in het water.

Filter feeder.

Voedselaandeel diatomeeën: 34%

Meer Japanse oester in het westelijke deel van de Nederlandse Waddenzee.

Biobouwer.

Exoot.

Wordt o.a. gegeten door:

Volwassen Japanse oester:

- Scholekster
- Zilvermeeuwen
- Mensen

In de Waddenzee lijkt de (volwassen) Japanse oester weinig tot geen natuurlijke vijanden (meer) te hebben. Wel worden, op beperkte schaal, Japanse oesters verzameld en aan restaurants verkocht.



3. Mosselbank herstel experiment

In het voorjaar van 2011 is begonnen met een verkennend experiment om te onderzoeken of de aanleg van mosselbanken met behulp van kokosmatten een optie is. Kokosmatten zijn biologisch afbreekbare geotextielen die worden samengesteld uit kokosvezels. Normaal worden deze kokosmatten gebruikt om erosie tegen te gaan op bijvoorbeeld dijken of ski hellingen. Het doel bij dit experiment was om de matten te gebruiken om het sediment te stabiliseren en een hechtingsmogelijkheid te bieden voor de mosselen.

Het experiment begon met een stuk kokosmat van 2x3 m op het wad bij Texel. Na twee weken acclimatiseren is er op deze mat ongeveer 20 kg mosselbroed, afkomstig van een strekdam, uitgestrooid. Binnen één tij waren de meeste mossels gehecht aan de kokosmat.

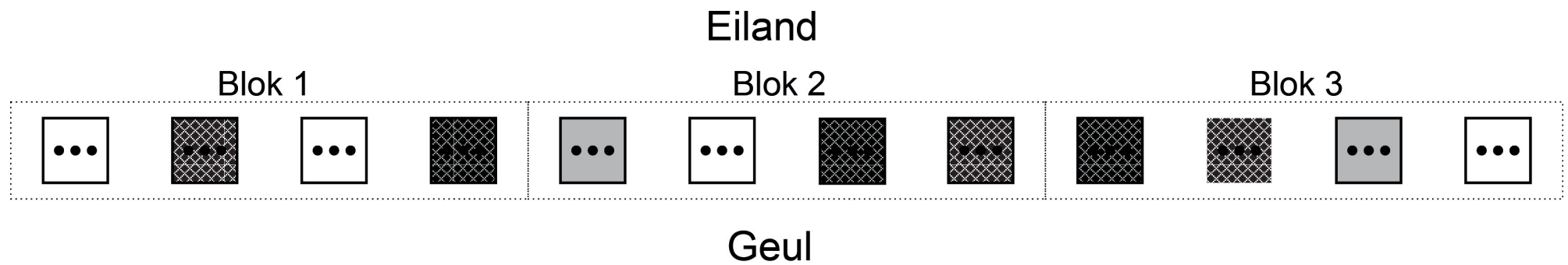
Dit positieve resultaat heeft geleid tot het opzetten van een grootschalige veldproef (Fig. 3.1). Op het wad bij de drie Waddeneilanden Terschelling, Ameland en Schiermonnikoog zijn, per eiland, 12 proefvlakken van 20x20 m neergelegd. Op zes van de proefvlakken zijn kokosmatten als basis gebruikt. De andere zes hadden zand als ondergrond. De matten zijn met de hand ingegraven, wat resulteerde in bijna 4 km aan geul. Op de eilanden Terschelling en Ameland is uiteindelijk gebruik gemaakt van een ploeg en een paard om het werk te verlichten. Onder de kokosmatten zijn 128 opgerolde jute zakken per proefvlak neergelegd om te zorgen dat de matten niet te veel zand invangen.

Voor het experiment zijn vervolgens ruim 36.000 kg halfwasmosselen (van ongeveer twee jaar oud) gebruikt, die zijn uit het sublitoraal opgevist ten noorden van de Afsluitdijk door mosselkotter BRU19 en haar bemanning. De

mossels zijn op de proefvlakken neergezet in Big Bags en daarna handmatig uitgereden en verdeeld. De geplaatste mosseldichtheid komt neer op 2000 kg mossels per proefvlak, oftewel 5 kg m⁻², wat overeenkomt met de natuurlijke dichtheid in mosselbanken.

Als aanvulling op de mosselherstelproef, zijn op elk eiland in alle proefvlakken drie kooien met een diameter van 32 cm neergezet, om predatie (met andere woorden: het opeten van) op mosselbroed te meten. De kooien bestonden uit een pvc frame bedekt met 1 mm glasvezel gaas. Er zijn twee verschillende types kooien geplaatst: Eén type kooi was volledig bedekt met 1 mm gaas (om zowel krabben als garnalen uit te sluiten), het laatste type kooi was voor 1/3^e open en voor 2/3^e bedekt met 1 mm gaas (zowel krabben als garnalen hadden hierdoor vrij toegang tot de kooi). Naast de kooien waren er ook nog plots zonder kooi gemarkeerd ter controle. Afhankelijk van het proefvlak waar de kooien zich bevinden, is het substraat in de kooien onder te verdelen kokosmat, mosselen of een combinatie van beide. In totaal zijn 108 kooien geplaatst. De verwachting was dat zich door het uitsluiten van predatie door garnalen en krabben het mosselbroed zich vrij kan ontwikkelen.

In totaal hebben ruim 50 vrijwilligers geholpen met de aanleg van de mosselbanken, tijdens de 10 weken die het kostte om de proefvlakken op te zetten en de mossels aan te brengen. In de weken volgend op de aanleg van de mosselbanken zijn de proefvlakken gevolgd met behulp van een camera die aan een vlieger was bevestigd. Zo konden luchtfoto's gemaakt worden op een hoogte van ongeveer 50-80 m. Door de foto's achter elkaar te zetten, kon de bedekking van het proefvlak met mossels worden gevolgd door de tijd.



Behandeling

Controle
 Kokosmat
 Mossels
 Kokosmat / mossels

- Anti predatie kooien

Figuur 3.1. Overzicht van de proefopzet. Op elk eiland zijn in totaal 12 proefvlakken aangelegd waarbij vier verschillende behandelingen zijn aangehouden.

3.1. Foto impressie aanleg mosselbanken en kokosmatten



Figuur 3.2. Bij het neerleggen van de kokosmatten en het opvissen en aanbrengen van de mosselen zijn vele mensen betrokken geweest. Naast de medewerkers van het project Waddensleutels hebben vele vrijwilligers meegeholpen.



Figuur 3.3. De mosselen zijn opgevisst met de mosselketter BRU19 en in BigBags op de wadplaat neergezet. Daarna zijn de mosselen met de hand over de proefvlakken verdeeld en zijn de predatiekooien opgebouwd. Uiteindelijk is er een regelmatig grid aan mosselhoopjes komen te liggen.



3.2. Resultaten restauratie mosselbanken

Aanleg mosselbanken

De verwachting was dat de aangelegde mosselbanken een aantal jaar zouden blijven liggen, gedurende deze periode gingen we de mosselbedden volgen. Echter, binnen drie (Ameland) tot zeven (Terschelling) maanden waren alle aangelegde mosselbedden verdwenen (Fig. 3.4 en 3.5A). Er is geen verschil gemeten tussen de proefvlakken met kokosmat en de proefvlakken zonder kokosmat (Fig. 3.5B). Predatie door vogels en krabben kon het verdwijnen van de aangelegde mosselbanken ook niet verklaren. Golfstress lijkt de belangrijkste verklarende factor aangezien de aangelegde bedden verdwenen vanuit de randen.

De aangelegde mosselbedden verdwenen omdat de ondergedoken mossels, die gebruikt zijn voor dit experiment, de stress van het droogvallen op de wadplaat niet aankunnen. Dit hebben wij aangetoond in een kleinschalig experiment met ondergedoken en droogvallende mossels; na twintig dagen was op een proefvlak van 50x50 cm 70% van de droogvallende mossels nog aanwezig, in tegenstelling tot de slechts 2% ondergedoken mossels die nog aanwezig was.

Aanvullende experimenten

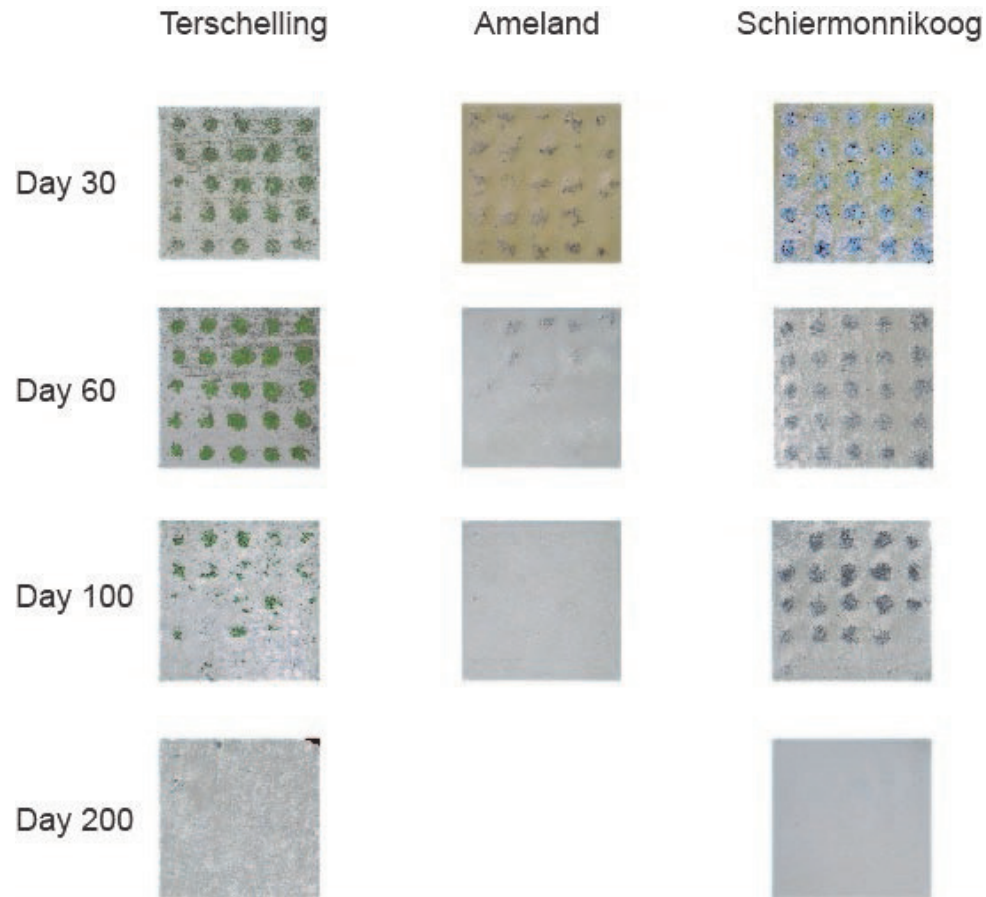
Aanvullend is ook gekeken naar de morfologie en het gedrag van de twee "typen" mossels, ondergedoken mossels hebben een schelp die drie keer zo dun is als droogvallende mossels, en droogvallende mossels hechten zich drie keer beter vast aan de ondergrond als ondergedoken mossels. Hierdoor spoelen ondergedoken mossels minder snel weg en zijn ze beter bestand tegen hydrodynamische krachten. Genetische analyse heeft uitgewezen dat beide types mossels behoren tot één en dezelfde soort, na vestiging ontwikkelen ze echter ieder een eigen optimale overlevingsstrategie, aangepast aan lokale omstandigheden.

Hieruit concluderen wij dat ondergedoken mossels ongeschikt zijn voor het herstel van droogvallende mosselbanken.

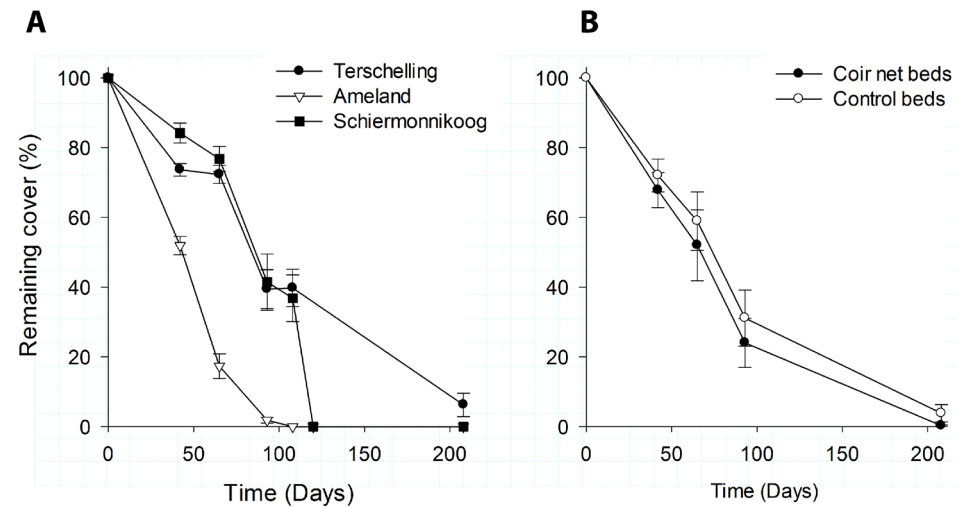
Natuurlijke banken

Vervolgens hebben we ook onderzocht waarom natuurlijke banken wel blijven liggen, in tegenstelling tot de aangelegde mosselbanken. Wilde mossels hechten zich van nature aan elkaar, wat leidt tot de vorming van mosselpatronen. Op kleine schaal vormen zich banden van 5-10 cm, en op grote schaal banden van 3-5 m. In een veldexperiment hebben wij aan kunnen tonen dat deze typische bandenstructuur, die de mosselen zelf maken, er voor zorgt dat de overleving van de mosselbank met 50% wordt verhoogd. Op groter schaal vormen er ook bulten in een mosselbank die ontstaan door het invangen van sediment en de uitscheiding van pseudofeaces door de mossels. Door deze bulten structuur heeft het water dat over deze bulten stroomt een hogere snelheid. Hierdoor passeert er meer voedsel aan de mossels die boven op een bult zitten. Wij hebben in een veldexperiment aan kunnen tonen dat er boven op een bult significant meer mossels zitten dan voor of achter een bult (Fig. 3.6).

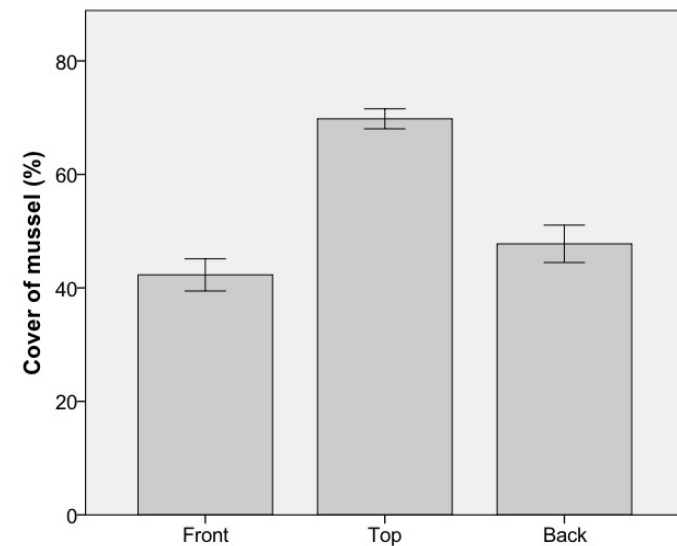
Samenvattend; ondergedoken mossels zijn ongeschikt voor het herstel van droogvallende mosselbanken en droogvallende mossels hebben de hoogste overlevingskans wanneer ze in bandenpatronen voorkomen. Echter, uitdunning van bestaande droogvallende mosselbanken voor de aanleg van nieuwe droogvallende mosselbanken verdient geen aanbeveling omdat de overleving van bestaande mosselbanken daardoor zal worden aangetast. Er kan dus beter worden geïnvesteerd om kansrijke plekken goed met rust te laten.



Figuur 3.4. Het verdwijnen van mossels in de loop van de tijd.



Figuur 3.5. Te zien is dat (A) op alle eilanden de mosselbanken snel verdwenen en het (B) geen verschil maakt of er kokosmatten zijn aangebracht of niet.



Figuur 3.6. Boven op de bulten zijn meer mosselen te vinden dan ervoor of erna.



3.3. Resultaten predatie experiment

De anti-predatie kooien hebben in totaal twee en halve maand op de proefvlakken gestaan. Aan het einde van het experiment zijn de kooien open gemaakt en is de bovenste laag van het sediment (15 cm) uitgezeefd over een 1 mm zeef en is alles wat in de zeef achterbleef geconserveerd in een 4% formaldehyde oplossing en naar het lab gebracht voor analyse.

In het lab zijn alle waddieren geteld en op naam gebracht. Bij deze proef is er alleen gekeken naar de schelpdieren. Er zijn vijf schelpdiersoorten gevonden in de kooitjes: mossels, kokkels, nonnetjes, strandgapers en Amerikaanse zwaardschedes.

De resultaten laten een duidelijk beeld zien. Veruit de meeste schelpdieren zijn te vinden in de kooien die volledig gesloten waren voor predatie door garnalen en krabben. De kooien waar wel garnalen in konden, maar geen krabben waren zo goed als leeg, wat er op wijst dat garnalen de grootste predators zijn van schelpdierbroed.

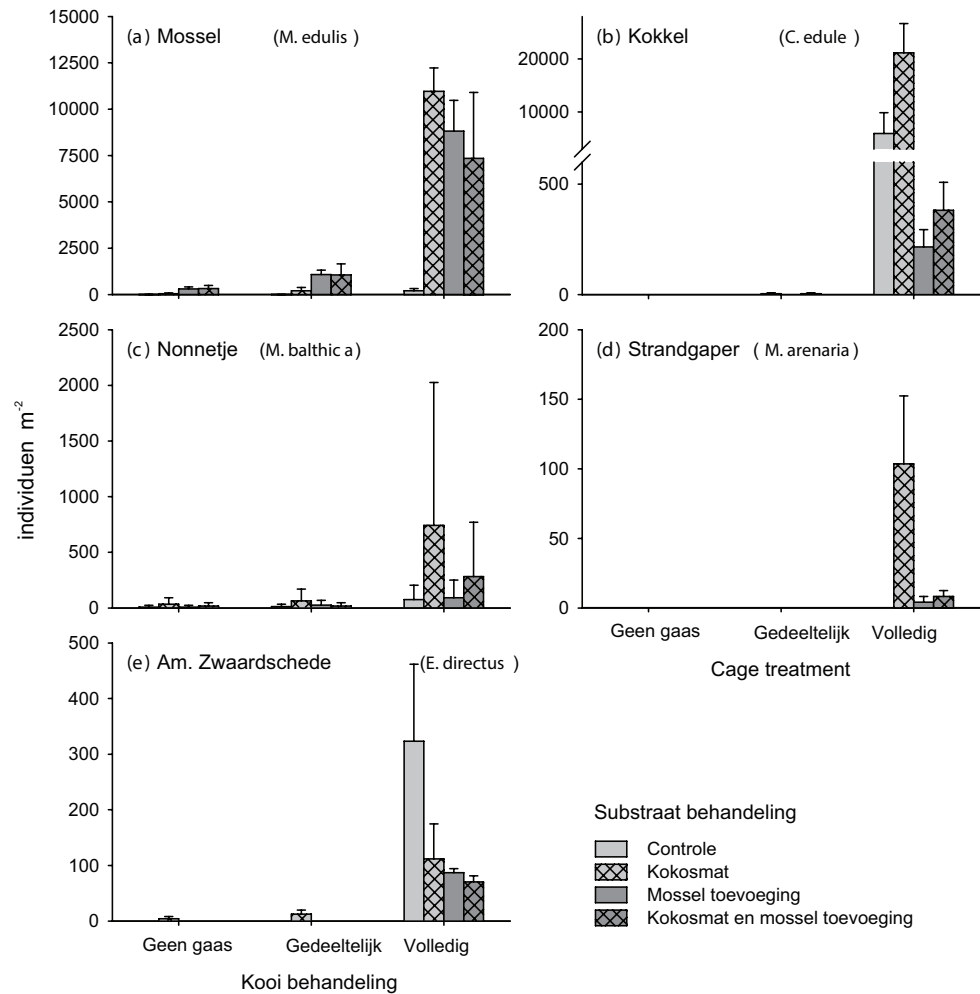
Qua substraat is de hoogste dichtheid aan schelpdierbroed was te vinden in de gesloten kooien met kokosmatsubstraat (Fig. 3.7). De hoogste dichtheid aan mossels (11.000 m⁻²) werd waargenomen voor in de gesloten kooien met alleen kokosmatsubstraat.

In de kooien met zowel kokosmatsubstraat als mosselsubstraat zijn tevens hoge mosseldichtheden waargenomen. Het waargenomen mosselbroed had zich sterk gehecht aan het kokosmat of mosselsubstraat in de kooien. Ook nonnetjes bereikten de hoogste dichtheid (750 m⁻²) in de gesloten kooien met alleen kokosmatsubstraat. Strandgapers zijn

zelfs bijna uitsluitend te vinden in de gesloten kooien met kokosmatsubstraat, en dan ook nog in lagere dichtheden dan nonnetjes (100 m⁻²). Kokkels bereikten veruit de hoogste dichtheden van alle schelpdieren, tot wel 20.000 m⁻² in de gesloten kooien met kokosmatsubstraat, maar ook in de gesloten kooien zonder substraat zijn dichtheden te vinden tot bijna 10.000 m⁻². Daar lagen ze drie of vier lagen dik in en op het sediment (Fig. 3.8). Alleen de Amerikaanse zwaardschede had een voorkeur voor gesloten kooien zonder substraat, daarin troffen we dichtheden aan van gemiddeld 300 m⁻². Deze soort heeft klaarblijkelijk de voorkeur voor een relatief instabiele ondergrond.

De dichtheden van kokkels, nonnetjes, Amerikaanse zwaardschede en strandgapers waren allemaal significant lager in de kooien met mosselsubstraat. Dit kan mogelijk worden verklaard door het filtergedrag van de mossels, waarbij mossels mogelijk larven van de genoemde soorten uit het water hebben gefilterd (en mossellarven niet).

Het lijkt er op, dat er de afgelopen jaren meer garnalen te vinden zijn in de Waddenzee. Dit heeft tot gevolg dat de predatiedruk op schelpdierbroed ook sterk is verhoogd. In hele goede jaren met veel schelpdierbroedval, zullen nog steeds veel schelpdieren zich kunnen vestigen. Echter, in minder goede jaren vindt er als gevolg van een hoge predatiedruk mogelijk vrijwel geen vestiging plaats.



Figuur 3.7. In bijna alle gesloten kooien zijn de hoogste dichtheden schelpdierbroed te vinden op de kokosmat. Alleen de Amerikaanse zwaardschede heeft een voorkeur voor los sediment.



Figuur 3.8. Duidelijke resultaten. In kooi (A) die open is voor krabben en garnalen is (bijna) geen schelpdierbroed te vinden. In de dichte kooi (B), waar geen predatoren van schelpdierbroed in kunnen, zijn enorme hoeveelheden schelpdieren te vinden. De kokkels liggen zo dik dat ze boven het sediment uitsteken. In het midden is een mini-mosselbank te zien.

4. Macrozoöbenthos op droogvallende platen (SIBES)

Het SIBES (Synoptic Intertidal Benthic Survey) monitoring/onderzoeksprogramma bouwt voort op werk dat in 1988 rond Griend is gestart. Vanaf 1994 is min of meer (Nederlandse-) Waddenzeebreed geïnventariseerd op basis van een 250 bij 250 m grid, dat de laatste jaren uit 3700 stations bestond.

Sinds 2008 is dit 250 m grid omgebouwd tot een 500 m grid met bijna 5000 stations zodat de volledige Nederlandse droogvallende Waddenzee vlakdekkend bemonsterd kon worden. Dit gebeurde in 2009 voor het eerst inclusief de Dollard en Hond en Paap (Fig. 4.3). Deze opschaling werd mogelijk gemaakt door een subsidie van ZKO draagkracht, de NAM, die de data gebruiken voor de beoordeling van de effecten van bodemdaling op hun nieuwe gasonttrekkingslocaties, en het NIOZ.



Figuur 4.1. Onderzoeksvaartuig "Navicula" ligt voor anker in de Waddenzee, de rubberboten gaan op pad om de monsters te verzamelen.

4.1. Monstering methodisch

Veld

Het basisstation voor de SIBES bemonstering is het NIOZ onderzoeksvaartuig "Navicula" (Fig. 4.1). Vanaf dit schip werden de vier rubberboten gelanceerd. Met hoog water werd er vanuit de rubberboot bemonsterd, met laagwater te voet. Met behulp van monsterkaarten en een hand-GPS in WGS84 werden de vaststaande posities teruggevonden. Er werd gewerkt met vier teams en twee personen per team.

Degene die de monsters steekt en navigeert was altijd een NIOZ medewerker, de schrijver was meestal een vrijwilliger. Elk jaar hielpen tussen de 20 en de 30 vrijwilligers mee met het SIBES onderzoek. Tijdens de bemonstering bij laagwater werd er op elk monsterpunt met behulp van een steekbuis een monster gestoken met een oppervlakte van 0.0177 m² tot een diepte van ongeveer 25 cm. Tijdens hoogwater werden twee steken met een gecombineerd oppervlakte van 0.0173 m² tot een diepte van 25 cm genomen. Het sediment werd uitgezeefd over een zeef met een maaswijdte van 1 mm.

De organismen die op de zeef achterblijven werden snel geteld om de hoofdsoorten te bepalen. Alles wat achter bleef op de zeef werd meegenomen naar het laboratorium. Schelpdieren werden aan boord van de "Navicula" ingevroren bij -20°C en de rest van het monster werd in een pot met een 4% formaldehyde oplossing geconserveerd voor verdere verwerking in het lab.

Voor isotoopbepalingen zijn verspreid over het monstergrid op ongeveer 400 locaties extra monsters genomen (Fig. 4.3). Deze zijn, na zeven over een 1 mm zeef, in zijn geheel ingevroren.

Lab

De schelpdieren werden ontdooid, gedetermineerd waarna het vlees in een aluminiumoxide kroes werd gedaan. Vervolgens werd dit minimaal 3 dagen bij 60°C gedroogd en gewogen. Ook de lege schelp werd gedroogd en gewogen. Het vlees werd vervolgens 5 uur lang bij 560°C verast om zo het asvrijdrooggewicht te verkrijgen. Dit is een maat voor de biomassa en hoeveel energie dit organisme oplevert bij consumptie.

De overige organismen (bijv. wormen, etc.) die in formaldehydeoplossing zijn geconserveerd werden voor verdere verwerking eerst minimaal 24 uur gekleurd met behulp van een Bengaal-roze oplossing. Deze kleurstof hecht zich aan eiwitten en kleurt zo de organismen roze. Dit vergemakkelijkte het uitzoeken en de determinatie.

Het monster werd gespoeld om de overtollige formaldehyde kwijt te raken, hierna werden met de hand alle organismen die levend waren op het moment van bemonstering (degene die roze zijn gekleurd) uit het monster gehaald en klaargemaakt voor determinatie.

Deze organismen werden vervolgens onder een binoculair zo gedetailleerd mogelijk op naam gebracht en per soort per monster in een kroesje gedaan. Deze werden vervolgens op dezelfde manier verder verwerkt (drogen, wegen, verassen) als de schelpdieren.

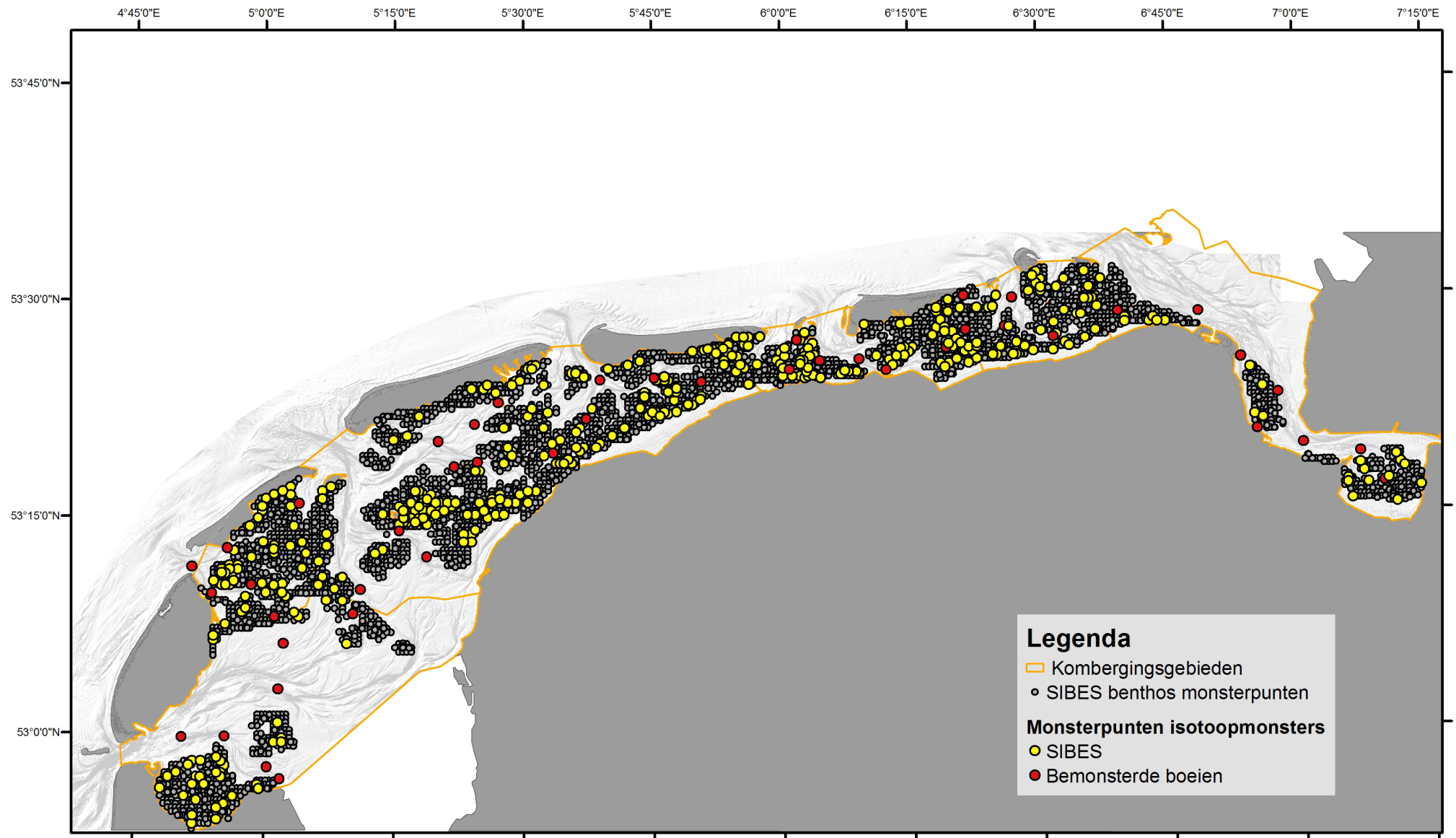
Alle verzamelde gegevens werden vervolgens verwerkt en bijgehouden in een database.

4.2. Foto impressie SIBES bemonstering



Figuur 4.2. Zowel lopend als met de boot zijn de SIBES monsters verzameld. In het veld worden de monsters gezeefd. Bij terugkomst worden alle beesten in het laboratorium op naam gebracht, geteld en wordt de biomassa bepaald.

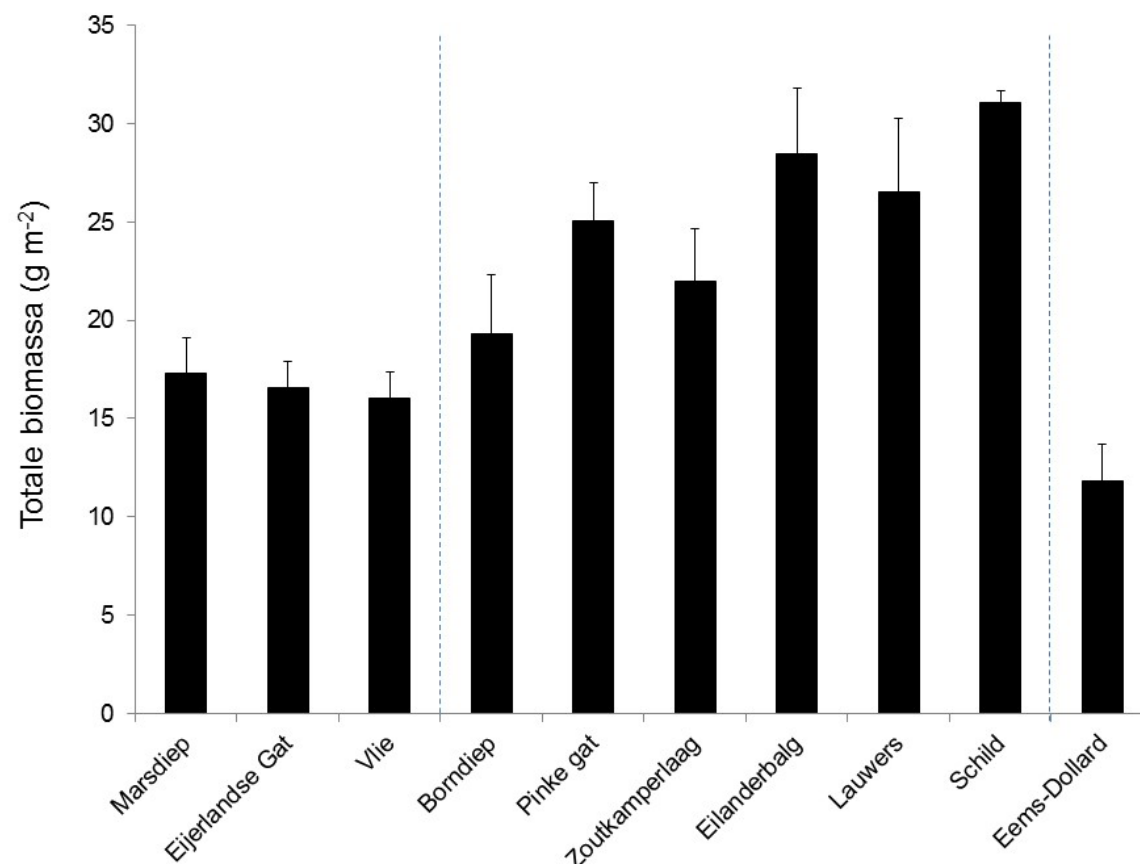
Figuur 4.3. Alle monsterpunten die door het SIBES team elk jaar bemonsterd worden op bodemleven. Daarnaast zijn de plekken aangegeven waar isotoopmonsters zijn genomen van bodemleven en mosselen van boeien (hoofdstuk 6).



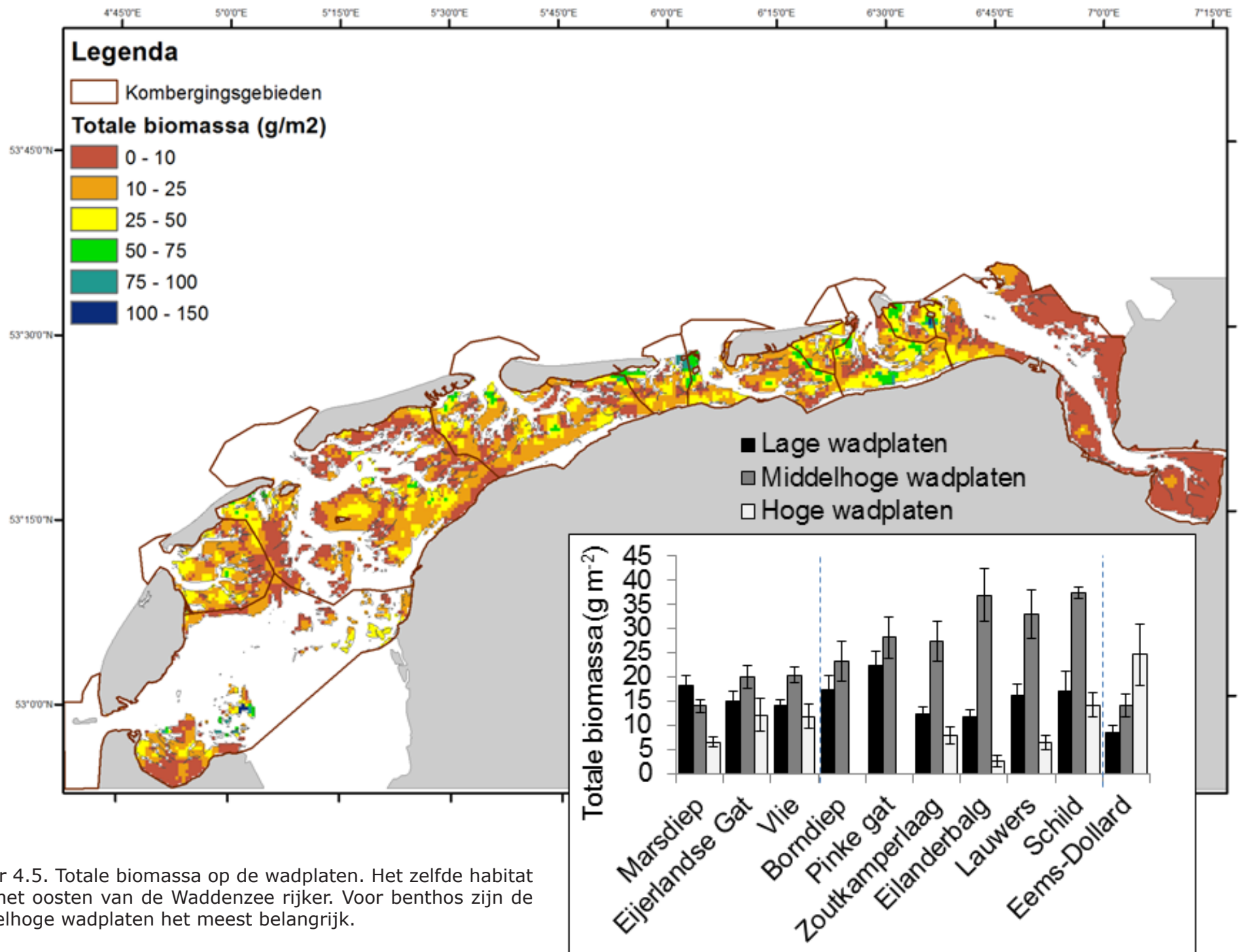


4.3. Biomassa en variatie

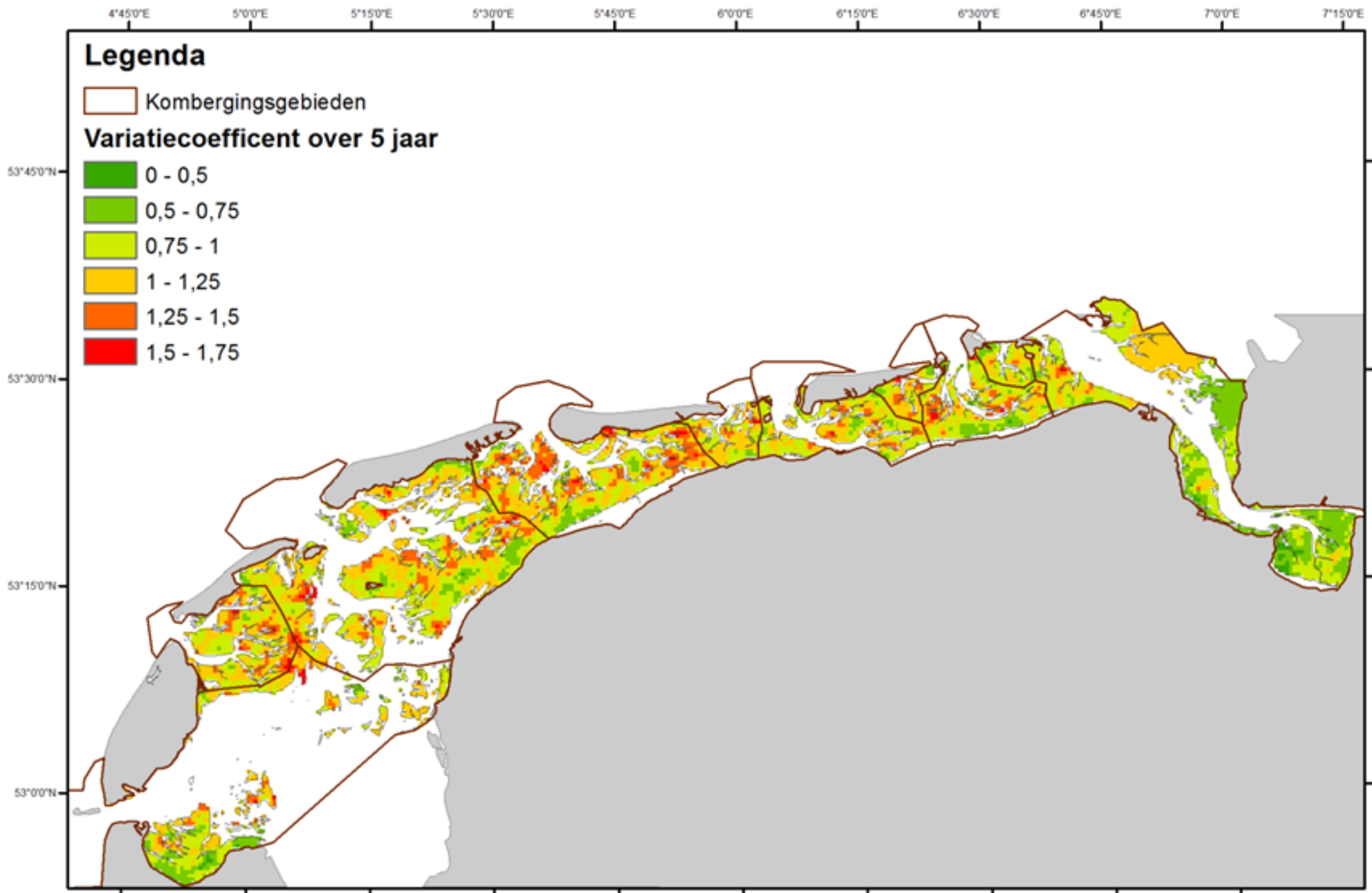
De totale biomassa (Fig. 4.4) aan benthische dieren verschilt per ecotoop (Fig. 4.5); op de middelhoge wadplaten (33-67% droogvallend) is de hoogste biomassa aan benthos aangetroffen. Benthos biomassa varieerde sterk tussen de verschillende jaren, met name op de lage wadplaten. De hoogste biomassa werd aangetroffen in het Oostelijke deel van de Waddenzee, met name in de kombergingsgebieden Eilanderbalg, Lauwers en Schild.



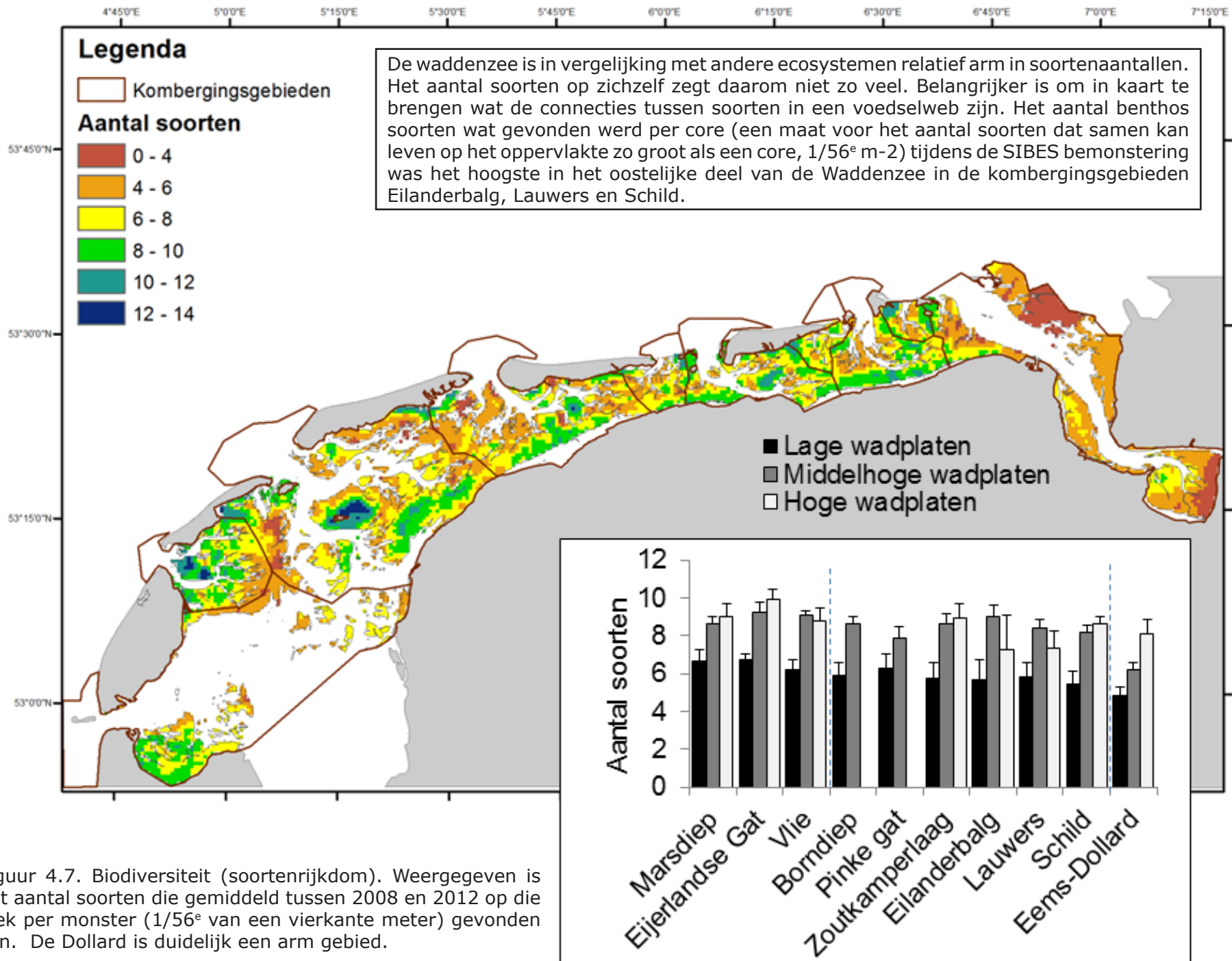
Figuur 4.4. De totale biomassa aan benthische dieren per kombergingsgebied.



Figuur 4.5. Totale biomassa op de wadplaten. Het zelfde habitat is in het oosten van de Waddenzee rijker. Voor benthos zijn de middelhoge wadplaten het meest belangrijk.



Figuur 4.6. De rode kleur geeft aan dat de benthos biomassa sterk varieert tussen jaren op een aantal plaatsen in de Waddenzee. Deze variatie is over de hele west-oost gradiënt vrijwel gelijk en lijkt hoger dichtbij de grenzen van de kombergingsgebieden, waar biotische processen een belangrijke rol spelen, dan bij de geulen, waar processen door abiotische processen worden gestuurd.



Figuur 4.7. Biodiversiteit (soortenrijkdom). Weergegeven is het aantal soorten die gemiddeld tussen 2008 en 2012 op die plek per monster (1/56^e van een vierkante meter) gevonden zijn. De Dollard is duidelijk een arm gebied.



4.4. Belangrijke soorten uitgelicht - factsheets

Een aantal belangrijke soorten, die terug te vinden zijn in de SIBES bemonstering, zijn in de volgende factsheets nader beschreven. De soorten zijn verdeeld in verschillende soortgroepen. Deze soortgroepen worden verderop in dit document gebruikt.

Elke soort wordt vergezeld door een kaart met de verspreiding en biomassa zoals die in SIBES zijn gevonden.

Ook is de biomassa per vierkante meter per soort per kombergingsgebied weergegeven.

Het gaat hierbij om de volgende soortgroepen en de bijbehorende kenmerkende organismen.

Diep-levende schelpdieren

- *Mya arenaria* – Strandgaper
- *Ensis directus* – Amerikaanse zwaardschede

Solitaire schelpdieren

- *Cerastoderma edule* – Kokkel
- *Macoma balthica* – Nonnetje

Detrivore wormen

- *Arenicola marina* – Wadpier
- *Scoloplos armiger* – Wapenworm
- *Lanice conchilega* – Schelpkokerworm

Roofwormen

- *Hediste diversicolor* – Veelkleurige zeeduizendpoot

Overige soortgroepen

- *Corrophium spp.* – Slijkgarnaal
- *Peringae ulvae* – Wadslakje







Diep-levende schelpdieren

Mya arenaria

Strandgaper

Maximale lengte: 200 mm

Maximale leeftijd: 20 jaar

Kleur: Grijs

Sedimentvoorkeur in de Waddenzee:
slib en slibbig zand

Voorkeur voor lage en middelhoge wadplaten.

Zouttolerantie: 6-35 psu

De strandgaper is een groot schelpdier met een dikke schelp waarvan de beide helften niet helemaal op elkaar aansluiten. Ze komen voor vanaf tussen de hoog- en laagwaterlijn tot op een diepte van ongeveer 20 m. De schelpen kunnen tot 40 cm diep ingegraven zitten en gebruiken hun lange sifo om water naar binnen te zuigen om daar hun voedsel en zuurstof uit te halen. Tijdens de laatste IJstijden zijn deze schelpdieren uitgestorven in het Noordoostelijke deel van de Atlantische oceaan. Rond 1245-1295 zijn ze waarschijnlijk door de Vikingen vanuit Noord-Amerika weer geïntroduceerd. Ze zijn waarschijnlijk meegekomen als voedsel of ballast. In Noord-Amerika zijn de schelpdieren een delicatessen.

Voedselvoorkeur: Zoöplankton, fytoplankton en organisch materiaal in het water.

Filter feeder.

Voedselaandeel diatomeeën: 32%
Meer strandgapers in het westelijke deel van de Nederlandse Waddenzee.

Wordt o.a. gegeten door:

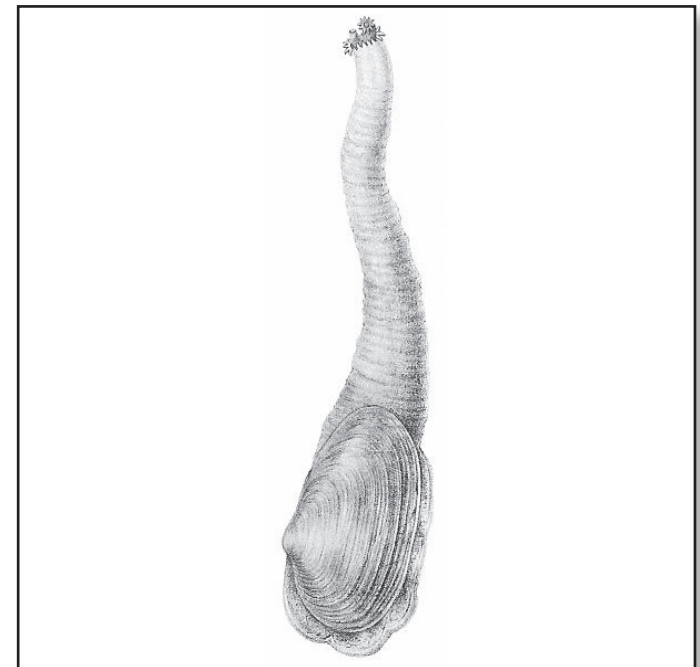
Volwassen strandgapers:

- Scholekster
- Platvissen (sifo)
- Roggen

Strandgaper broed:

- Kanoetstrandlopers
- Platvissen

In de Waddenzee lijkt de (volwassen) strandgaper weinig tot geen natuurlijke vijanden (meer) te hebben. In het noorden van Noord-Amerika is, naast de mens, de walrus de grootste consument. Deze eten ~60 kg strandgapers per dag. Ze spoelen de schelpdieren dan uit de bodem.




4°40'0"E

5°20'0"E







6°0'0"E

6°40'0"E

Legenda

 Kombergingsgebieten

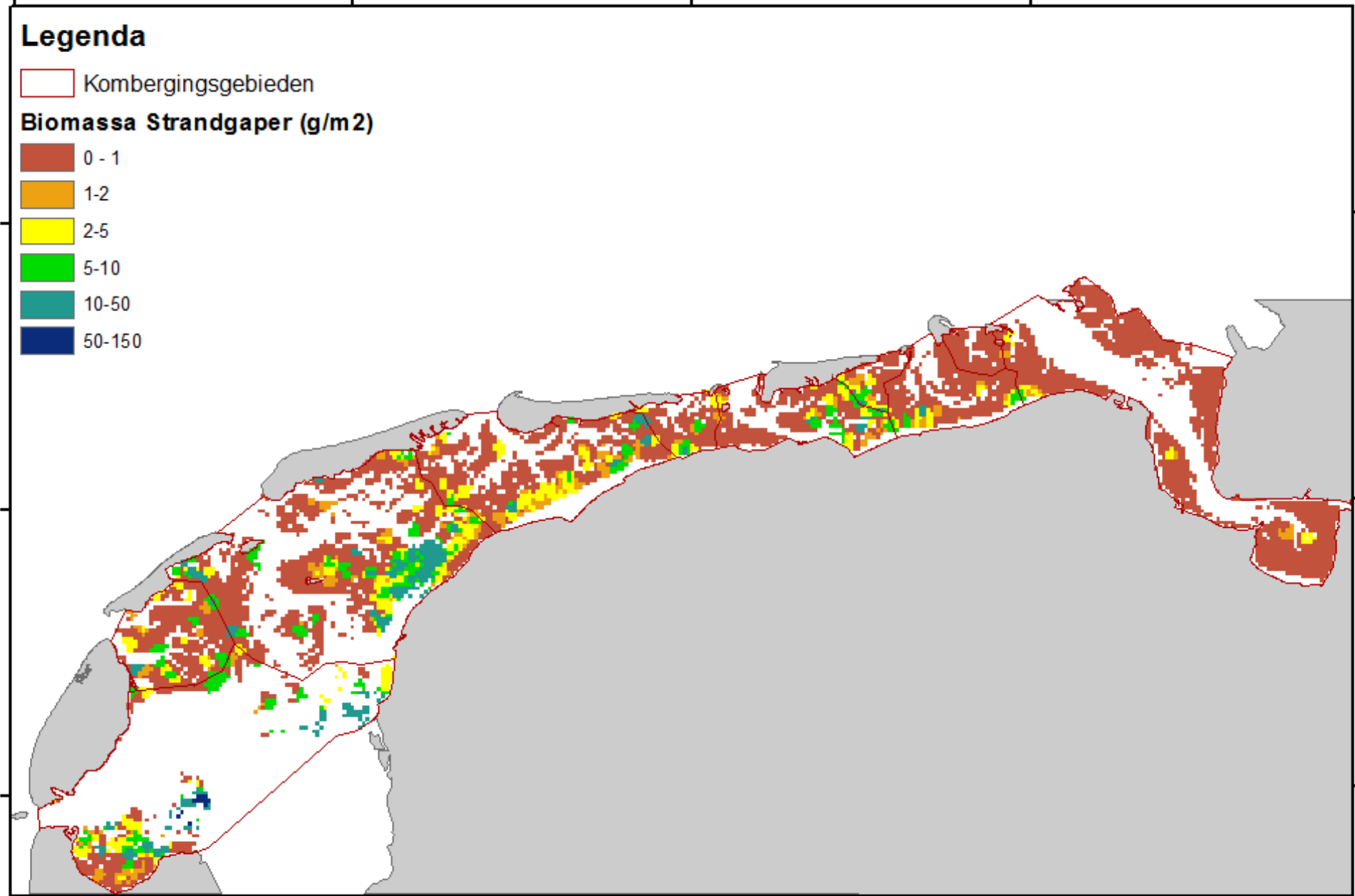
Biomassa Strandgaper (g/m²)

-  0 - 1
-  1-2
-  2-5
-  5-10
-  10-50
-  50-150

53°40'0"N

53°20'0"N

53°0'0"N



Diep-levende schelpdieren

Ensis directus

Amerikaanse zwaardschede

Maximale lengte: 200 mm

Maximale leeftijd: 15 jaar

Kleur: Grijs-bruin

Sedimentvoorkeur in de

Waddenzee: slibbig zand en zand

Voorkeur voor lage en middelhoge wadplaten.

Zouttolerantie: 15-35 psu

De Amerikaanse zwaardschede is een groot, langwerpige schelpdier met een relatief dunne schelp. Ze komen voor vanaf tussen de hoog- en laagwaterlijn tot op een diepte van ongeveer 100 m diepte. De schelpen zitten wanneer ze foerageren vlak onder het oppervlak van het sediment. Als ze zich bedreigt voelen kunnen ze zich met behulp van hun gespierde voet en een waterstraal zeer snel tot 40 cm diep ingraven. In de Waddenzee komen ze vooral voor in het meer sublitorale deel maar bij een goede broedval kunnen ook op het droogvallende deel grote dichtheden kleine Amerikaanse zwaardschedes voorkomen. Verder veel in de Noordzee kustzone. Na een zware storm kunnen ze massaal (levend) aanspoelen op het strand.

Voedselvoorkeur: Zoöplankton, fytoplankton en organisch materiaal in het water.

Filter feeder.

Voedselaandeel diatomeeën: 14%
Meer Amerikaanse zwaardschedes in het westelijke deel van de Nederlandse Waddenzee.

Invasieve soort.

Wordt o.a. gegeten door:

Volwassen Amerikaanse zwaardschede:

- Scholekster
- Roggen
- Mensen

Amerikaanse zwaardschede broed (tot 1,5cm):

- Kanoetstrandlopers
- Platvissen

In de Waddenzee lijkt de (volwassen) Amerikaanse zwaardschede weinig tot geen natuurlijke vijanden (meer) te hebben. Wel is de soort commercieel interessant. Vooral op de Noordzee.




4°40'0"E

5°20'0"E

6°0'0"E

6°40'0"E

Legenda

 Kombergingsgebieden

Biomassa Amerikaanse zwaardschede (g/m²)

 0 - 1

 1 - 2

 2 - 5

 5 - 10

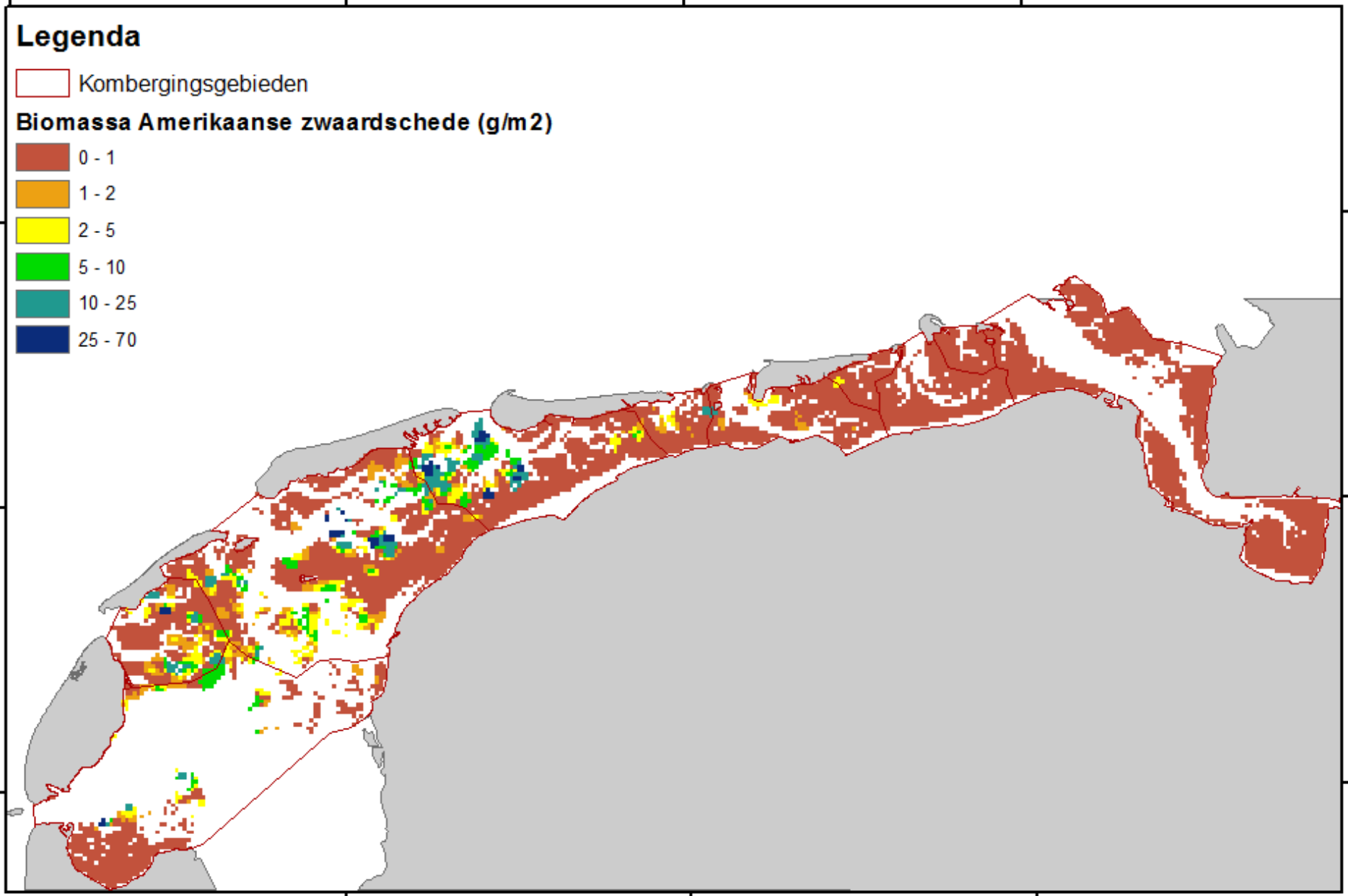
 10 - 25

 25 - 70

53°40'0"N

53°20'0"N

53°0'0"N



Solitaire schelpdieren

Cerastoderma edule

Kokkel

Maximale lengte: 50 mm

Maximale leeftijd: 9 jaar

Kleur: Wit tot lichtbruin

Sedimentvoorkeur in de Waddenzee:
Slibbig zand en zand.

Voorkeur voor middelhoge wadplaten.

Zouttolerantie: 10-35 psu

De kokkel is een vrij stevig, enigszins rond schelpdier. Kokkels komen voor vanaf iets boven de laagwaterlijn tot op een diepte van ongeveer 10 m. Kokkels zitten vlak onder het oppervlak ingegraven in het sediment. Ze laten hun beide sifo's uit het zand steken om water op te zuigen en de voedseldeeltje hieruit te filtreren.

Kokkels kunnen plaatselijk in banken van duizenden per vierkante meter voorkomen. Dan hebben ze een faciliterend effect op diatomeeën. In 2011 is de laatste grote broedval geweest. Tot 2005 werd er intensief mechanisch op kokkels gevist in de Waddenzee. Sinds 2005 is alleen handkokkelvisserij nog toegestaan.

Voedselvoorkeur: Fytoplankton uit de waterkolom.

Suspension feeder.

Voedselaandeel diatomeeën: <5%
Meeste kokkels zitten in het oostelijke deel van de Nederlandse Waddenzee.

Biobouwer.

Wordt o.a. gegeten door:

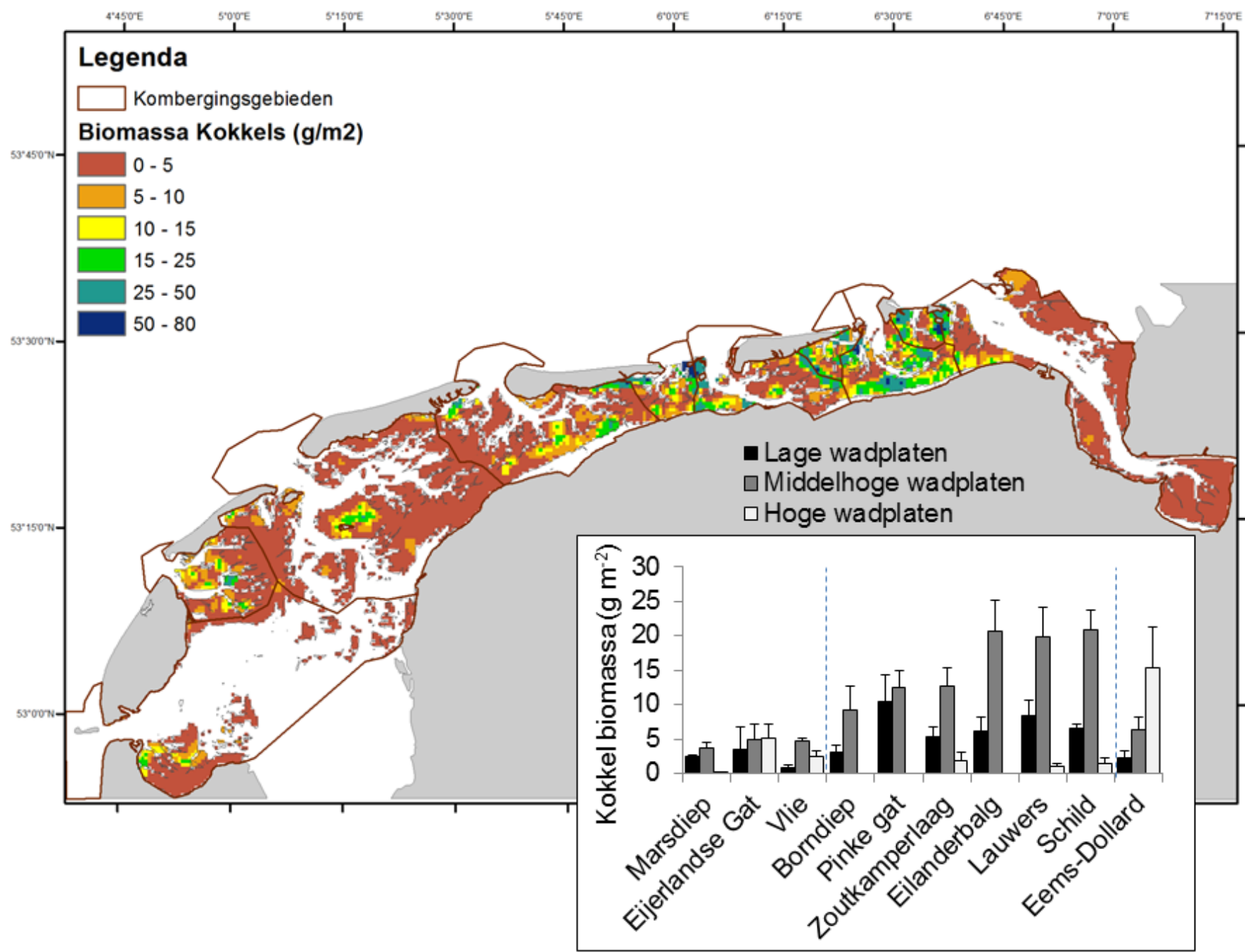
Volwassen kokkels:

- Scholeksters
- Eidereenden
- Meeuwen
- Zeesterren
- Strandkrabben
- Mensen

Kokkel broed:

- Kanoetstrandlopers
- Platvissen (vooral op sifo's)
- Garnalen





Solitaire schelpdieren

Macoma balthica

Nonnetje

Maximale lengte: 40 mm

Maximale leeftijd: 16 jaar

Kleur: Wit, geel, roze

Sedimentvoorkeur in de Waddenzee:

Slib en slibbig zand (mediane korrelgrootte <200 µm)

Voorkeur voor middelhoge wadplaten.

Zouttolerantie: 10-35 psu

Het nonnetje is een vrij stevige maar dunschalige schelp die aan de bovenkant iets is toegespitst. Ze komen voor van hoogwaterlijn tot op een diepte van ongeveer 25 m. Nonnetjes zitten ingegraven in het zand tot een diepte van enkele centimeters. De schelpdieren kunnen op twee manieren foerageren, of door water te filtreren, of door met hun sifo diatomeeën af te grazen van de wadbodem. Nonnetje zijn het stapelvoedsel voor kanoetstrandlopers en (jonge) platvissen eten graag de sifo's. 2013 en 2014 zijn goede broedvaljaren geweest.

Voedselvoorkeur: Diatomeeën van de wadbodem of fytoplankton uit de waterkolom.

Deposit en suspension feeder.

Voedselaandeel diatomeeën: 89%
Meeste nonnetjes zitten in het oostelijke deel van de Nederlandse Waddenzee.

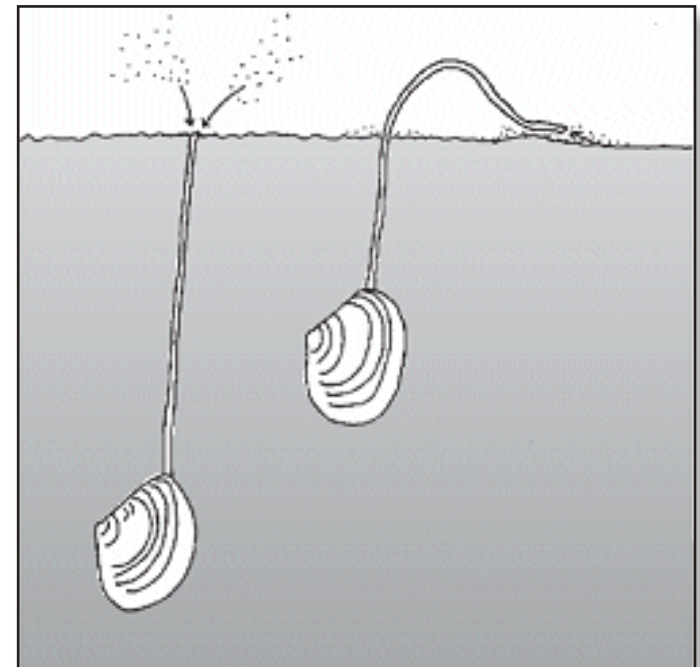
Wordt o.a. gegeten door:

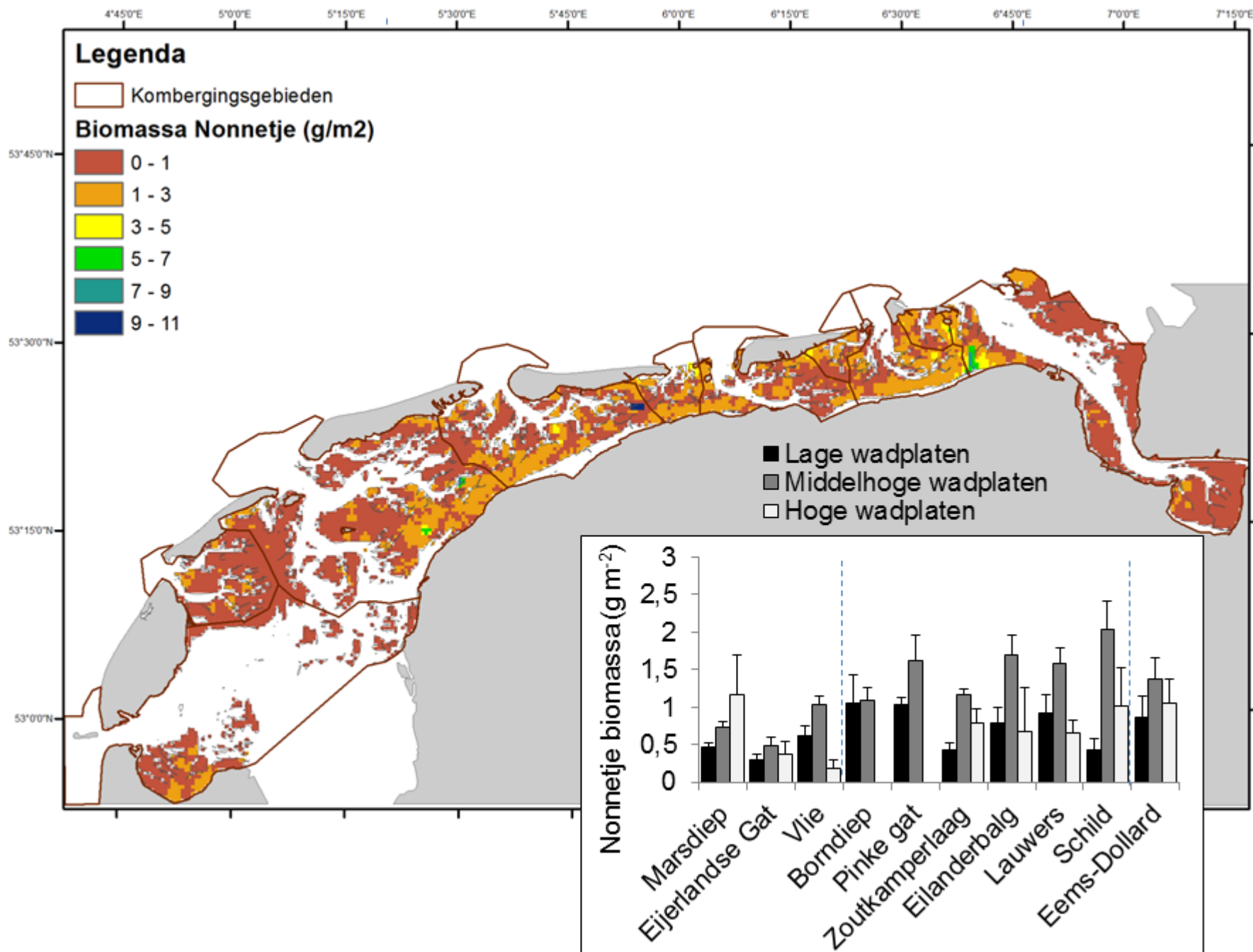
Volwassen nonnetjes:

- Kanoetstrandlopers
- Strandkrabben
- Rosse Grutto's
- Platvissen (vooral op sifo's)

Nonnetje broed:

- Kanoetstrandlopers
- Platvissen (vooral op sifo's)
- Garnalen





Detrivore wormen

Arenicola marina

Wadpier

Maximale lengte: 200 mm

Maximale leeftijd: 6 jaar

Kleur: Bruin of grijs

Sedimentvoorkeur in de Waddenzee: slibbig zand en zand

Voorkeur voor lage en middelhoge wadplaten.

Zouttolerantie: 12-35 psu

De wadpier is een dikke worm die naar achteren dunner wordt. Ze komen voor vanaf de hoogwaterlijn tot op een diepte van ongeveer 20 m. Ze maken een U-vormige tunnel tot wel 40 cm diep. De wormen eten het zand en verteren de diatomeeën, bacteriën en organisch materiaal daaruit. Ook kunnen ze water door de buis pompen om zo voedsel uit het water te filteren. Aan de achterkant van de buis zijn de kenmerkende pierenhoopjes te zien. Per jaar spit elke wadpier ongeveer 3,5 liter sediment om.

Samen met de wadpier is vaak het buldozerkreeftje (*Urothoe poseidonis*) te vinden, dat samenleeft met de wadpier en profiteert van het rondgepompte zuurstof en voedselrijke water.

Voedselvoorkeur: Diatomeeën, bacteriën en organisch materiaal uit de wadbodem.

Deposit en filter feeder.

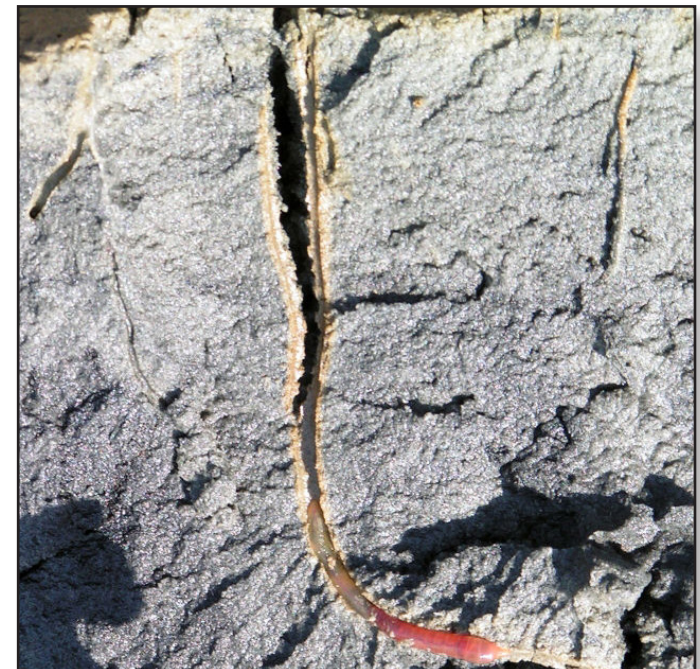
Voedselaandeel diatomeeën: 79%
Niet meer wadpieren in het oostelijke dan in het westelijke deel van de Nederlandse Waddenzee.

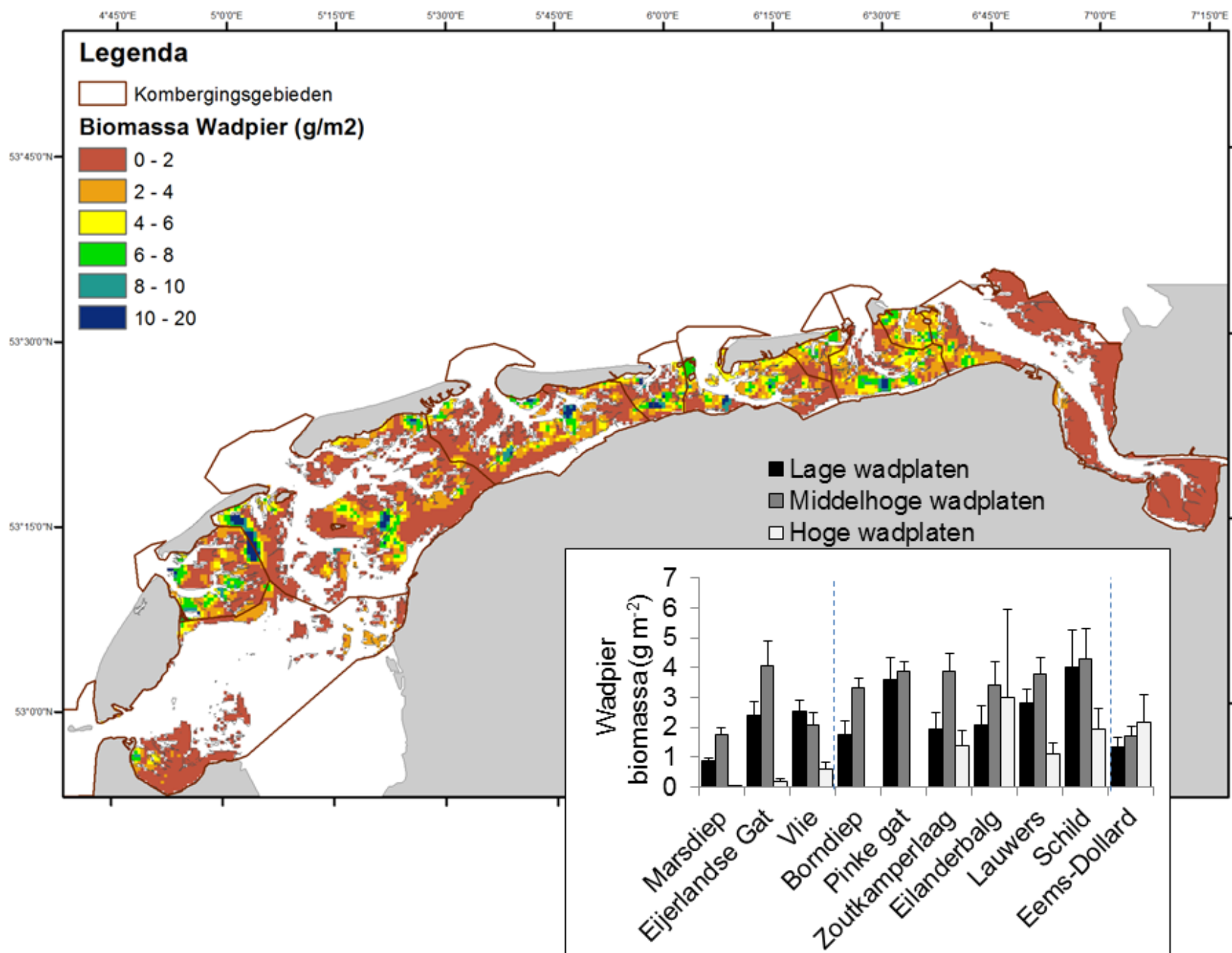
Biobouwer (in hoge dichtheden bioturbator)

Wordt o.a. gegeten door:

- Rosse Grutto's
- Platvissen
- Grondels
- Strandkrabben

Wadpieren worden door mensen niet gegeten maar zijn commercieel gezien wel interessant. Het is een veel gebruikt aas in de sportvisserij. Er wordt op een aantal plekken in de (westelijke) Waddenzee commercieel op wadpieren gevestigd.





Detrivore wormen

Lanice conchilega

Schelpkokerworm

Maximale lengte: 300 mm

Maximale leeftijd: 5 jaar

Kleur: Worm is geel-oranje, kokers zandkleurig

Sedimentvoorkeur in de Waddenzee: slib, slibbig zand en zand

Voorkeur voor lage en middelhoge wadplaten.

Zouttolerantie: 18-40 psu

De schelpkokerworm zit in een koker die tot 30cm lang kan zijn, het uiteinde van de koker is gerafeld. De worm steekt met hoog water een eindje uit de koker en gebruikt zijn tentakels om actief voedsel te verzamelen. Met laag water zijn de kokers nog goed zichtbaar. Ze komen voor vanaf de hoogwaterlijn tot ongeveer 1000 m diepte. De schelpkokerworm heeft geen voorkeur voor een sedimenttype. Ze kunnen in hoge dichtheden voorkomen en kunnen dan riffen vormen. De riffen hebben een positief effect op de biodiversiteit. Door het invangen en vastleggen van sediment hebben de riffen een stabiliserend effect. Platvissen profiteren van de bescherming en voedselmogelijkheden van de riffen.

Voedselvoorkeur: Diatomeeën, bacteriën en organisch materiaal uit de wadbodem.

Filter en deposit feeder.

Voedselaandeel diatomeeën: 6%

Meer schelpkokerwormen in het westelijke deel van de Nederlandse Waddenzee.

Biobouwer.

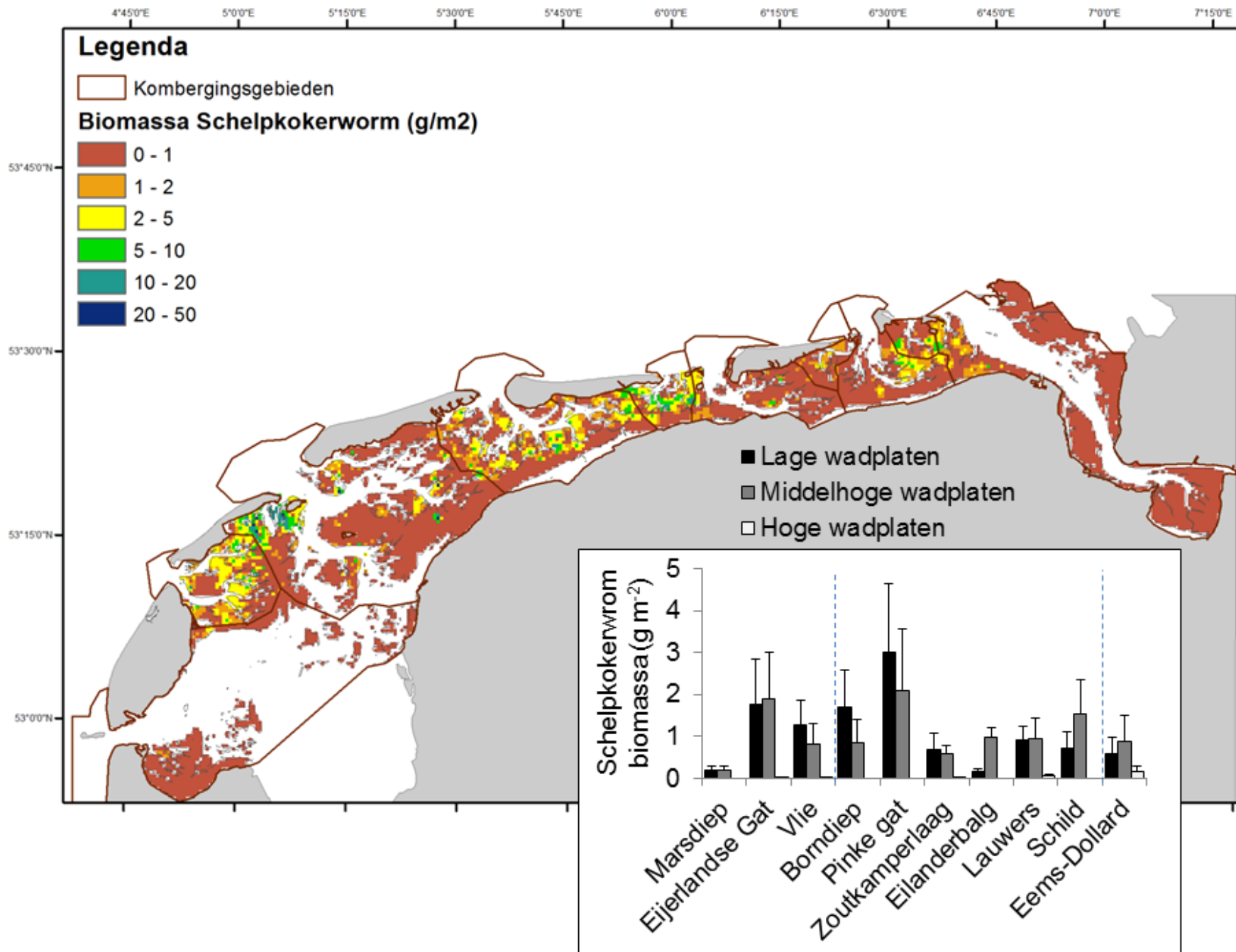
Wordt o.a. gegeten door:

- Rosse Grutto's
- Bonte strandlopers
- Drieteenstrandlopers
- Kluten
- Platvissen
- Grondels

Schelpkokerwormen kunnen slecht tegen koude winters, dan kan massale sterfte voorkomen. Dit was in 2009-2010 het geval.

Ze kunnen door een goede broedval weer in hoge dichtheden terugkomen.





Detrivore wormen

Scoloplos armiger

Wapenworm

Maximale lengte: 120 mm

Maximale leeftijd: 5 jaar

Kleur: Rood oranje

Sedimentvoorkeur in de Waddenzee:
slibbig zand en zand

Voorkeur voor lage en middelhoge wadplaten.

Zouttolerantie: 10-35 psu

De wapenworm is een vrij lange oranje worm die een zeer spitse kop heeft. Ze komen voor vanaf de hoogwaterlijn tot op ongeveer 2000 m diepte. Ze graven een horizontale gang en eten sediment, waaruit ze organische deeltjes, bacteriën en diatomeën gebruiken als voedselbron. Ze zijn ook te vinden in relatief voedselarme gebieden. De wapenworm heeft een voorkeur voor zandig wad. De wormen zijn echte omnivoren. In het voorjaar (april-juni) kunnen de vrouwtjes één of meerdere eierzakjes maken waar tot 2000 eieren per zakje in kunnen zitten. Deze zijn dan terug te vinden als oranje slijmzakjes op het wad. Nadat de eitjes uitgekomen zijn kruipen de jonge wormen via het zakje direct in de bodem.

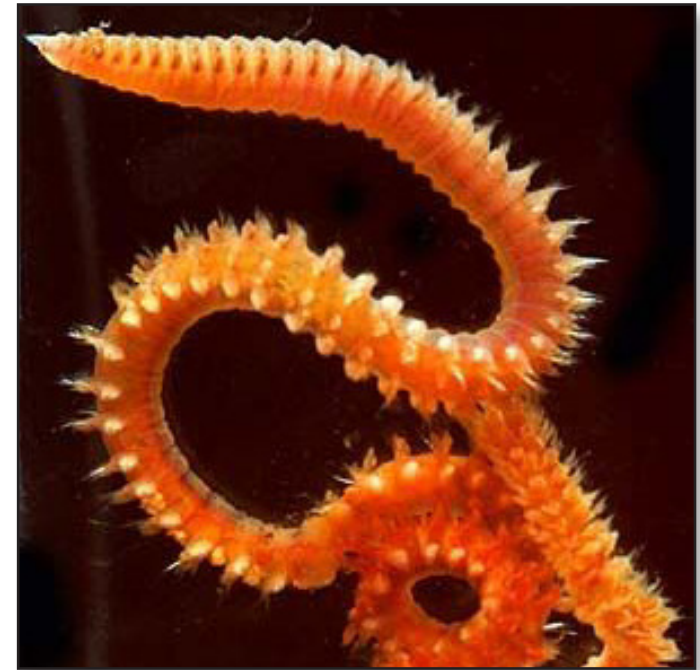
Voedselvoorkeur: Diatomeeën, bacteriën en organisch materiaal uit de wadbodem.

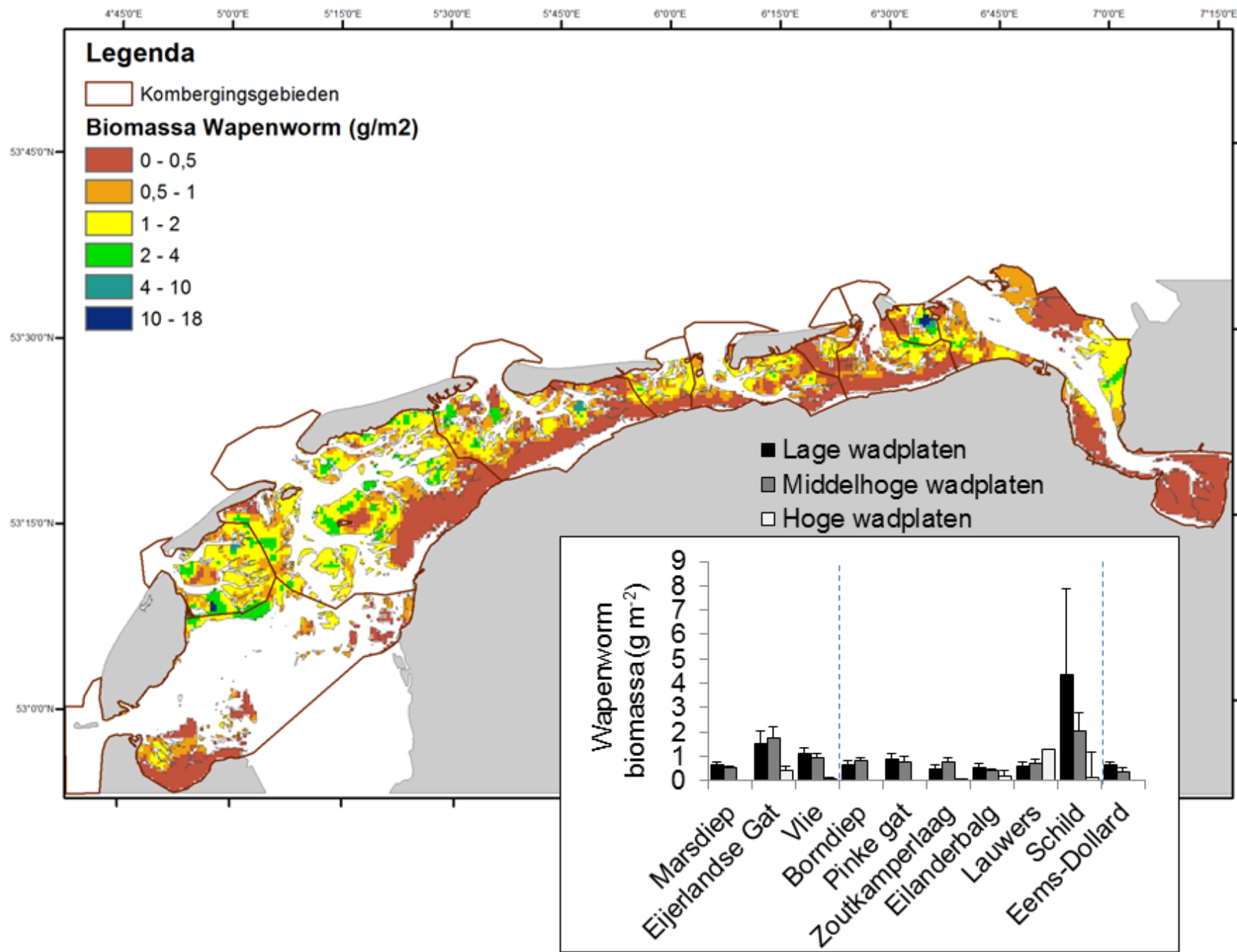
Deposit feeder.

Voedselaandeel diatomeeën: 81%
Meer wapenwormen in het westelijke deel van de Nederlandse Waddenzee.

Wordt o.a. gegeten door:

- Rosse Grutto's
- Bonte strandlopers
- Drieteenstrandlopers
- Kluten
- Platvissen
- Grondels





Roofwormen

Hediste diversicolor

Veelkleurige zeeduizendpoot

Maximale lengte: 120 mm

Maximale leeftijd: 2-3 jaar

Kleur: Rood, groen, geel, bruin.

Sedimentvoorkeur in de Waddenzee: slib en slibbig zand

Voorkeur voor hoge en middelhoge wadplaten.

Zouttolerantie: 6-35 psu

De veelkleurige zeeduizendpoot is een lange worm met vele parapoden (uitsteeksels die lijken op pootjes) en grote kaken. Ze komen voor vanaf de hoogwaterlijn tot op een diepte van ongeveer 30 m. Ze maken een U- of J-vormige tunnel tot maximaal 20 cm diepte. De zeeduizendpoot heeft een voorkeur voor slibbig wad. De wormen zijn echte omnivoren. Ze jagen actief of andere organismen, zoals wormen, maar eten ook diatomeeën, bacteriën en dood organisch materiaal.

In het voorjaar komen de wormen massaal naar het oppervlak om in de waterkolom te paren. Dit is een spectaculair gezicht.

Voedselvoorkeur: Andere wormen, organisch materiaal, detritus, diatomeeën.

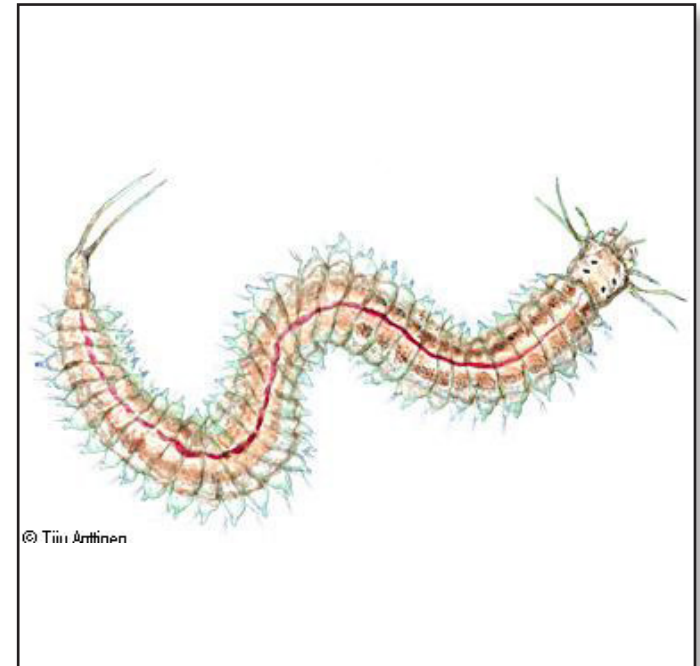
Deposit en filter feeder.

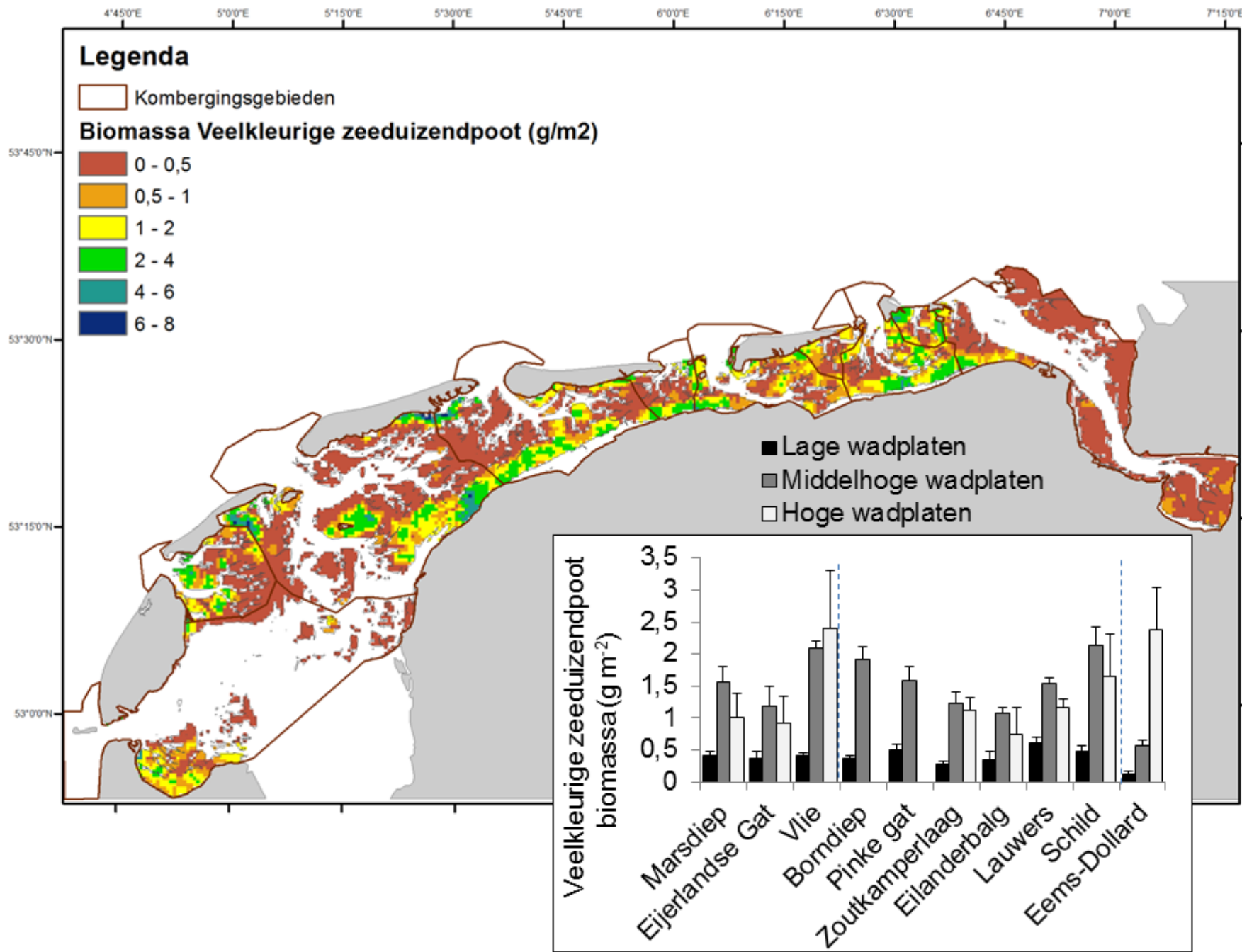
Voedselaandeel diatomeeën: 89%
Meer zeeduizendpoten in het oostelijke deel van de Nederlandse Waddenzee.

Wordt o.a. gegeten door:

- Rosse Grutto's
- Meeuwen
- Platvissen
- Grondels
- Zeebaars
- Strandkrabben
- Garnalen
- Andere zeeduizendpoten

Zeeduizendpoten worden door mensen niet gegeten maar zijn commercieel gezien wel interessant. Het is een veel gebruikt aas in de sportvisserij. Hier gaat het vaak wel om de verwante (grotere) soort zager (*Allita virens*).





Overige soortgroepen

Corophium spp.

Slijkgarnaal

Maximale lengte: 10 mm

Maximale leeftijd: 2 jaar

Kleur: Grijs

Sedimentvoorkeur in de Waddenzee:
slib en slibbig zand

Voorkeur voor hoge en middelhoge wadplaten.

Zouttolerantie: 6-40 psu

De slijkgarnaal is een kleine geleedpotige met twee lange tentakels. De tentakels van het mannetje zijn groter dan die van het vrouwtje. Ze komen voor vanaf de hoogwaterlijn tot ongeveer 20m diepte. De slijkgarnalen graven gangen door de slikkige wadbodem waarbij ze het slik ontdoen van voedseldeeltjes. Door het omwoelen van het fijne sediment destabiliseren ze de bodem en vertroebelen het water. Ze kunnen voorkomen in enorme dichtheden tot wel 50.000 per vierkante meter. Voor ruiende bergeenden in de Nederlandse Waddenzee zijn slijkgarnalen de belangrijkste voedselbron. Ook voor grondels zoals het dikkopje zijn slijkgarnalen onmisbaar.

Voedselvoorkeur: Diatomeeën en bacteriën op slikdeeltjes.

Deposit feeder.

Voedselaandeel diatomeeën: 80%
Meer slijkgarnalen in het westelijke deel van de Nederlandse Waddenzee.

Bioturbator.

Wordt o.a. gegeten door:

- Bergeenden
- Eidereenden
- Kluten
- Bonte strandlopers
- Drieteenstrandlopers
- Platvissen
- Grondels
- Garnalen
- Veelkleurige zeeduizendpoot





Overige soortgroepen

Peringia ulvae (voorheen *Hydrobia*)

Wadslakje

Maximale lengte: 10 mm

Maximale leeftijd: 2 jaar

Kleur: Bruin-groen

Sedimentvoorkeur in de Waddenzee:

Slib en slibbig zand (mediane korrelgrootte <150 µm)

Voorkeur voor hoge wadplaten.

Zouttolerantie: 0-30 psu

Het wadslakje is een klein torenvormig slakje. Ze komen voor van tussen de hoog- en laagwaterlijn tot ongeveer 20 m diepte. Lokaal kunnen ze voorkomen in dichtheden tot wel 300.000 per vierkante meter. De slakjes grazen stenen, wieren (bijv. zeesla) en de wadbodem af op zoek naar diatomeeën, bacteriën en organisch materiaal. Met hun uitwerpselen worden zand en slib aan elkaar gekit, zo hebben ze dus een (beperkte) rol in de stabiliteit van het sediment. Ze kunnen zich snel verplaatsen door een slijmbelletje te maken en met hoog water te gaan drijven. Ook dan soms in enorme aantallen. Worden veel gegeten door bergeenden, deze poepen ze vaak nog levend uit.

Voedselvoorkeur: Diatomeeën, bacteriën, macroalgen en organisch materiaal van de wadbodem.

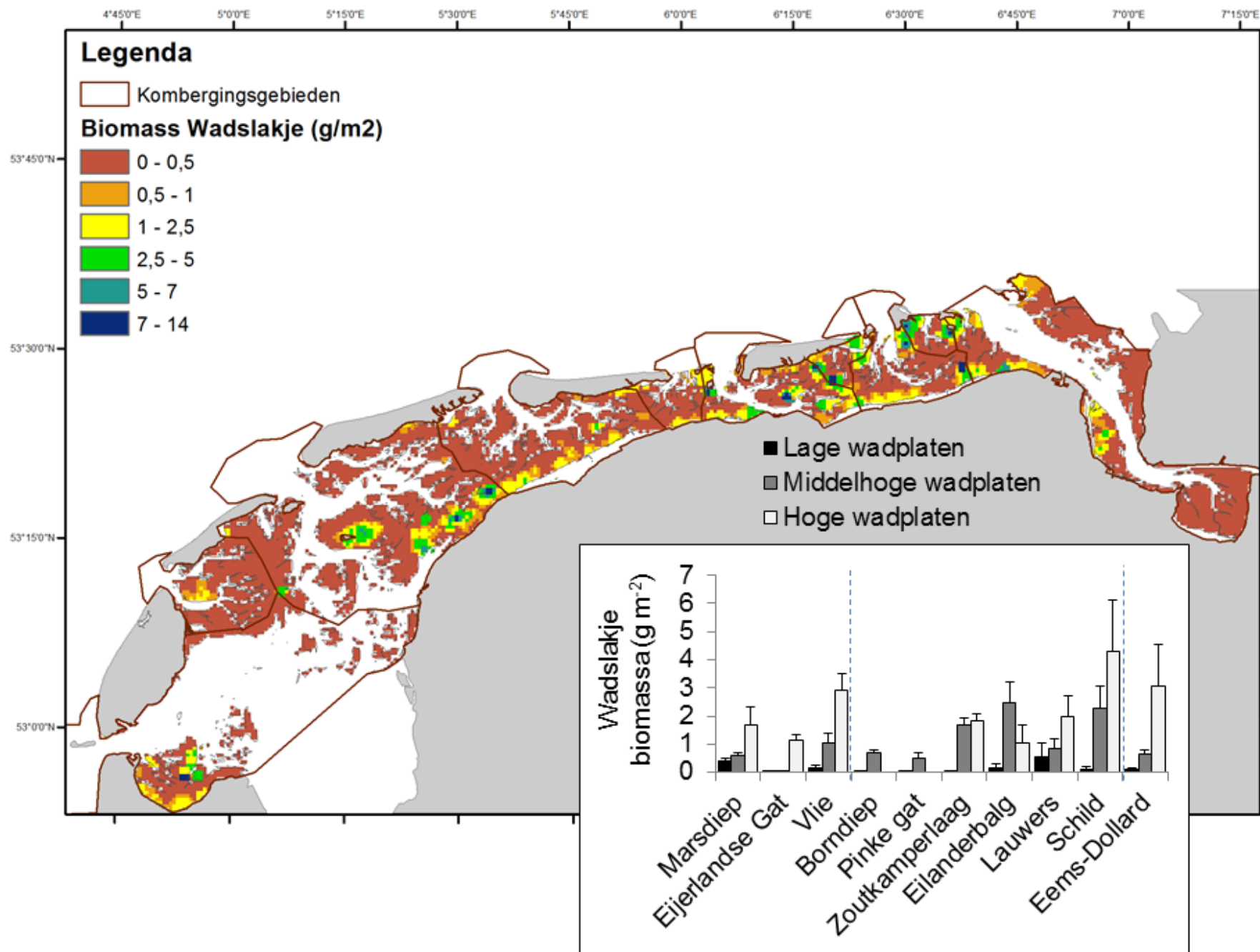
Deposit feeder.

Voedselaandeel diatomeeën: 85%
Meeste wadslakjes zitten in het oostelijke deel van de Nederlandse Waddenzee.

Wordt o.a. gegeten door:

- Kanoetstrandlopers
- Rosse Grutto's
- Bergeenden
- Eidereenden
- Platvissen
- Harders
- Garnalen
- Oubliehoren (klein roofslakje)







5. Het belang van mosselbanken voor het voedselweb

Introductie stabiele isotopen

Stabiele isotopen zijn van nature voorkomende stoffen waarmee een groot aantal sleutelprocessen in ecosystemen gekwantificeerd worden, bijvoorbeeld ten aanzien van land-zee uitwisseling, voedselweb relaties, en chemische processen in de bodem. Zo wordt koolstof en stikstof elk in twee of meer vormen aangetroffen, welke een verschillend atomair gewicht hebben.

Het aandeel van de verschillende isotopen kan met behulp van gevoelige apparatuur (isotoop-ratio massa spectrometers) bepaald worden in bijvoorbeeld planten, dieren, water, slib, of de bodem. Diverse methodieken geven informatie over de korte tijdschaal (bijvoorbeeld darminhoud onderzoek voor voedselweb beschrijving), terwijl de wetenschappelijke vraag veelal op de lange termijn ligt: wat eet een dier over het jaar heen. Hierin ligt kracht van stabiele isotopen: ze integreren over de tijd en geven dus een representatiever beeld. Dit is een bijzonder rijke bron van informatie over sleutelprocessen in ecosystemen. Zo kunnen de volgende processen gerelateerde grootheden op deze manier worden bepaald aan de hand van 2 isotopen:

Stikstof (d15N): verrijking van stikstof 15 van dieren ten opzichte van hun planten in het ecosysteem geeft directe informatie over de lengte van de voedselketen en de positie van een organisme in de voedselketen: hoe hoger de stikstof isotoopwaarde, hoe hoger het trofische niveau.

Koolstof (d13C): De isotoop verdeling van koolstof blijft behouden als dieren het organisch materiaal consumeren; dit bestaat bekend als het principe "you are what you eat". Door de koolstofisotoop- samenstelling van dieren in de Waddenzee te meten is het dus mogelijk te bepalen

of ze afhankelijk zijn van hogere planten, algen in de zee, zoetwaterplanten, zeegrassen en/of algen op het sediment die al dan niet geresuspendeerd (zwevend dooropwoeling) zijn.

Stabiele isotoopwaardes van organismen (d15N en d13C) kunnen dus een beeld geven van wat een organisme eet, maar ook waardóór een organisme wordt gegeten. Zo kunnen stabiele isotopen worden gebruikt om een beeld te krijgen van de opbouw van een voedselweb; wat eet wat, en hoe hoog staat een soort in de voedselketen (trofisch niveau). De basis van een voedselweb wordt gevormd door zogenaamde primaire producenten: algen, hogere planten en bacteriën. Dit zijn autotrofe organismen die hun energie halen uit zonlicht door middel van fotosynthese. Primaire producenten vormen de fundering van een voedselweb en worden gegeten door primaire consumenten (herbivoren), die op hun beurt weer worden gegeten door soorten van hogere trofische niveaus.

Het trofisch niveau geeft dus aan waar een soort in de voedselketen staat, en kan iets zeggen over hoe een voedselweb lokaal is opgebouwd. Om het trofisch niveau van een soort te kunnen schatten moet je echter wel weten waar de basis van het voedselweb ligt.

Dit is soms lastig, omdat de stikstofisotoopwaardes van primaire producenten aan de basis van een voedselweb nogal kunnen variëren per locatie (Fig. 6.5). Voor Waddensleutels hebben we een zogenaamde basislijn (baseline) ontwikkeld die de variatie in d15N aan de basis van het voedselweb in acht neemt. Deze precisie is uniek in de wereld, omdat de meeste studies hun basislijn slechts op één puntmeting of

zelfs op literatuurwaardes baseren. Voor het formuleren van deze basislijn hebben we met behulp van gegevens over de abiotische condities in de waddenzee (diepte, zoutgehalte, sedimenttype, etc.) geprobeerd een verklaring te vinden voor de variatie in isotoopsignalen over de Waddenzee (hoofdstuk 6.3).

We gebruiken een tweetal typen modelsoorten: het nonnetje en het wadslakje voor de benthische basislijn en boeimossels (hoofdstuk 6.1) voor de pelagische basislijn. Doordat we zo heel lokaal de verschillen in isotoopwaardes in acht kunnen nemen, kunnen we vrij precies per locatie de basislijn van het voedselweb bepalen, en dus ook welk trofisch niveau een soort op dié specifieke locatie heeft. Door deze unieke, door Waddensleutels ontwikkelde methodiek, kunnen we dus op elke individuele locatie in de Nederlandse Waddenzee aangeven hoe lang de voedselketen is, wat een indicatie is voor de rijkdom van het voedselweb

5.1. Isotoopbemonstering in de Waddenzee

Gedurende 40 dagen van 10 augustus tot en met 20 september 2013 zijn op alle bewoonde Waddeneilanden van zo veel mogelijk organismen isotoopmonsters verzameld. In totaal zijn zes plekken aangedaan (Fig. 5.1) en op elke locatie twee sublocaties; een mosselbank en een kale zandplaat op ~500 m van de mosselbank.

Voor de bemonstering van de verschillende organismen zijn een aantal methoden gebruikt. Voor bodemleven is gebruik gemaakt van de methode zoals beschreven bij het SIBES onderzoek.

Voor vissen, kwallen, krabben en garnalen is gebruik gemaakt van een tweetal schietfuiken per locatie, d.w.z. twee fuiken

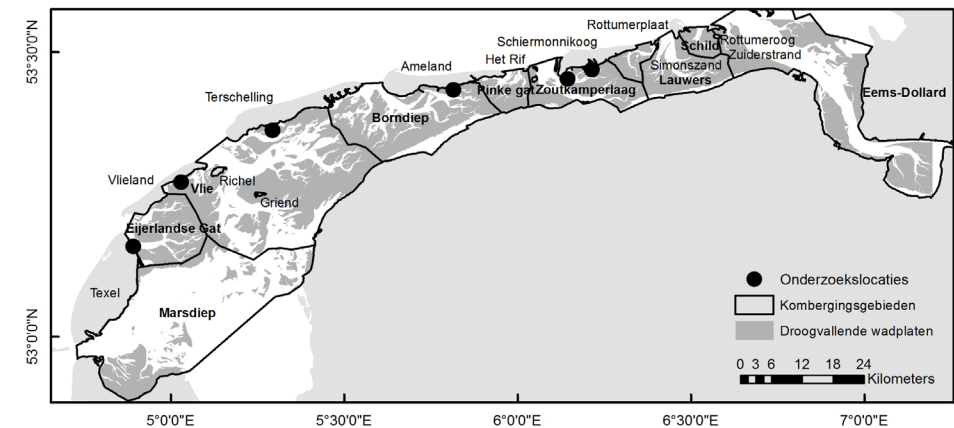
verbonden met een staand wand van 10 m, waarbij de fuiken dwars op de stroom zijn gepositioneerd.

Elk laagwater zijn de fuiken geleegd en ze zijn in totaal 8 laagwaters blijven staan. In aanvulling op de fuikbemonstering zijn er met de hand m.b.v. een garnalennet o.a. steurgarnalen gevangen.

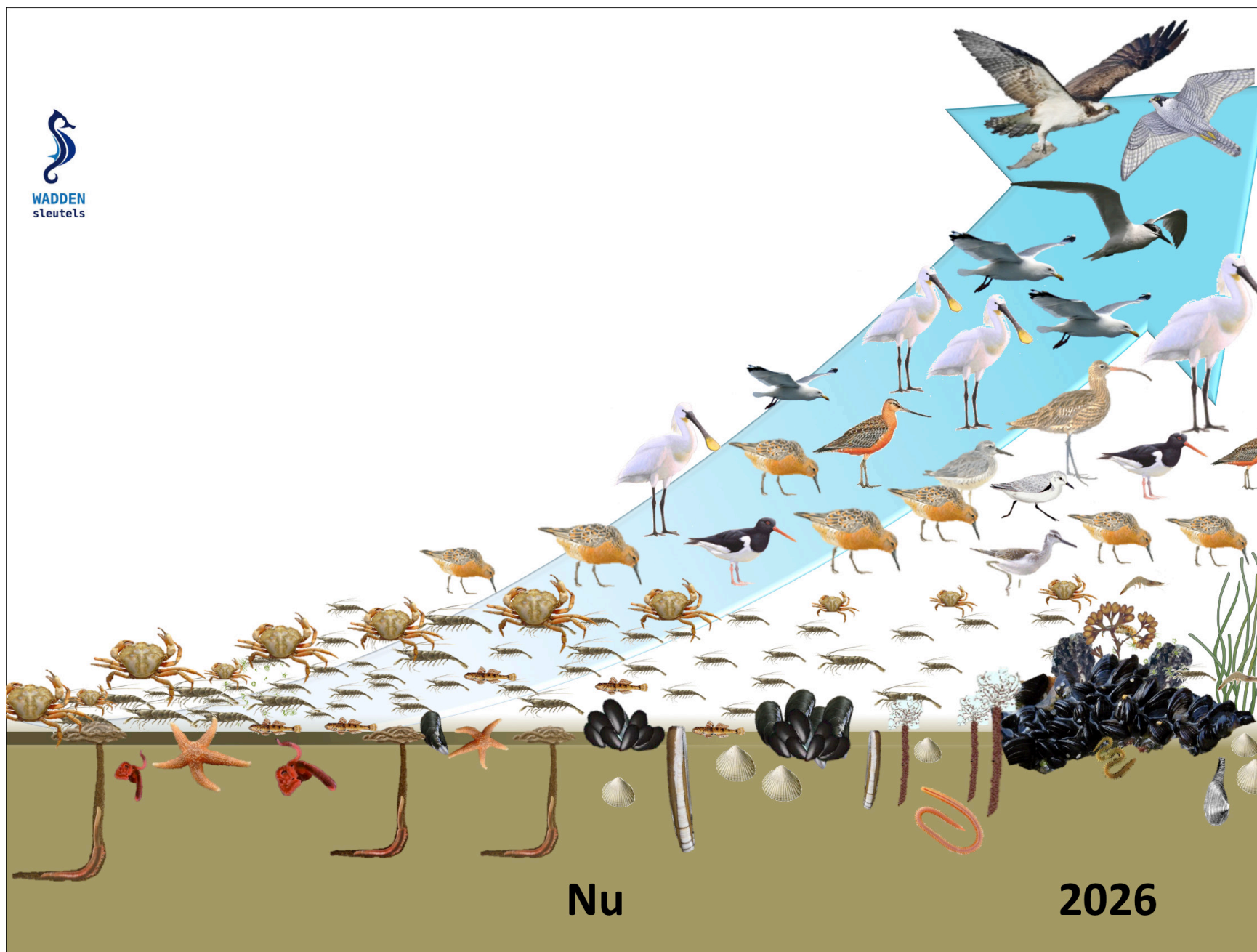
Verder zijn er monsters genomen van de bovenste 4 cm van het sediment voor isotopen analyse van sediment en kiezelwieren.

Daarnaast zijn ook, macroalgen zoals zee-eik en zeesla, verzameld met de hand.

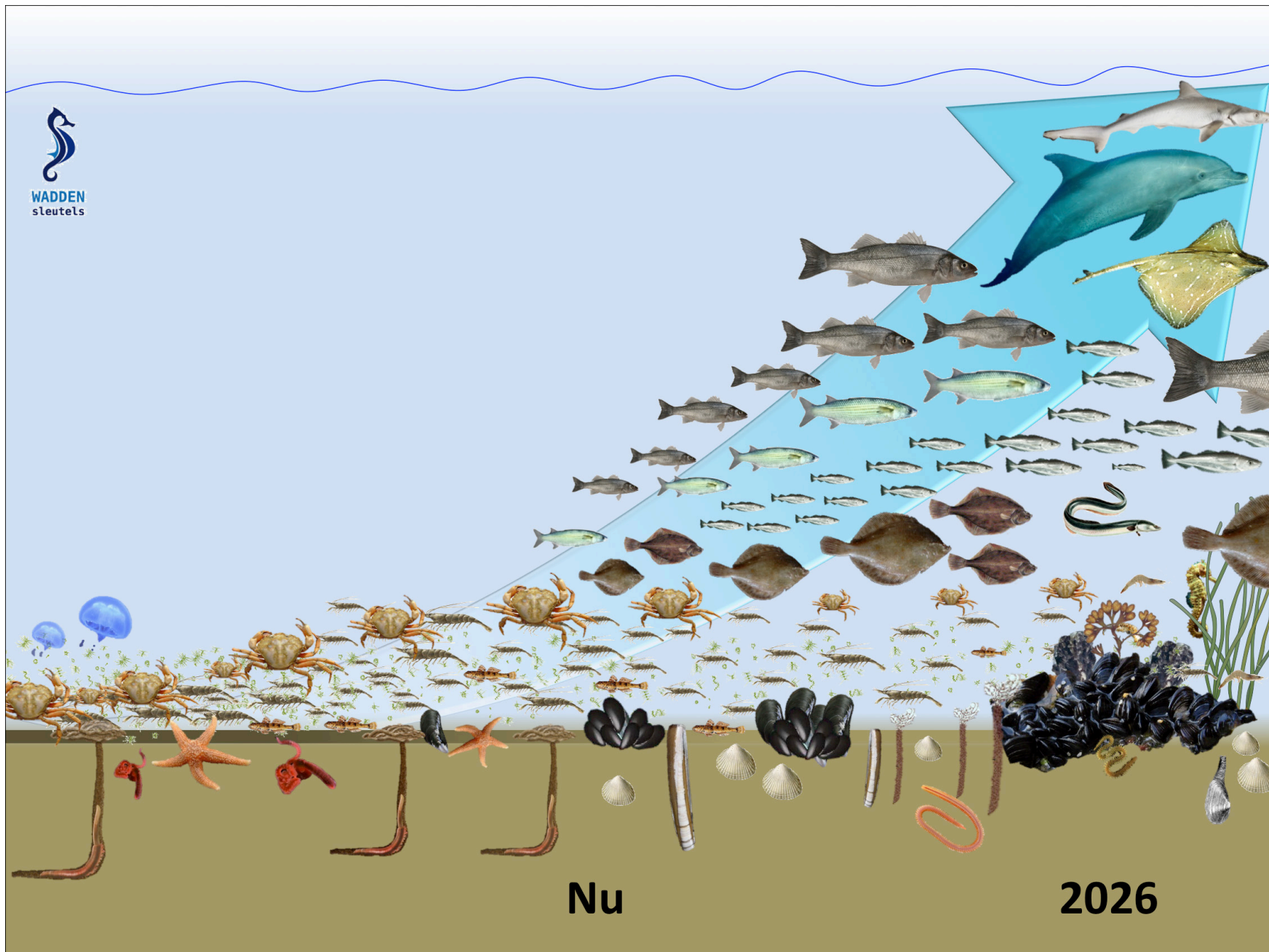
Vogels zijn geteld door tijdens een compleet laagwater (van afgaand water tot opkomend water) in vakken van 50x50 m om het voorkomen en de dichtheid van vogels op en rondom mosselbanken te inventariseren.



Figuur 5.1. Kaart van de onderzoeklocaties verspreid over de Nederlandse Waddenzee (zwarte punten). De namen en grenzen van de kombergingsgebieden (zwarte lijnen) en droogvallende wadplaten (grijze vlakken) zijn weergegeven. Voor de locaties van de SIBES monsterpunten zie Figuur 4.3.



Figuur 5.2. De voedselpiramide bij laagwater. Te zien is hoe deze er in 2026 uit zou moeten zien.



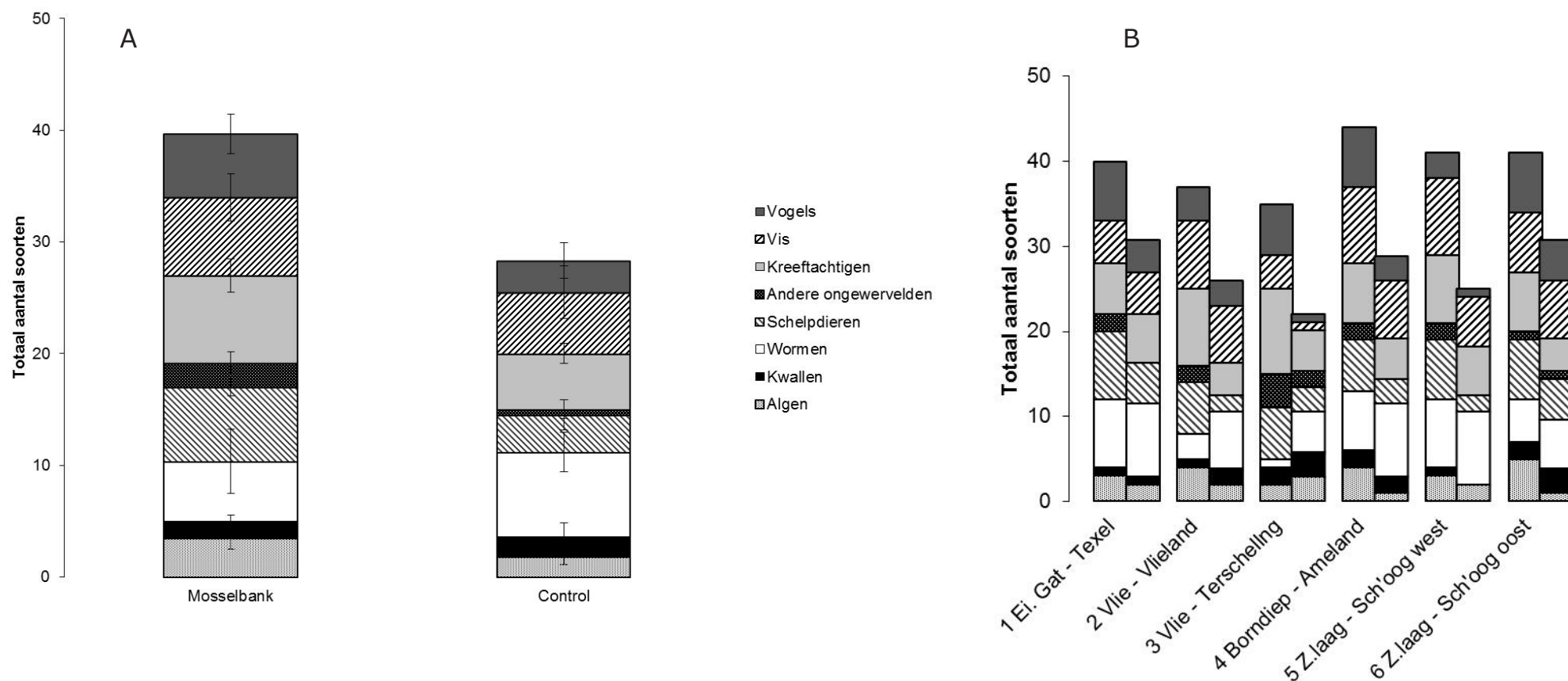
Figuur 5.3. De voedselpiramide bij hoogwater. Te zien is hoe deze er in 2026 uit zou moeten zien.

5.2. Foto impressie fuikenbemonstering op de wadplaten



Figuur 5.4. Foto impressie van de bemonstering van het voedselweb op en naast mosselbanken. Zowel overdag als 's nachts zijn monsters genomen van vissen, bodemdieren, kiezelwieren en andere organismen. De fuiken vingden vooral veel krabben.

5.3. Mosselbanken herbergen een hoger aantal soorten dan habitats daarbuiten

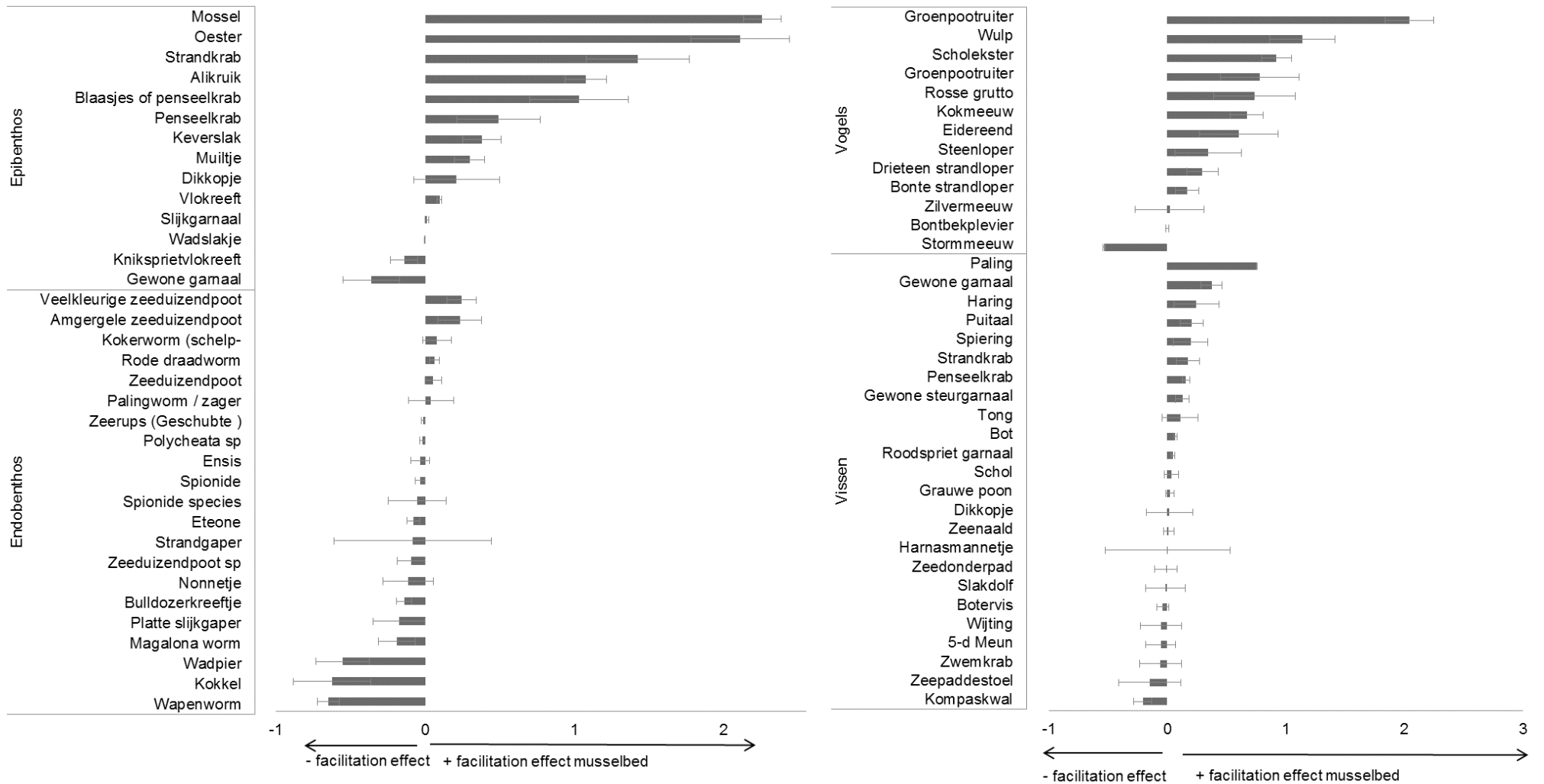


Figuur 5.5. Het aantal soorten gevonden op droogvallende mosselbanken en droogvallende wadplaten ("Controle"): het gemiddelde voor alle locaties (A) en voor alle locaties apart (B). Weergegeven zijn gemiddelden \pm Standaard error. Soortenaantallen zijn verkregen door gebruik van een combinatie van methoden: transect tellingen (vogels), fuik bemonstering (vis, kreeftachtigen), en benthos cores (macrofauna, algen).

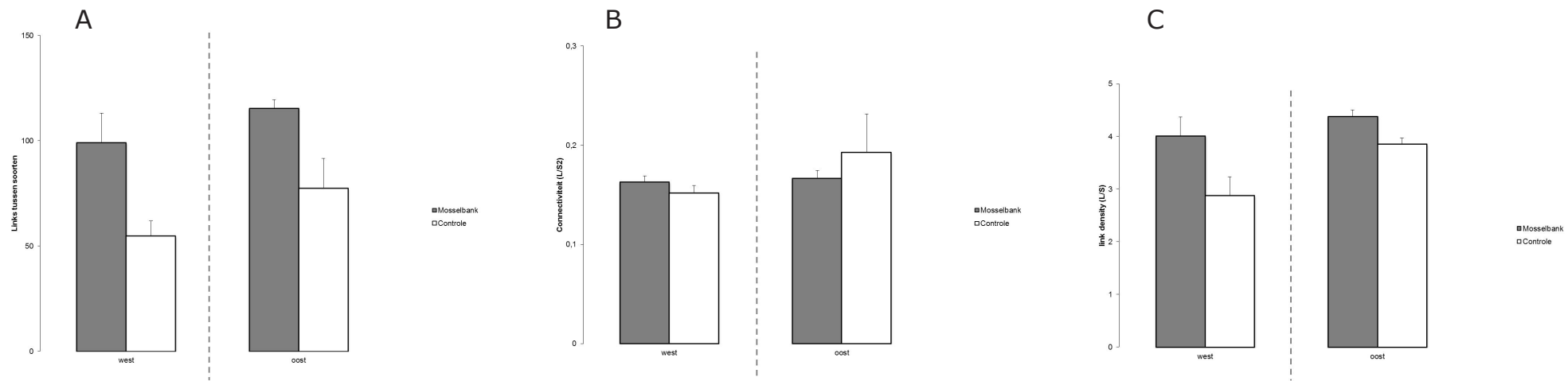
Tabel 5.1. Overzicht van de gevonden soorten per locatie en subhabitat.

Soort groep	Soortnaam Latijn	Soortnaam NL	Mosselbank						Controle					
			West			Oost			West			Oost		
			1. Texel	2. Vlieland	3. Terschelling	4. Ameland	5. Schiermonnikoog West	6. Schiermonnikoog Oost	1. Texel	2. Vlieland	3. Terschelling	4. Ameland	5. Schiermonnikoog West	6. Schiermonnikoog Oost
			Eijerlandse gat	Vlie	Vlie	Borddiep	Zoutkamperlaag	Zoutkamperlaag	Eijerlandse gat	Vlie	Vlie	Borddiep	Zoutkamperlaag	Zoutkamperlaag
Algae	<i>Ceramium rubrum</i>	Roodhorntjeswier	+	+		+	+	+			+			
	<i>Coscinodiscophycidae</i>	Diatomee	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	<i>Enteromorpha sp</i>	Groen draadwier					+		+					
	<i>Fucus vesiculosus</i>	Blaaswier	+	+	+	+	+						+	
	<i>Ulva ulva</i>	Zeesla		+		+	+	+	+					
Kwallen	<i>Chrysaora hysoscella</i>	Kompaskwal				+	+	+	+	+	+	+	+	+
	<i>Ctenophora sp</i>	Ribkwal	+		+					+				+
	<i>Rhizostoma pulmo</i>	Zeepaddestoel		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Annelida	<i>Alitta succinea</i>	Ambergele zeeduizendpoot				+	+							
	<i>Alitta virens</i>	Zeeduizendpoot				+								
	<i>Arenicola marina</i>	Wadpier	+			+			+	+	+	+	+	+
	<i>Bylgides sarsi</i>	Zeerups (Geschubte)		+					+		+			
	<i>Eteone longa</i>	Eteone	+			+	+	+	+	+	+	+	+	+
	<i>Harmothoe sp</i>	Polycheata sp	+											
	<i>Hediste diversicolor</i>	Veelkleurige zeeduizendpoot	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+
	<i>Heteromastus filiformis</i>	Rode draadworm	+			+	+						+	
	<i>Lanice conchilega</i>	Kokerworm (schelp-)	+			+			+	+	+			
	<i>Magalona sp</i>	Magalona worm							+		+			
	<i>Nephtys hombergii</i>	Palingworm / zager				+	+	+	+	+	+	+	+	+
	<i>Nephtys sp</i>	Zeeduizendpoot sp										+		
	<i>Phylodoce sp</i>	Polycheata sp							+					
	<i>Red worm</i>	Heteromastus filiformis	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+
	<i>Scolecipis sp</i>	Spionide										+		
	<i>Scoloplos armiger</i>	Wapenworm	+						+	+	+	+	+	+
	<i>Spionide sp</i>	Spionide species							+		+	+	+	+
Mollusca	<i>Cerastoderma edule</i>	Kokkel	+			+			+	+	+		+	+
	<i>Crassostrea gigas</i>	Oester	+	+	+	+	+	+						
	<i>Crepidula fornicata</i>	Muiltje	+	+	+	+	+	+						
	<i>Ensis directus</i>	Ensis	+						+	+	+	+		+
	<i>Hydrobia ulvae</i>	Wadslakje							+					
	<i>Lepidochitona cinerea</i>	Keverslak	+	+	+		+	+						
	<i>Littorina littorea</i>	Alikruik	+	+	+	+	+	+						+
	<i>Macoma balthica</i>	Nonnetje	+			+	+	+	+	+	+	+	+	+
	<i>Mya arenaria</i>	Strandgaper							+			+	+	+
	<i>Mytilus edulis</i>	Mossel	+	+	+	+	+	+						
	<i>Scrobicularia plana</i>	Platte slijkgaper							+					
	<i>Sessilia sp</i>	Pok sp		+	+	+								
Andere invertebrates	<i>Actiniaria sp</i>	Anemoon sp	+		+	+	+	+			+			
	<i>Asterias rubens</i>	Zeester	+	+	+				+					+
	<i>Didemnum lahillei</i>	Druipzakpijp			+									
	<i>Sagartia sp</i>	Slibanemoon		+	+	+	+							

Soort groep	Soortnaam Latijn	Soortnaam NL	Mosselbank						Controle												
			West			Oost			West			Oost									
			1. Texel	2. Vlieland	Terschelling	Ameland	Schiermonnikoog West	Schiermonnikoog Oost	1. Texel	2. Vlieland	Terschelling	Ameland	Schiermonnikoog West	Schiermonnikoog Oost							
Crustacea	<i>Carcinus maenas</i>	Strandkrab	+	+	+	+	+	+							+	+	+	+	+	+	
	<i>Corophium sp</i>	Slijkgarnaal						+													
	<i>Crangon crangon</i>	Gewone garnaal	+	+	+	+	+	+	+						+	+	+	+	+	+	
	<i>Bathyporeia sp</i>	Kniksprietvlokkreeft													+				+	+	
	<i>Gammarus sp</i>	Vlokkreeft	+	+	+	+	+	+								+					
	<i>Hemigrapsus sp</i>	Blaasjes of penseelkrab	+		+			+	+												
	<i>Hemigrapsus takanoi</i>	Penseelkrab	+	+	+	+	+	+	+						+						
	<i>Idotea linearis</i>	Staaftpissebed			+																
	<i>Liocarcinus holsatus</i>	Zwemkrab	+	+	+	+	+	+	+						+	+		+	+	+	
	<i>Palaemon adspersus</i>	Roodspruit garnaal			+	+															
	<i>Palaemon elegans</i>	Gewone steurgarnaal	+	+	+	+	+	+	+												
	<i>Palaemon sp</i>	Steurgarnaal species			+																
	<i>Praunus flexuosus</i>	Geknikte aasgarnaal			+	+	+											+	+	+	
	<i>Urothoe posedonis</i>	Bulldozerkreeftje													+	+	+	+	+	+	
Vis	<i>Agonus cataphractus</i>	Harnasmannetje																			
	<i>Anguilla anguilla</i>	Paling		+				+													
	<i>Ciliata mustela</i>	5-d Meun						+												+	
	<i>Clupea harengus</i>	Haring		+				+	+										+	+	
	<i>Eutrigla gurnardus</i>	Grauwe poon												+							
	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	3-d Stekelbaars																			
	<i>Gobius sp</i>	Dikkopje	+	+	+	+	+	+	+						+	+	+	+	+	+	
	<i>Liparis liparis</i>	Slakdolf														+					
	<i>Merlangius merlangus</i>	Wijting													+					+	
	<i>Myoxocephalus scorpius</i>	Zeedonderpad																		+	
	<i>Osmerus eperlanus</i>	Spiering																+	+	+	
	<i>Pholis gunnellus</i>	Botervis			+											+					
	<i>Platichthys flesus</i>	Bot		+											+	+		+	+	+	
	<i>Pleuronectes platessa</i>	Schol			+	+	+	+	+						+	+		+	+	+	
	<i>Solea solea</i>	Tong															+			+	
	<i>Syngnathus sp</i>	Zeenaal			+	+															
	<i>Zoarces viviparus</i>	Puitaal			+	+	+	+	+						+	+		+			
Vogels	<i>Bontbekplevier</i>	Bontbekplevier	+	+	+	+	+	+	+						+	+	+	+	+	+	
	<i>Calidris alpina</i>	Bonte strandloper																		+	
	<i>Calidris alba</i>	Drieteen strandloper													+						
	<i>Somateria mollissima</i>	Eidereend												+							
	<i>Tringa nebularia</i>	Groenpootruiter		+																	
	<i>Limosa sp</i>	Grutto			+	+											+			+	
	<i>Larus ridibundus</i>	Kokmeeuw			+	+	+	+	+						+				+	+	
	<i>Haematopus ostralegus</i>	Scholekster			+	+	+	+	+						+					+	
	<i>Arenaria interpres</i>	Steenloper													+						
	<i>Larus canus</i>	Stormmeeuw			+										+					+	
	<i>Tringa totanus</i>	Tuureluur			+			+								+					
	<i>Numenius arquata</i>	Wulp			+	+	+	+	+						+	+				+	
	<i>Larus argentatus</i>	Zilvermeeuw			+												+	+		+	
	<i>Corvus corone</i>	Zwarte kraai																			
Totaal aantal soorten			33	29	26	34	35	32	26	22	22	24	24	25							

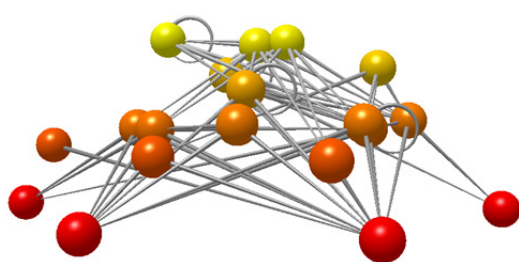


Figuur 5.6. Overzicht van het faciliterend effect wat mosselbanken kunnen hebben op de biomassa van soorten uitgedrukt in $(\log(\text{soorts biomassa op mosselbank} + 1) / \text{soort biomassa op controle locatie} + 1)$. Soorten met een waarde > 0 hebben een hogere biomassa op mosselbanken vergeleken met controle gebieden daarbuiten en worden dus gefaciliteerd door mosselbanken.

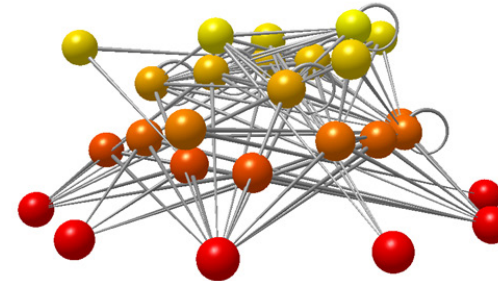


Figuur 5.7. Voedselweb indicatoren: (A) aantal connecties tussen soorten (L), (B) Connectiviteit (L/S²), (C) connectie dichtheid (L/S) op mosselbanken en controle locaties in de westelijke en oostelijke Nederlandse Waddenzee.

A. Droogvallende kale zandplaat (controle)



B. Droogvallende mosselbank



Figuur 5.8. Diagram van de voedselwebstructuur van droogvallende mosselbanken en een voedselweb op droogvallende kale wadpaat. Op mosselbanken heeft het voedselweb een hoger aantal soorten, een hogere aantal links tussen soorten en een hogere connectiviteit. Het voedselweb op een kale wadplaat is in het algemeen simpeler. De bollen vertegenwoordigen soorten en de lijnen de verbindingen (links) tussen soorten als een soort wordt gegeten door een soort hogerop in de voedselketen. De kleuren van de bollen veranderen van rood (de basis van het voedselweb), naar geel als een soort zich hogerop in de voedselpyramide bevindt.

6. Het belang van droogvallende wadplaten voor het voedselweb

De basis van het voedselweb in de Waddenzee wordt gevormd door pelagische algen (algen in de waterlaag/plankton), en benthische algen (kiezelwieren op de wadplaat).

De koolstof isotopenwaarde - $\delta^{13}\text{C}$ - in een organisme is hetzelfde als die van zijn prooi, als het organisme maar één type prooi eet. Daarom kunnen $\delta^{13}\text{C}$ waarden worden gebruikt om de relatieve bijdrage van pelagische algen versus benthische algen uit te rekenen.

In de volgende figuren laten achtereenvolgens zien dat (Fig. 6.5) de twee typen algen bijna geen overlap in $\delta^{13}\text{C}$ waarden hebben en (Fig. 6.6, 6.7 en 6.8) $\delta^{13}\text{C}$ waarden van de in 5 van de 6 gepresenteerde veel voorkomende soorten hetzelfde kleurenplaatje laten zien als dat van de benthische algen, wat wijst op benthische algen als belangrijkste voedselbron voor deze soorten.

Door op elke vindplaats van verschillende organismen de $\delta^{13}\text{C}$ waarden van het organisme te vergelijken met de $\delta^{13}\text{C}$ waarde van benthische algen en pelagische algen op die specifieke locatie is de gemiddelde bijdrage van benthische algen als energieleverancier uitgerekend (Tabel 6.1).

In totaal zijn bijna 12.000 monsters verzameld op 2935 locaties in de Nederlandse Waddenzee, in zoet water op de Waddeneilanden en de vaste wal, en uit de Noordzee. Dit resulteert in bijna 20.000 metingen.

Deze resultaten laten zien dat het voedselweb op de droogvallende wadplaten voornamelijk gedreven wordt door de benthische productie (op basis van $\delta^{13}\text{C}$).

6.1. Bemonstering fytoplankton en zoöplankton

Omdat het verzamelen van fyto- en zoöplankton uit de waterkolom een momentopname is en de samenstelling afhankelijk is van het seizoen, de weerscondities, regenval, moment in het getij etc. is er gekozen om mossels en pokken die permanent in de waterkolom leven als alternatief te gebruiken. Deze zitten precies één stap hoger in de voedselketen van respectievelijk fyto- en zoöplankton. Op deze manier is geprobeerd een geïnterpoleerd signaal te verkrijgen.

In de zomer van 2013 zijn er tijdens de SIBES bemonsteringscampagne extra isotoopmonsters verzameld van mosselen en zeepokken die vastgehecht zitten aan boeien in de geulen. In totaal zijn 43 boeien bezocht (Fig. 4.3) waarvan 39 boeien zowel mosselen als zeepokken herbergden en 4 boeien alleen maar zeepokken omdat deze boeien recentelijk ware schoongemaakt.

Voor het verzamelen is gebruik gemaakt van een speciaal

ontwikkelde mosselschraper. Deze schraper bestaat uit een houten stok met daaraan een metalen schraper in de vorm van de hoofdletter D. Aan deze schraper is een net bevestigd.

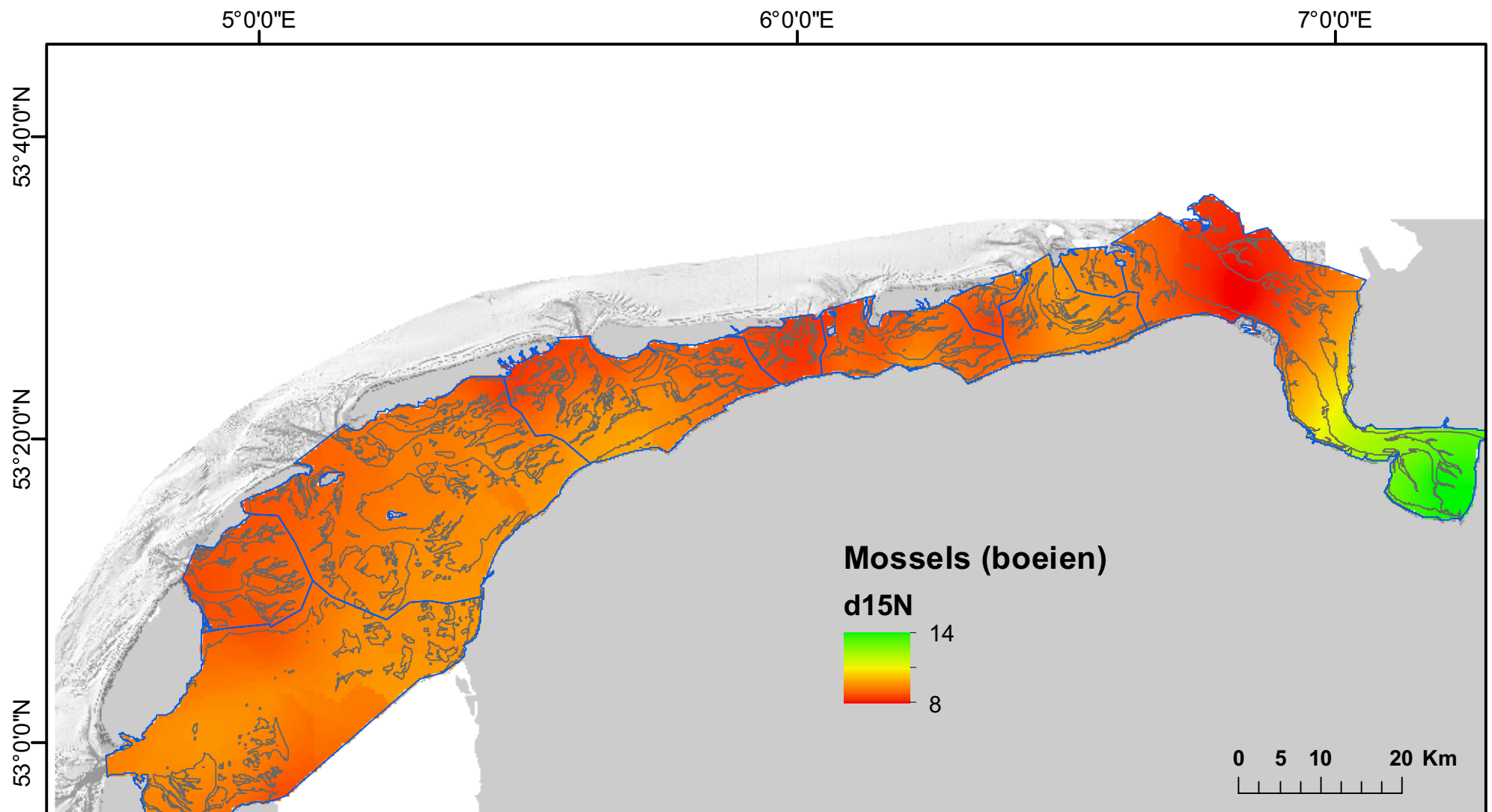
Met een rubberboot is naar een boei gevaren en door de mosselschraper langs de boei te halen raakten de mosselen en zeepokken los. Deze vielen vervolgens in het netje. De mosselen en zeepokken zijn vervolgens in een gelabelde plastic zak gedaan en aan boord ingevroren.

In het laboratorium zijn de monsters ontdooid. Voor de isotoopmonsters van de mosselen is zo veel mogelijk gebruik gemaakt van de mosselen in hun eerste levensjaar. Alleen de voet is gebruikt voor isotoopanalyse. Voor de zeepokken is het vlees van minimaal vijf pokken gemengd en verzameld.

De isotoopmonsters zijn vervolgens gevriesdroogd, gemalen en op isotoopsamenstelling geanalyseerd.



Figuur 6.1. Bemonstering van een boei met behulp van de mosselschraper.



Figuur 6.2. Stikstof isotoopsignaal van de mossels die van de boeien zijn verzameld.

6.2. Bemonstering kiezelwieren

Voor het verzamelen van de isotoopmonsters van kiezelwieren (diatomeeën) is gebruik gemaakt van de actieve migratie die kenmerkend is voor deze soortgroep.

Tijdens laagwater zitten de kiezelwieren hoog in het sediment om zo de zon te gebruiken om te fotosynthetiseren.

Tijdens hoogwater migreren de kiezelwieren enkele millimeters het sediment in. Voor het volgende laagwater migreren ze weer naar de bovenlaag van het sediment. Hierbij scheiden ze slijm af wat het sediment aan elkaar kit en zo de bodem stabiliseert. De bemonstering vindt plaats tijdens laagwater.

In de zomer van 2014 zijn er tijdens de SIBES bemonsteringscampagne extra isotoopmonsters verzameld van kiezelwieren. In totaal zijn 40 plekken verspreid over de hele Waddenzee bemonsterd (Fig. 6.4).

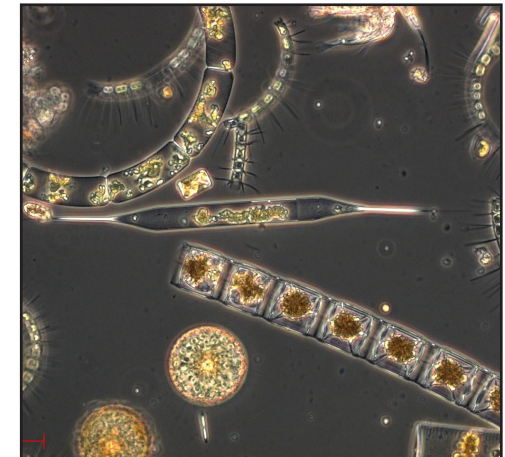
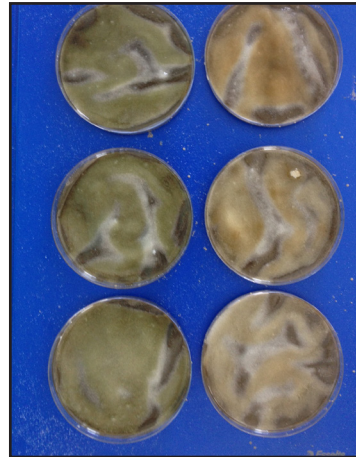
Om de kiezelwieren te verzamelen is eerst 30 ml van de bovenste 2-3 mm van het sediment afgeschraapt. De sediment/kiezelwieren mix is vervolgens uitgespreid over

een petrischaal. Boven op het sediment is een 100 µm gaasje geplaatst en daaroverheen is een dunne laag glasparels gestrooid. Het geheel wordt bevochtigt met gefilterd zeewater en op een lichte plek geplaatst.

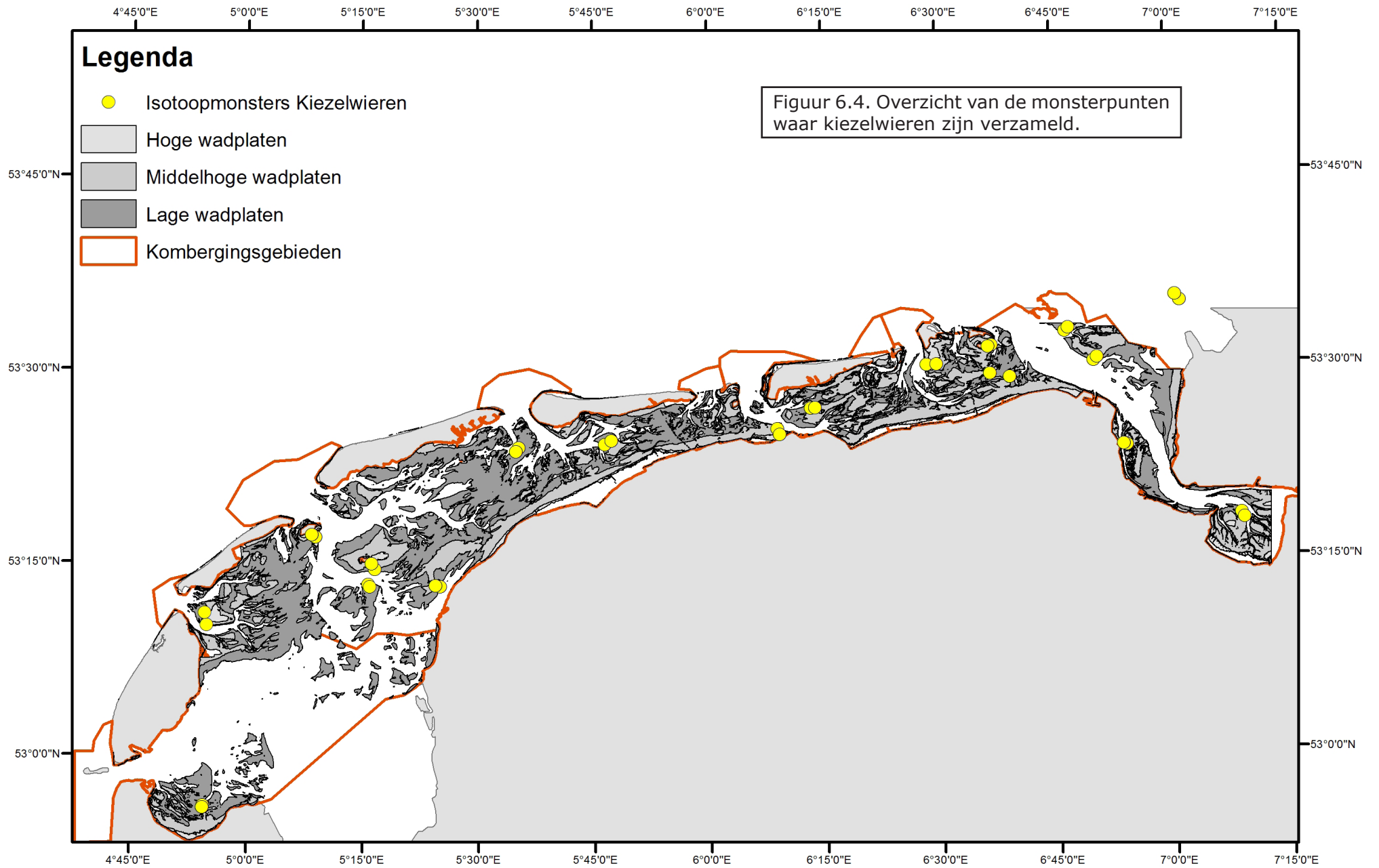
Gedurende de getijcyclus verplaatsen de kiezelwieren zich van het sediment, door het gaasje, naar de glasparels. Tijdens het opvolgende laagwater wordt de glasparel/kiezelwier mix van het gaasje afgeschept, er voor zorgend dat er geen sediment mee komt. Deze mix wordt vervolgens in een potje met gefilterd zeewater gedaan. Door het potje hard te schudden raken de diatomeeën in suspensie terwijl uiteindelijk de glasparels naar de bodem zakken. De mix van water en kiezelwieren wordt hierna gefilterd. Hierdoor bevinden zich uiteindelijk alleen kiezelwieren op het filter.

Dit filter wordt in aluminiumfolie gewikkeld en gelabeld in afwachting op analyse.

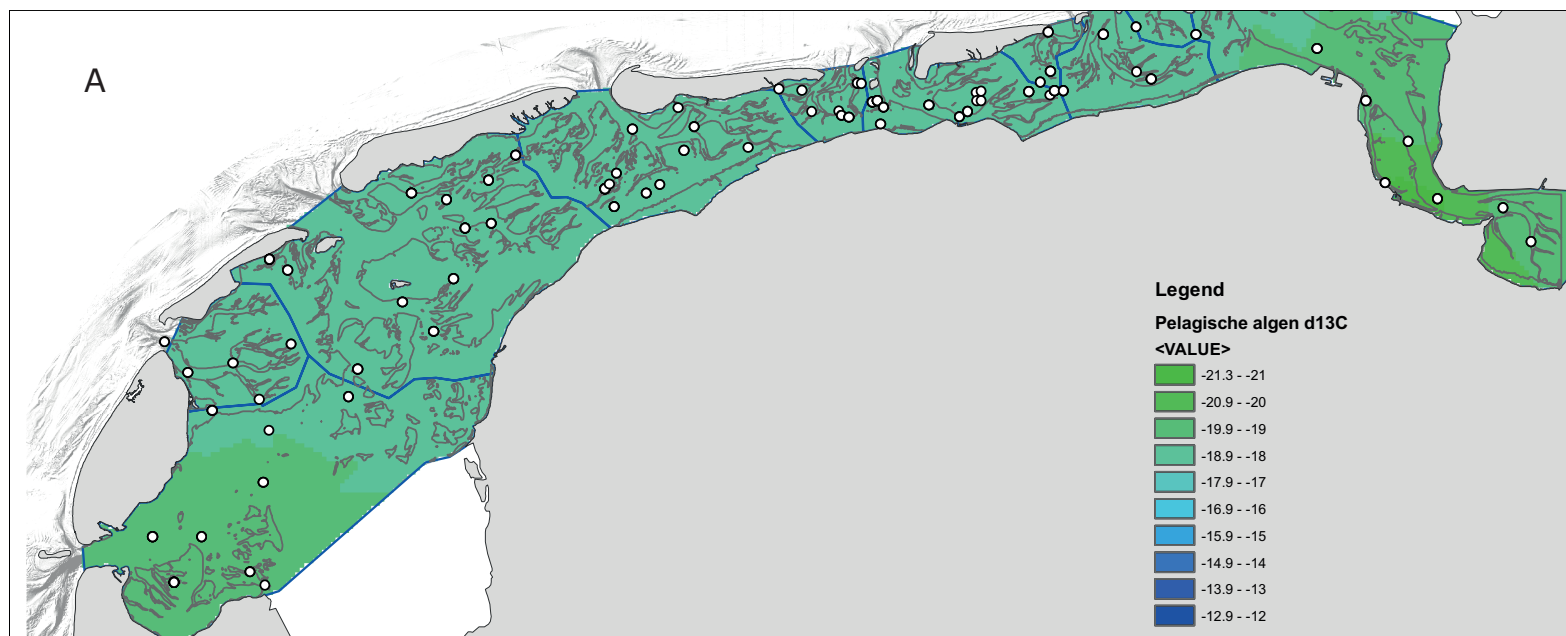
In het laboratorium worden de filters gevriesdroogd en op isotoopsamenstelling geanalyseerd.



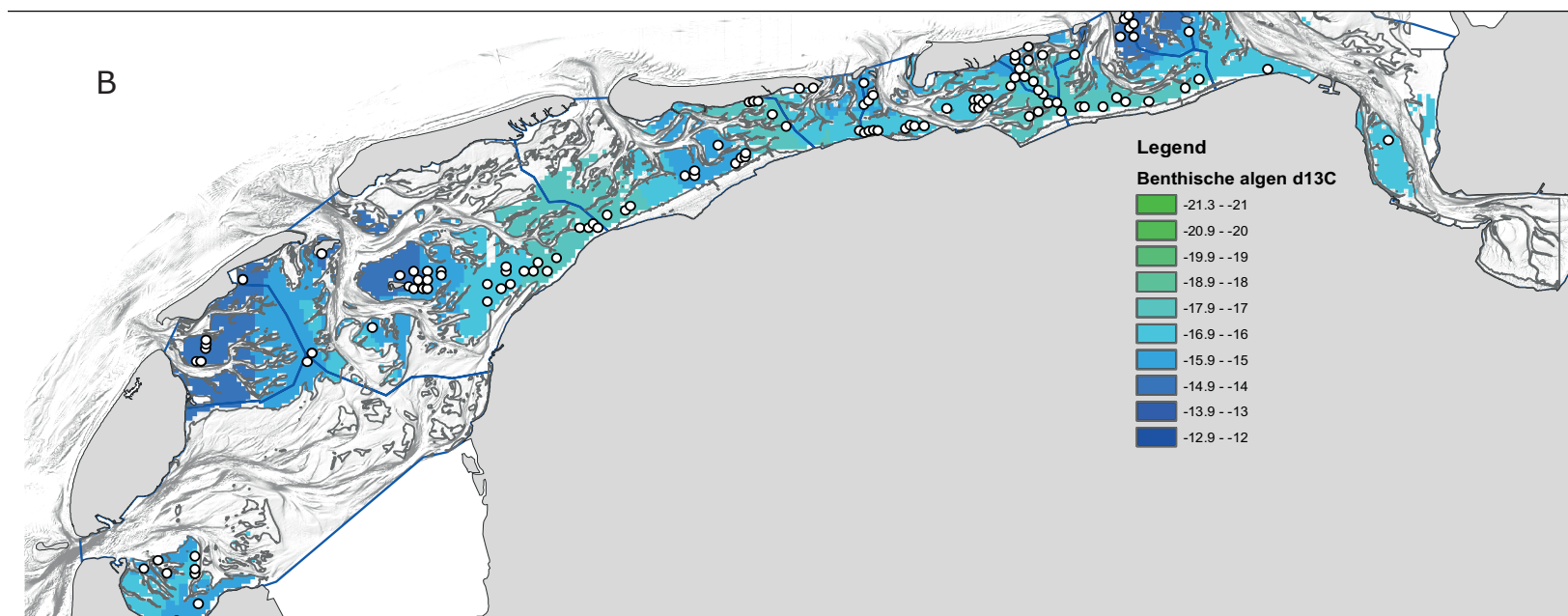
Figuur 6.3. Bemonstering van kiezelwieren op de wadplaat, kiezelwieren in een petrischaaltje, filters met de monsters, microscopische opname.

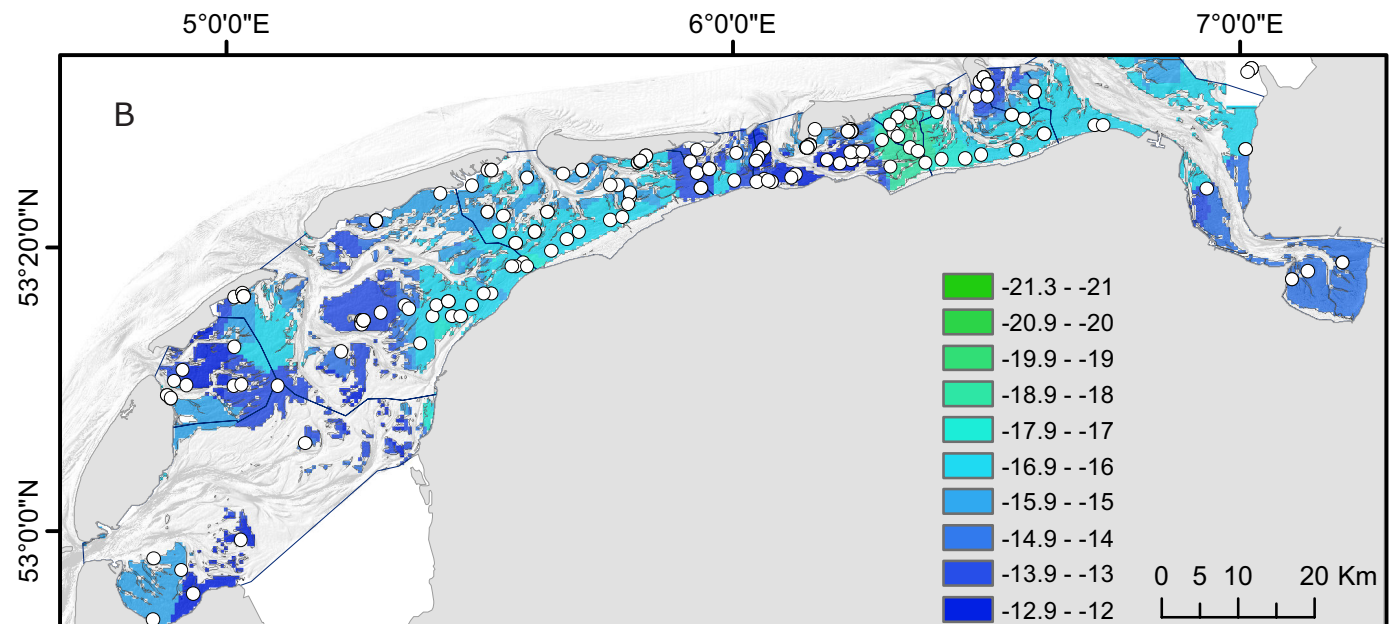
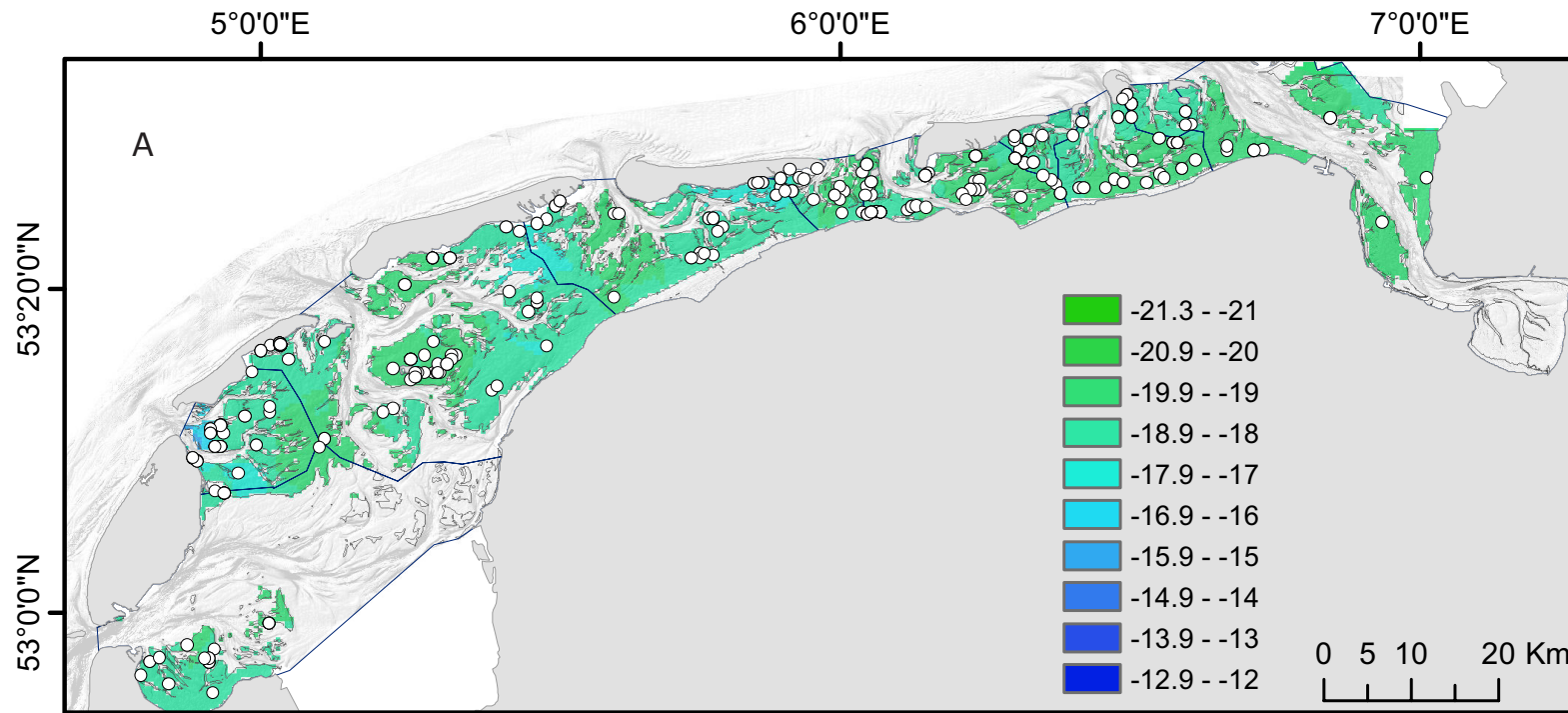


6.3. Resultaten isotoopanalyse

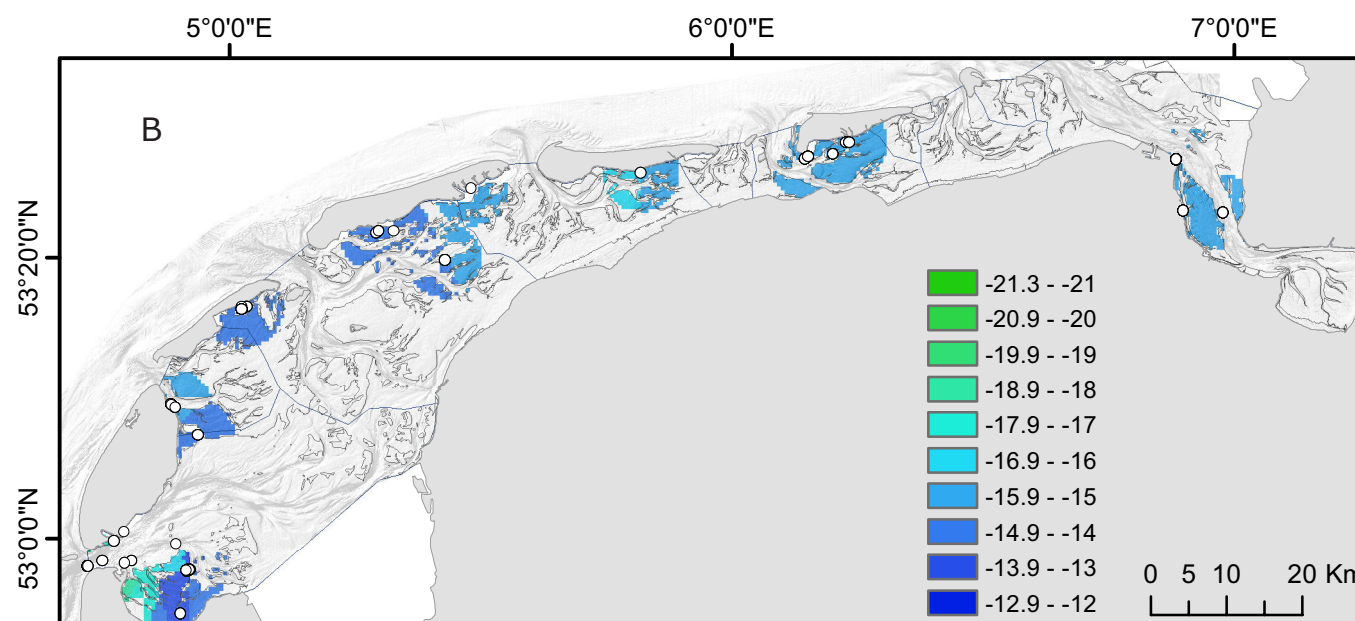
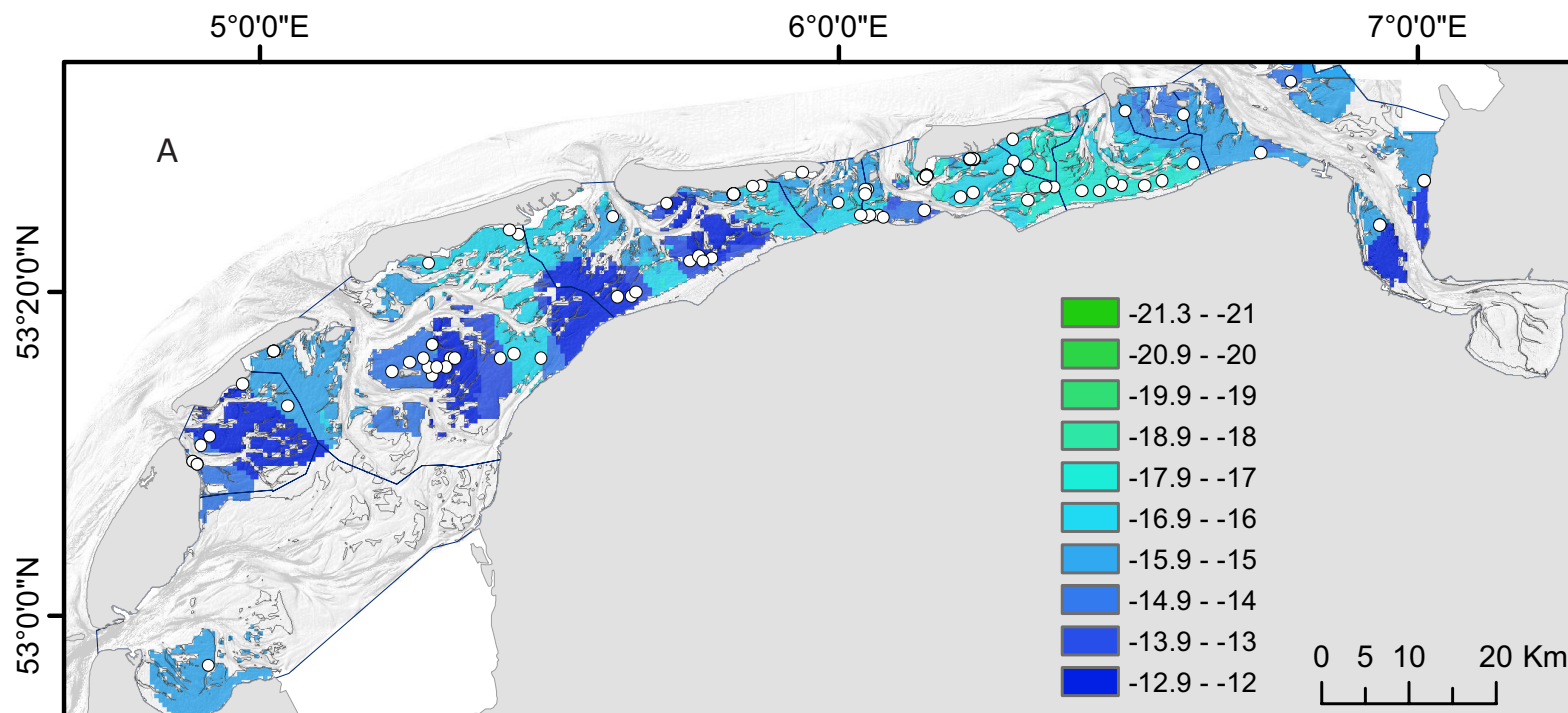


Figuur 6.5. Kaart van d13C waarden van primaire producenten: pelagische algen (A), en benthische algen (B), geëxtrapoleerd over de Nederlandse Waddenzee. Pelagische algen laten een uniform patroon zien met meer negatieve d13C waarden. Benthische algen laten een meer gemêleerd patroon zien met minder negatieve waarden.

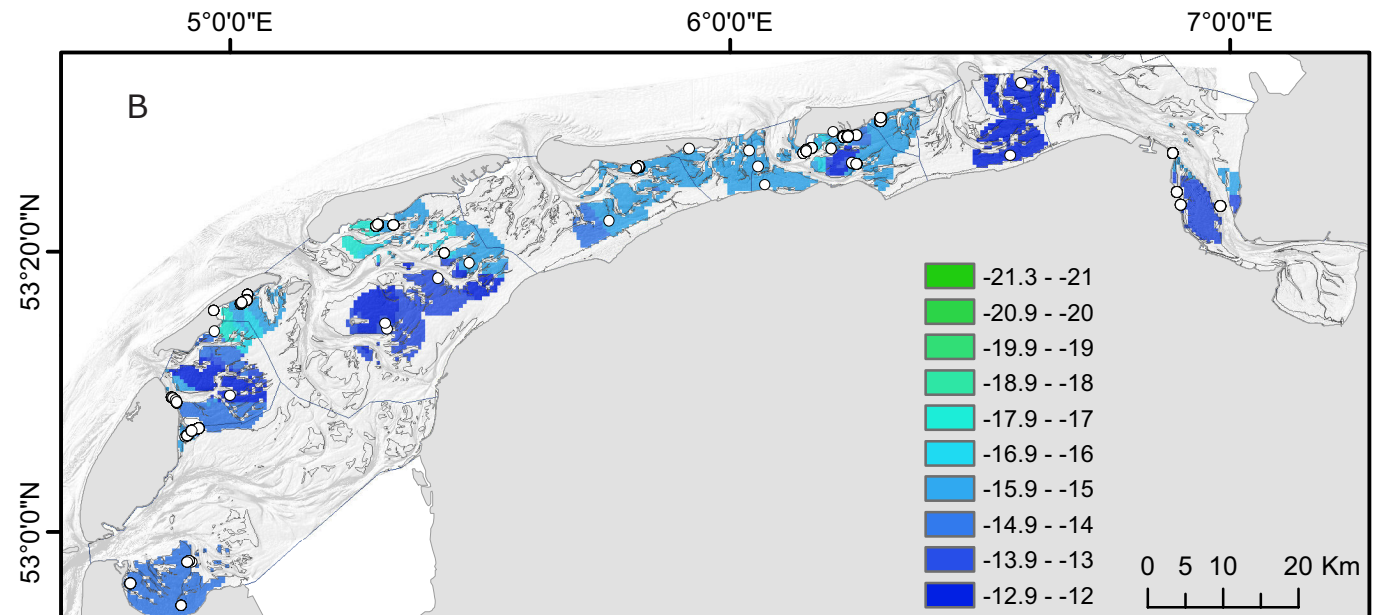
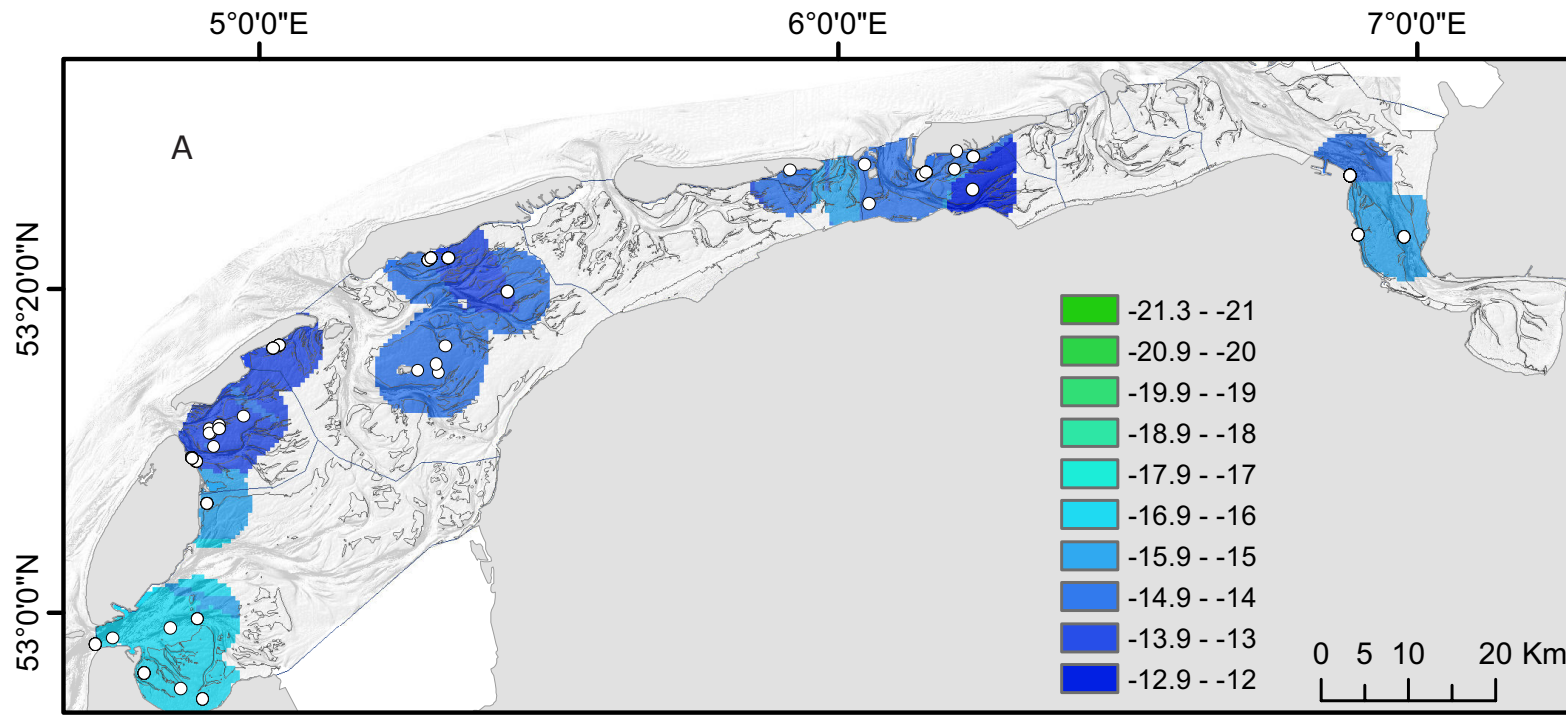




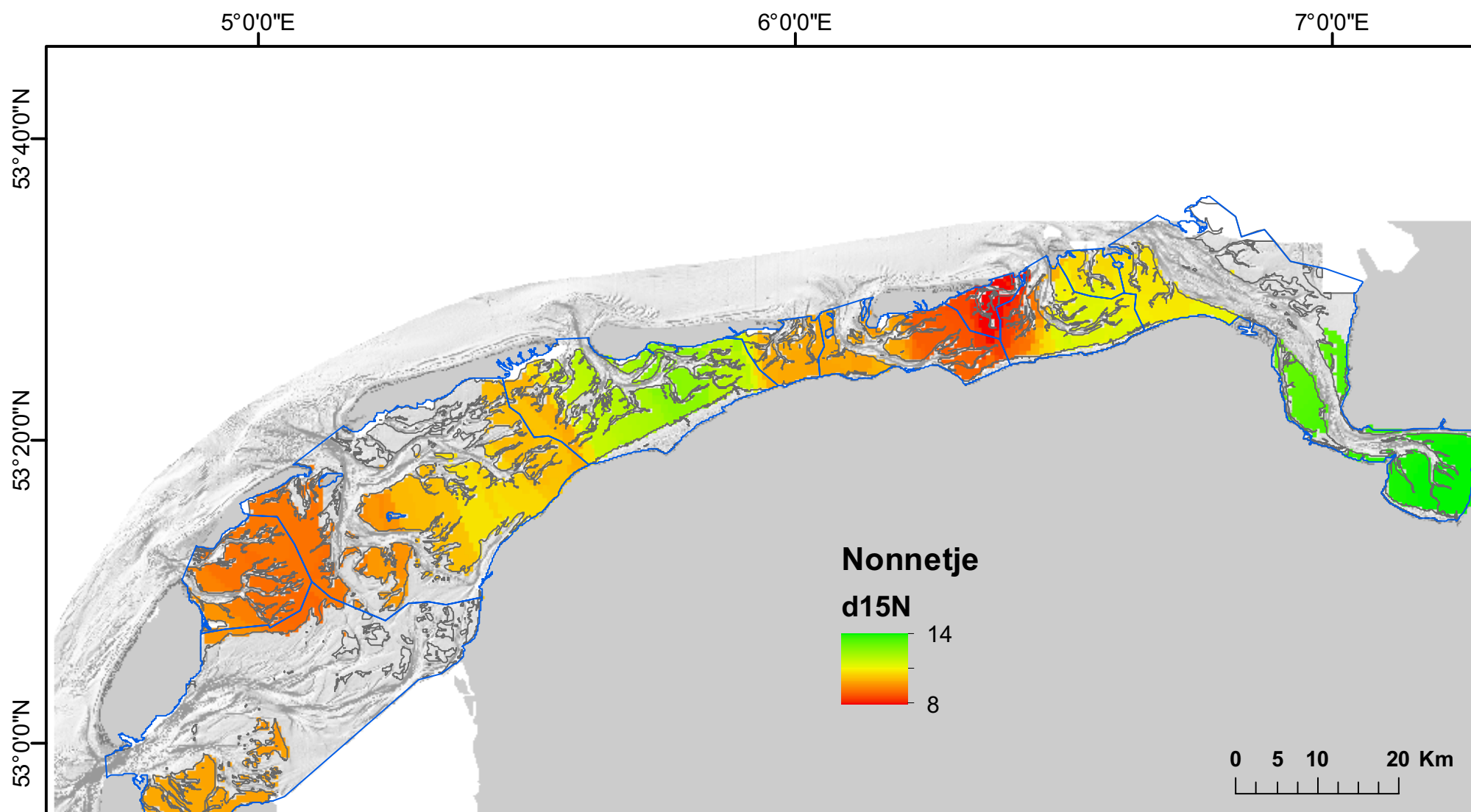
Figuur 6.6. De kokkel (A) lijkt vooral pelagische algen te eten terwijl het nonnetje (B) volgens het d13C signaal vooral bentische algen op het menu heeft.



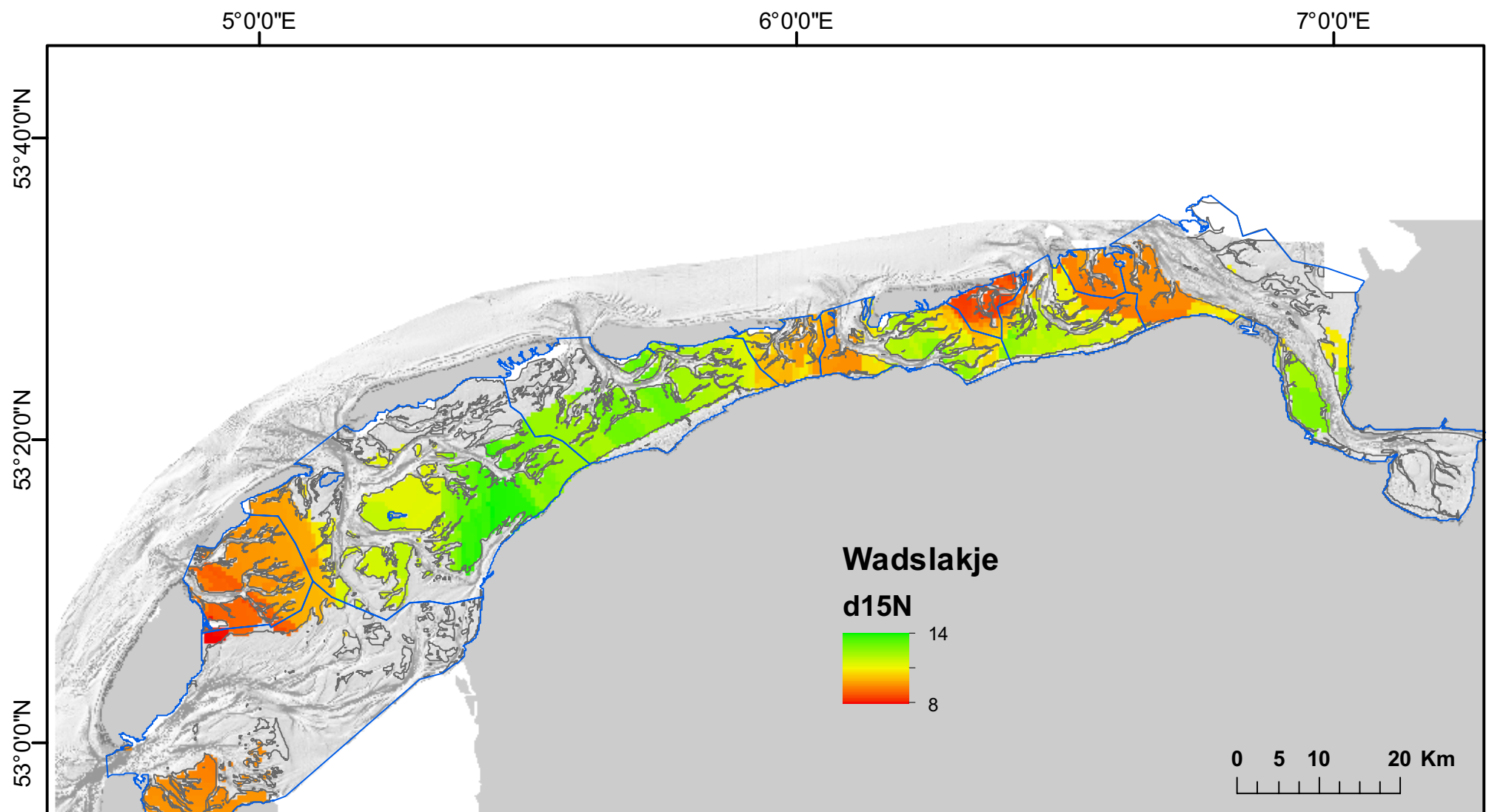
Figuur 6.7. Zowel de veelkleurige zeeduizendpoot (A) als het visje dikkopje (B) zijn vooral afhankelijk (direct of indirect) van benthische algen.



Figuur 6.8. Ook de gewone garnaal (A) en de strandkrab (B) halen hun energie (direct of indirect) uit benthische algen.



Figuur 6.9. De verdeling van de stikstofisotopen van het nonnetje laat zien dat deze in de Dollard vrij hoog is terwijl deze in het westelijke deel van de Nederlandse Waddenzee lager is.



Figuur 6.10. De verdeling van de stikstofisotopen van het Wadslakje is niet uniform door de Waddenzee.



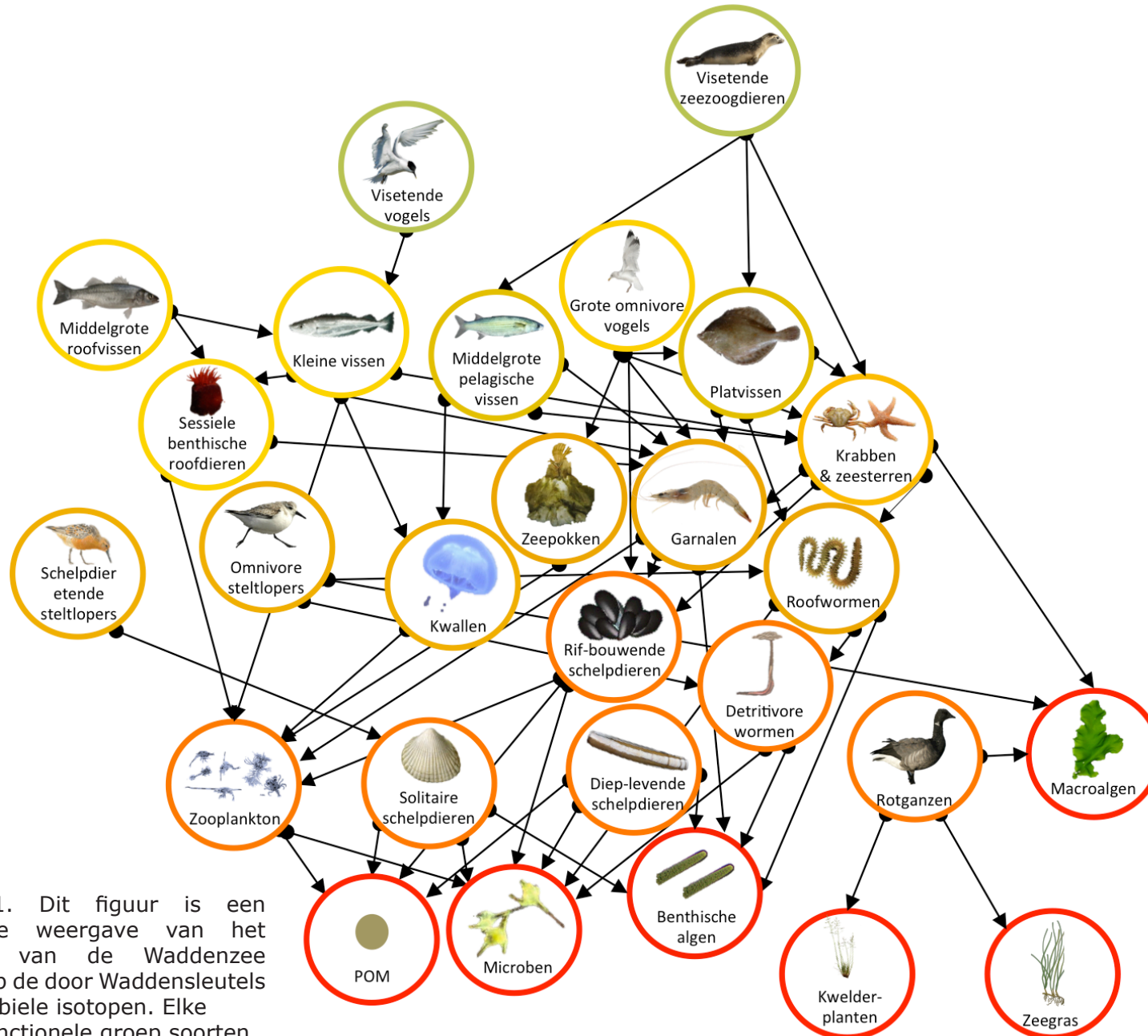
6.4. Benthische bijdrage van verschillende soorten

	Soortnaam Latijn	Soortnaam Nederlands	Benthische bijdrage	se	N	
Wormen	<i>Alitta succinea</i>	Ambergele zeeduizendpoot	65%	± 12	21	
	<i>Eteone longa</i>	Eteone	> 95%	± 9	33	
	<i>Nephtys hombergii</i>	Zandzager	> 95%	± 13	17	
	<i>Lanice conchilega</i>	Schelpkokerworm	6%	± 9	32	
	<i>Heteromastus filiformis</i>	Rode draadworm	34%	± 14	19	
	<i>Hediste diversicolor</i>	Veelkleurige zeeduizendpoot	89%	± 5	120	
	<i>Arenicola marina</i>	Wadpier	79%	± 5	95	
	<i>Bylgides sarsi</i>	Grote zeerups	77%	± 17	15	
	<i>Marenzelleria viridis</i>	Amerikaanse spionide	14%	± 17	11	
	<i>Scoloplos armiger</i>	Wapenworm	81%	± 6	78	
	Schelpdieren	<i>Balanus crenatus</i>	Zeepok	29%	± 5	72
		<i>Ensis directus</i>	Amerikaanse zwaardschede	14%	± 8	53
<i>Mya arenaria</i>		Strandgaper	32%	± 7	43	
<i>Mytilus edulis</i>		Mossel	13%	± 3	247	
<i>Crepidula fornicata</i>		Muiltje	34%	± 5	34	
<i>Hydrobia ulvae</i>		Wadslakje	85%	± 5	120	
<i>Lepidochitona cinerea</i>		Keverslak	> 95%	± 10	13	
<i>Littorina littorea</i>		Alikruik	> 95%	± 6	34	
<i>Macoma balthica</i>		Nonnetje	89%	± 5	139	
<i>Abra tenuis</i>		Tere dunschaal	> 95%	± 7	13	
<i>Cerastoderma edule</i>		Kokkel	< 5%	± 2	346	
<i>Scrobicularia plana</i>		Platte slijkschelp	95%	± 17	15	
<i>Crassostrea gigas</i>		Oester	34%	± 8	36	
Kreeftachtigen		<i>Carcinus maenas</i>	Strandkrab	> 95%	± 2	918
	<i>Hemigrapsus takanoi</i>	Penseelkrab	81%	± 12	22	
	<i>Liocarcinus holsatus</i>	Zwemkrab	35%	± 6	99	
	<i>Corophium sp</i>	Slijkgarnaal	< 5%	± 17	15	
	<i>Crangon crangon</i>	Gewone garnaal	> 95%	± 3	262	
	<i>Gammarus sp</i>	Vlokreeft	77%	± 7	37	
	<i>Gastrosaccus spinifer</i>	Aasgarnaal	< 5%	± 7	15	
	<i>Palaemon elegans</i>	Gewone steurgarnaal	57%	± 6	67	
	<i>Praunus flexuosus</i>	Geknikte aasgarnaal	> 95%	± 7	70	
	<i>Urothoe poseidonis</i>	Bulldozerkreeftje	> 95%	± 8	37	

	Soortnaam Latijn	Soortnaam Nederlands	Benthische bijdrage	se	N	
Stekelhuidigen	<i>Asterias rubens</i>	Zeester	67%	± 7	66	
	<i>Actiniaria sp</i>	Anemoon sp	22%	± 6	40	
Kwallen	<i>Chrysaora hysoscella</i>	Kompaskwal	< 5%	± 10	36	
	<i>Pleurobrachia pileus</i>	Ribkwal	46%	± 10	38	
Vissen	<i>Limanda limanda</i>	Schar	43%	± 5	26	
	<i>Platichthys flesus</i>	Bot	87%	± 5	135	
	<i>Pleuronectes platessa</i>	Schol	92%	± 4	178	
	<i>Solea solea</i>	Tong	> 95%	± 9	41	
	<i>Belone belone</i>	Geep	39%	± 7	18	
	<i>Chelon labrosus</i>	Diklipharder	76%	± 5	133	
	<i>Dicentrarchus labrax</i>	Zeebaars	72%	± 5	120	
	<i>Gadus morhua</i>	Kabeljauw	83%	± 4	28	
	<i>Merlangius merlangus</i>	Wijting	52%	± 4	89	
	<i>Agonus cataphractus</i>	Harnasmannetje	67%	± 8	17	
	<i>Ammodytes tobianus</i>	Zandspiering	34%	± 5	31	
	<i>Ciliata mustela</i>	Vijfdradige Meun	65%	± 6	48	
	<i>Clupea harengus</i>	Haring	16%	± 2	234	
	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	Zandspiering	< 5%	± 4	90	
	<i>Gobius sp</i>	Dikkopje	> 95%	± 4	93	
	<i>Liparis liparis</i>	Slakdolf	77%	± 5	56	
	<i>Myoxocephalus scorpius</i>	Zeedonderpad	> 95%	± 9	30	
	<i>Osmerus eperlanus</i>	Spiering	58%	± 4	141	
	<i>Pholis gunnellus</i>	Botervis	47%	± 5	18	
	<i>Pomatoschistus microps</i>	Brakwatergrondel	85%	± 8	47	
	<i>Pomatoschistus minutus</i>	Dikkopje	66%	± 3	131	
	<i>Syngnathus rostellatus</i>	Kleine Zeenaald	38%	± 2	138	
	<i>Trigla lucerna</i>	Rode poon	> 95%	± 14	20	
	<i>Zoarces viviparus</i>	Puitaal	82%	± 5	38	
	Vogels	<i>Platalea leucorodia</i>	Lepelaar	53%	± 4	131
		<i>Calidris canutus</i>	Kanoet strandloper	50%	± 14	17
		<i>Calidris alpina</i>	Bonte strandloper	89%	± 13	43
	Zoogdieren	<i>Phoca vitulina</i>	Gewone zeehond	91%	± 6	40

Tabel 6.1. Overzicht van het percentage energie afkomstig uit primaire productie door benthische algen van een selectie veel voorkomende soorten in de waddenzee. N= aantal samples geanalyseerd. Dikgedrukt de soorten die voor meer dan 50% afhankelijk zijn van benthische productie.

6.5. Voedselweb van de Nederlandse Waddenzee op basis van de verzamelde isotoopmonsters



Figuur 6.11. Dit figuur is een schematische weergave van het voedselweb van de Waddenzee gebaseerd op de door Waddensleutels gemeten stabiele isotopen. Elke bol is een functionele groep soorten.



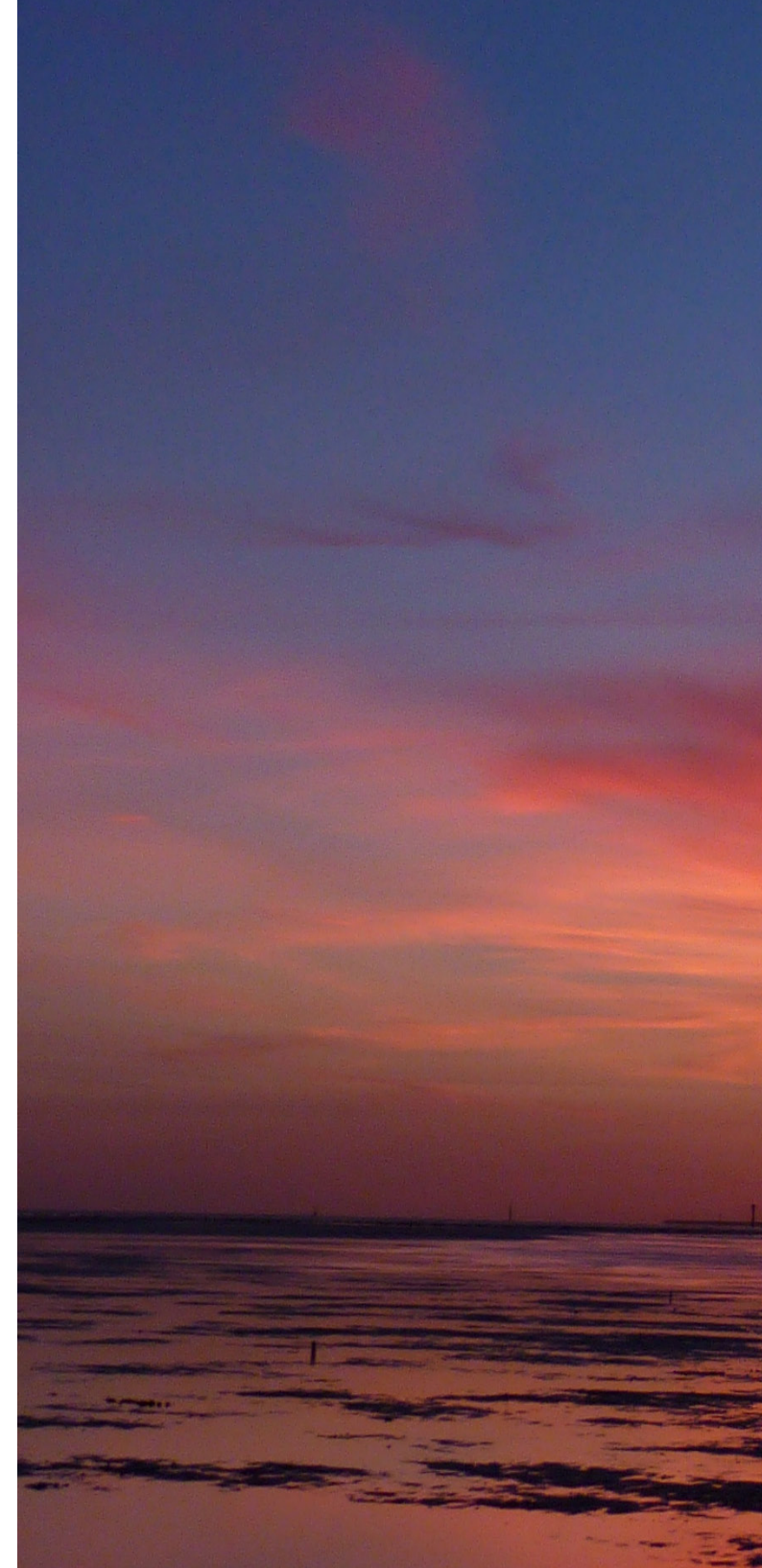
7. Conclusie en aanbevelingen

De overheid heeft met het Uitvoeringsprogramma Waddenzee vastgelegd dat we uiterlijk 2026 weer een rijke Waddenzee moeten hebben, met mosselbanken en zeegrasvelden, én met een 'volledig' voedselweb (Fig. 5.2 en 5.3) met een stevige basis en een diversiteit aan toppredatoren bovenaan de voedselketen. Het doel is helder, maar de weg ernaartoe heeft iedereen minder scherp voor ogen en dit lijkt geen gemakkelijke opgave.

Waddensleutels heeft laten zien dat natuurherstel inzicht vereist in het hele systeem van de Waddenzee. Dit systeem met haar wadplaten en geulen wordt, in tegenstelling tot bijvoorbeeld duinen of kwelders, nog slecht begrepen. Dit is opmerkelijk, zeker gezien de natuurwaarde van de Waddenzee en de wereldwijde erkenning van de waarde van het (Nederlandse) wadengebied.

De Waddenzee staat op de Werelderfgoedlijst, is aangewezen als Natura 2000 gebied en valt onder de Kaderrichtlijn Water en de Vogel- en habitatrichtlijn. Volgens beide systemen van regelgeving zijn er op dit moment grote zorgen over de mate van instandhouding en kwaliteit van het gebied. En de beschikbare kennis over natuurherstel in het wadengebied is ruimschoots minder dan die over andere ecosystemen zoals beekdalen of veengebieden.

Daarom hebben we binnen Waddensleutels geprobeerd om vanuit de basis van het ecosysteem te kijken naar de mogelijkheden voor natuurherstel, waarbij natuurbeschermers hand in hand met wetenschappers door middel van innovatief en experimenteel onderzoek werken aan de basis voor natuurherstel, op naar een rijke Waddenzee.







Wij hebben geconcludeerd dat er voor een gezond voedselweb een brede basis nodig is, waar onder andere biobouwende mossels onderdeel van zijn. Deze biobouwers hebben zo'n positief effect op het lokale voedselweb dat er tot 40% meer soorten te vinden zijn op en rondom mosselbanken dan daarbuiten op de kale wadplaten.

Om de mogelijkheden te verkennen voor actief herstel van deze waardevolle (droogvallende) mosselbanken zijn binnen Waddensleutels een aantal experimenten gedaan. Hierbij is geëxperimenteerd met verschillende schalen en materialen (van kokosmat tot ploeg en paard). Uit deze experimenten hebben we geleerd dat ondergedoken (sublitorale) mossels niet geschikt zijn voor het herstel van droogvallende mossels en dan ze in een grootschalig experiment binnen 200 dagen allemaal zijn weggespoeld. Aanvullend onderzoek heeft aangetoond dat dit komt omdat ze zich minder goed hechten doordat ze 2,5 keer zo'n zwakke bysusdraden hebben (waarmee ze zich hechten) en ze hebben een 3,5 keer lichtere schelp dan droogvallende mossels, waardoor ze minder goed bestand zijn tegen stroming en golven.

Daarnaast is het voor schelpdierlarven erg moeilijk om op te groeien in de Waddenzee. In een ander aanvullend experiment hebben wij kunnen laten zien dat vooral garnalen bijna al het schelpdierbroed in een vroeg stadium opeten. Naast het uitsluiten van predatoren bleek het aanbieden van een hard substraat positief te werken voor mosselbroed dat zich aan het substraat (kokosmat of mossels) kon hechten. Onze algemene conclusie is dus dat het momenteel erg moeilijk om actief droogvallende mosselbanken aan te leggen en dus moet de focus liggen op de bescherming en het behoud van de huidige locaties voor droogvallende mosselbanken.

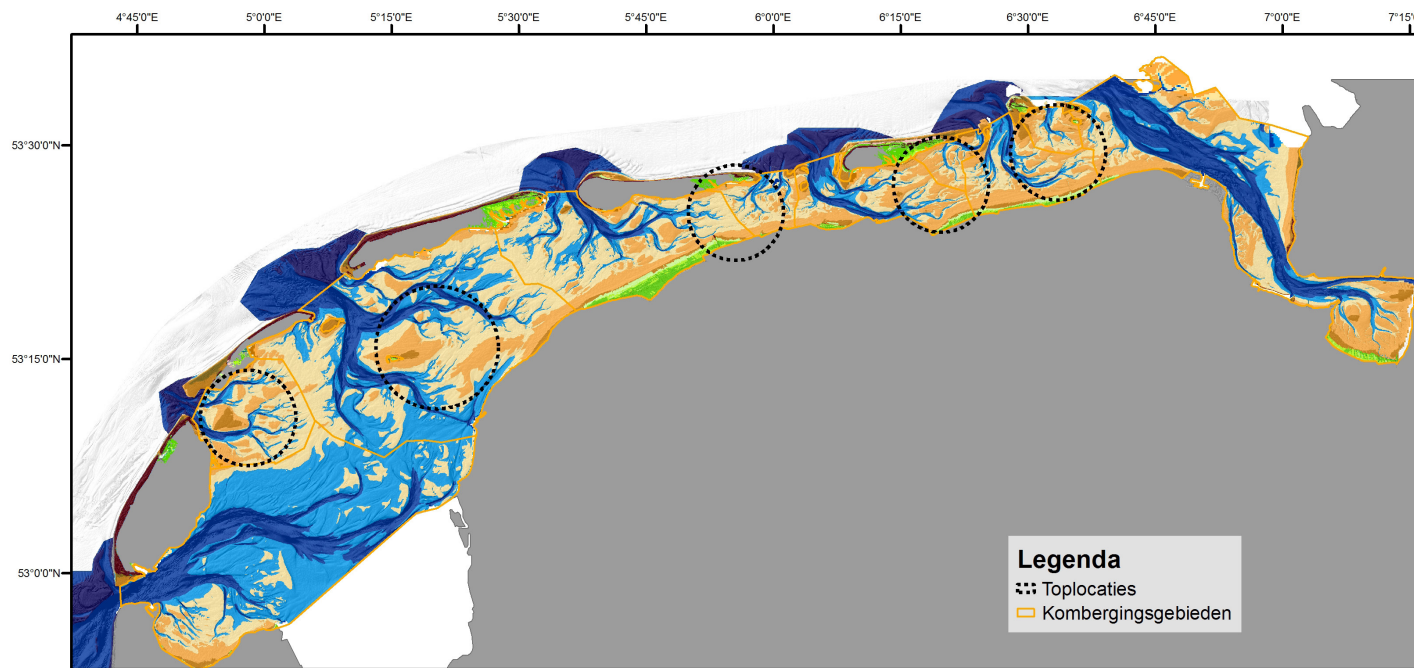
Het tweede doel van Waddensleutels was om meer inzicht te krijgen in het huidige voedselweb van de om het functioneren van de Waddenzee beter te kunnen begrijpen. Hiervoor zijn 12.000 monsters genomen van uiteenlopende organismen, zoals kiezelwieren op de wadplaat tot vogels, en van bodemdieren tot zeehonden. Van al deze monsters is de isotoopsamenstelling geanalyseerd om zo het voedselweb in kaart te brengen. Hiervoor is gebruik gemaakt van een voor dit project aangeschafte isotoop-ratio massa spectrometer. Naast bestaande methoden zijn er ook nieuwe methoden ontwikkeld. Bijvoorbeeld een methode om door gebruik te maken van de isotoopwaarden verschillende aminozuren in een organisme, de plek van dat organisme in het voedselweb vast te stellen. Technieken die nu nog in de kinderschoenen staan maar doorontwikkeld kunnen worden. Uiteindelijk hebben we een zo compleet mogelijke voorstelling van het huidige voedselweb van de waddenzee kunnen maken (Fig. 6.11). Onze analyses hebben ook laten zien dat het voedselweb op een mosselbank complexer is dan die op een zandplaat, waarbij er vooral meer connecties zijn tussen de soorten (Fig. 5.8).

Door de isotoopanalyses is het duidelijk geworden wat het enorme belang van kiezelwieren in het voedselweb is. Direct of indirect is 75% van de energie die omgaat in het voedselweb afhankelijk van deze eencellige bentische algen. Verder valt het op dat er (nog maar) weinig toppredatoren zijn. Als er in een voedselweb veel soorten zijn en veel verbindingen tussen soorten zal deze minder snel instorten wanneer er soorten verdwijnen. Op een mosselbank is het voedselweb dus robuuster. Een schematische weergave van het voedselweb van de Waddenzee is te vinden in figuur 6.11 waarbij elke bol staat voor een functionele groep.

Tot slot concluderen we dat in de Waddenzee alles met elkaar samen hangt. Mosselbanken verrijken hun omgeving, kwelderkreken en ondiepe geulen vormen kraamkamers voor vissen en wadplaten blijken cruciaal voor vogels hoger in de voedselketen. De meeste processen spelen zich af op een grote ruimtelijke schaal, waarbij alles met elkaar samenhangt en waarbij gebieden sterk met elkaar verbonden zijn. Duidelijk is geworden dat om de 2026-doelen te halen, er GROOT (op grote schaal) gedacht moet worden. Minstens op de schaal van kombergingen, maar liever nog Waddenzeebreed. Hiertoe bieden wij handvatten, in de vorm van het aanwijzen van een aantal gebieden in de Waddenzee die in het oog springen door de plaatselijke hoge dichtheid en diversiteit aan bodemleven, hoge vogelrijkdom, kansrijke locaties voor schelpdiebanen en verschillende ecotopen.

Deze toplocaties zijn weergegeven in figuur 7.1.

De meeste van de kaarten in dit rapport zijn ook online te vinden of te maken. Hiervoor is een speciale webapplicatie opgezet. Deze is te vinden op: **www.waddensleutels.nl**. Hier kunnen verschillende kaartlagen als ecotopen, sedimenttypen, schelpdierbanken, visserijdruk, Waddensleutels toplocaties, historische zeekaart en vele andere kaartlagen aan of uit, boven of onder elkaar weergegeven worden, vergroot en eventueel bewaard.



Figuur 7.1. De toplocaties in de Nederlandse Waddenzee. Wat de toplocaties gemeen hebben, is hun nauwe band met de eilanden. Ze liggen dichtbij Vlieland, Griend, Ameland, Schiermonnikoog en de beide Rottums. Onder deze eilanden is er beschutting. De wind en getijde-energie komt overheersend uit het noordwesten, met alle golfslag en dynamiek van dien. Ten zuidwesten van de eilanden blijft het relatief rustig. Mosselbanken, wadvogels, wadpieren en andere soorten profiteren daarvan. De geanalyseerde toplocaties gaan alleen de droogvallende wadplaten aan. De vijf toplocaties zijn niet alleen rijk aan biomassa, maar ook kansrijk. Ze staan te boek als de beste locaties voor droogvallende schelpdierbanken en zeegrasvelden.



8. Referenties

Bouma, H., de Jong, D. J., Twisk, F. & K. Wolfstein. 2005. Zoute wateren EcotopenStelsel (ZES.1). Voor het in kaart brengen van het potentiële voorkomen van levensgemeenschappen in zoute en brakke rijkswateren. Rapport RIKZ/2005.024.

Brinkman A. G., T. Bult, N. Dankers, A. Meijboom, D. den Os, M. R. van Stralen, J. de Vlas 2003. Mosselbanken kenmerken, oppervlaktebepaling en beoordeling van stabiliteit. Alterra rapport 707.

Bruyne, R.H. de & Boer, Th.W. de, 2008, Schelpen van de Waddeneilanden, Fontaine Uitgevers. 359 pp, ISBN 9789059562554.

Compton, T. J., Holthuijsen, S., Koolhaas, A., Dekinga, A., ten Horn, J., Smith, J., Galama, Y., Brugge, M., van der Wal, D., van der Meer, J., van der Veer, H.W. & T. Piersma. 2013. Distinctly variable mudscapes: Distribution gradients of intertidal macrofauna across the Dutch Wadden Sea, *Journal of Sea Research* 82: 103-116.

Craeymeersch, J. A., Baars, D., Brummelhuis, E., Bult, T. P., Kesteloo, J. J. & J. Perdon. 2004. Handboek bestandsopnamen en routinematige bemonstering van schelpdieren. CVO rapport CVO 04.004.

Dankers, N., Cremer, J., Dijkman, E., Brasseur, S., Dijkema, K., Fey, F., de Jong, M. & C. Smit. 2006. Ecologische atlas Waddenzee. Wageningen IMARES.

Dijkema, K.S., G. van Tienen & J.G. van Beek 1989. Habitats of the Netherlands, German and Danish Wadden Sea 1:100,000. Veth Foundation/Research Institute for Nature Management, Texel. 24 maps + 6 p

Dijkema, K.S. 1991. Towards a habitat map of the Netherlands, German and Danish Wadden Sea. *Ocean and Shoreline Management* 16: 1-21.

Duran-Matute, M., T. Gerkema, G.J. de Boer, J.J. Nauw & U. Gräwe, 2014, Residual circulation and freshwater transport in the Dutch Wadden Sea: a numerical modelling study. *Ocean Sci.*, 10, 611-632

Fonseca, M.S. & J. A. Cahalan. 1992. A preliminary evaluation of wave attenuation by 4 species of seagrass. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 35: 565-576.

Gogina, Mayya, Michael Glockzin, and Michael L. Zettler, 2010, Distribution of benthic macrofaunal communities in the western Baltic Sea with regard to near-bottom environmental parameters. 2. Modelling and prediction, *Journal of Marine Systems* 80.1, 57-70.

Hartmann-Schröder, G., 1996, Annelida, Borstenwürmer, Polychaeta [Annelida, bristleworms, Polychaeta]. 2nd revised ed. The fauna of Germany and adjacent seas with their characteristics and ecology, Gustav Fischer: Jena, Germany, 648 pp, ISBN 3437350382.

Hayward, P.J. (Editor) & Ryland J.S. (Editor), 1995, Handbook of the Marine Fauna of North-West Europe, Oxford University Press, 816 pp, ISBN: 9780198540557.

Heck, K.L., G. Hays, en R.J. Orth. 2003. Critical evaluation of the nursery role hypothesis for seagrass meadows. *Marine Ecology Progress Series* 253: 123-136.

Holtmann, S.E.; Groenewold, A.; Schrader, K.H.M.; Asjes, J.; Craeymeersch, J.A.; Duineveld, G.C.A.; van Bostelen, A.J.; van der Meer, J., 1996, Atlas of the zoobenthos of the Dutch continental shelf, Ministry of Transport, Public Works and Water, 243 pp, ISBN 9036943019.

Klein Breteler, W.C.M. 1976. Migration of the shore crab, *Carcinus maenas*, in the Dutch Wadden Sea. *Neth. J. Sea Res.* 10: 338-353

de Lange, H.J. 2007. Ecologische basiskaarten Noordzee, Waddenzee, Oosterschelde en Westerschelde, ten behoeve van advisering bij crisismanagement. Wageningen, Alterra, Alterra rapport 1566.

Markert, A., Wehrmann, A., Kröncke, I. 2010. Recently established *Crassostrea*-reefs versus native *Mytilus*-beds: differences in ecosystem engineering affects the macrofaunal communities (Wadden Sea of Lower Saxony, southern German Bight). *Biological Invasions* 12: 15-32.

Norling, P. & N. Kautsky. 2007. Structural and functional effects of *Mytilus edulis* on diversity of associated species and ecosystem functioning. *Mar Ecol Prog Ser* 351:163-175

Rabaut, M., Guilini, K., Van Hoey, G., Vincx, M., & Degraer, S., 2007, A bio-engineered soft-bottom environment: the impact of *Lanice conchilega* on the benthic species-specific densities and community structure, *Estuarine, coastal and shelf Science*, 75(4), 525-536.

Ray, G. C., McCormick-Ray, J., Berg, P., & Epstein, H. E., 2006, Pacific walrus: benthic bioturbator of Beringia, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 330(1), 403-419.

Perluka, R., Wiegmann, E. B., Jordans, R. W. L. & L. M. Th. Swart. 2006. Opname technieken Waddenzee. AGI Rijkswaterstaat. AGI-2006-GPMP-004.

Polte, P., A. Schanz, en H. Asmus. 2005. The contribution of seagrass beds (*Zostera noltii*) to the function of tidal flats as a juvenile habitat for dominant, mobile epibenthos in the Wadden Sea. *Marine Biology* 147: 813-822.

Orth, R. J., Heck, K. L. & J. VanMontfrans. 1984. Faunal communities in seagrass beds - a review of the influence of plant structure and prey characteristics on predator prey relationships. *Estuaries* 7: 339-350.

Rappoldt, C. & B. J. Ens. 2011. Het effect van bodemdaling op het aantal scholeksters dat kan overwinteren in de Waddenzee. Exploratieve berekeningen met het model WEBTICS. EcoCurves rapport 12, ISSN 1872-5449. SOVON-onderzoeksrapport 2011/05, ISSN 1382-6271.

Troost, K., M. van Stralen, C. van Zweeden, B. Brinkman, 2015, Twintig jaar bestandsopnamen van schelpdieren in de Waddenzee. IMARES rapport C062/15

Vanaverbeke J., U. Braeckman, S. Claus, W. Courtens, N. De Hauwere, S. Degraer, K. Deneudt, A. Goffin, J. Mees, B. Merckx, P. Provoost, M. Rabaut, K. Soetaert E. Stienen and M. Vincx, 2009, Analysis of long-term data from the Belgian Continental Shelf in the framework of science-based management of the coastal North Sea, Workshop Report WestBanks, Oostende 29/10-31/10/2008.

Van Leeuwen, A., Postma, T.A.C, Leopold, M.F., & M.J.N. Bergman. 1994. De ecologie van de kustzone van Ameland tot Borkum, NIOZ, rapport 1994-4, 100 pag.

van der Zee, E. M., van der Heide, T., Donadi, S., Eklof, J. S., Eriksson, B.K., Olf, H., van der Veer, H. W. & T. Piersma. 2012. Spatially extended habitat modification by intertidal reef-building bivalves has implications for consumer resource interactions. *Ecosystems* 15: 664-673.

Wiegmann, N., Perluka, R., Oude Elberink, S., Vogelzang, J. 2005. Vaklodgingen: de inwintertechnieken en hun combinaties. Vergelijking tussen verschillende inwintertechnieken en de combinaties ervan. AGI Rijkswaterstaat. AGI-2005-GSMH-012.

Zegers, S.J.H., 2012. Gedrag vaarrecreanten op de Waddenzee. Grontmij rapport GM-0050225.

[www.ecomare.nl](http://ecomare.nl)
<http://eol.org>
<http://marinebio.org/>
www.marlin.ac.uk
www.marinespecies.org
<http://opendap.deltares.nl>
www.waterbase.nl

Foto's

Oscar Bos

<http://aaltojenalla.fi>

Marjolijn Christianen

<http://commons.wikimedia.org>

Bram Fey

www.glaucus.org.uk

Tjisse van der Heide

<http://www.habitas.org.uk>

Sander Holthuijsen

www.murre.nl

Jolanda van Iperen

<http://media.eol.org>

Dick Kramer

<http://naturalhistory.museumwales.ac.uk>

Helene de Paoli

<http://www.rijkwaddenzee.nl>

Bernard Picton

<http://scheldeschorren.be>

Kees van de Veen

www.thomas-brey.de

Fred Wiering

Waddensleutels publicaties

Tjisse van der Heide, Elske Tielens, Els M. van der Zee, Ellen J. Weerman, Sander Holthuijsen, Britas Klemens Eriksson, Theunis Piersma, Johan van de Koppel, Han Oloff, Predation and habitat modification synergistically interact to control bivalve recruitment on intertidal mudflats, *Biological Conservation*, Volume 172, April 2014, Pages 163-169, ISSN 0006-3207

Hélène de Paoli, Johan van de Koppel, Els van der Zee, Arno Kangeri, Jim van Belzen, Sander Holthuijsen, Aniek van den Berg, Peter Herman, Han Oloff, Tjisse van der Heide, Processes limiting mussel bed restoration in the Wadden-Sea, *Journal of Sea Research*, Volume 103, September 2015, Pages 42-49, ISSN 1385-1101

Elisabeth Svensson, Vânia Freitas, Stefan Schouten, Jack J. Middelburg, Henk W. van der Veer, Jaap S. Sinninghe Damsté, Comparison of the stable carbon and nitrogen isotopic values of gill and white muscle tissue of fish, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, Volume 457, August 2014, Pages 173-179, ISSN 0022-0981

Els M. van der Zee, Elske Tielens, Sander Holthuijsen, Serena Donadi, Britas Klemens Eriksson, Henk W. van der Veer, Theunis Piersma, Han Oloff, Tjisse van der Heide, Habitat modification drives benthic trophic diversity in an intertidal soft-bottom ecosystem, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, Volume 465, April 2015, Pages 41-48, ISSN 0022-0981



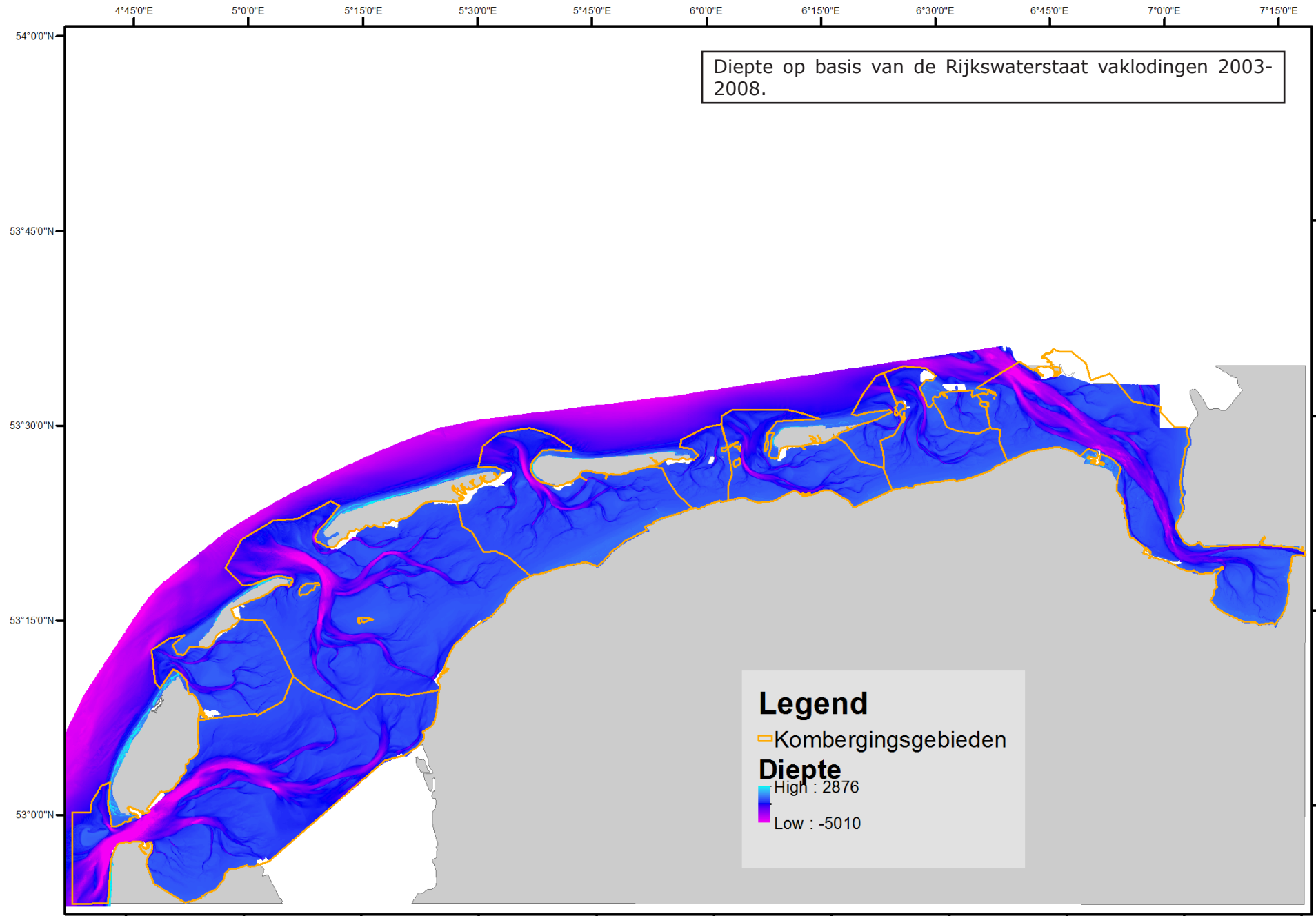
Bijlagen

In de bijlagen zijn een aantal kaarten opgenomen die als achtergrond voor de ecotopenkaart hebben gediend. Ook zijn ze gebruikt voor het aanwijzen van de Toplocaties.

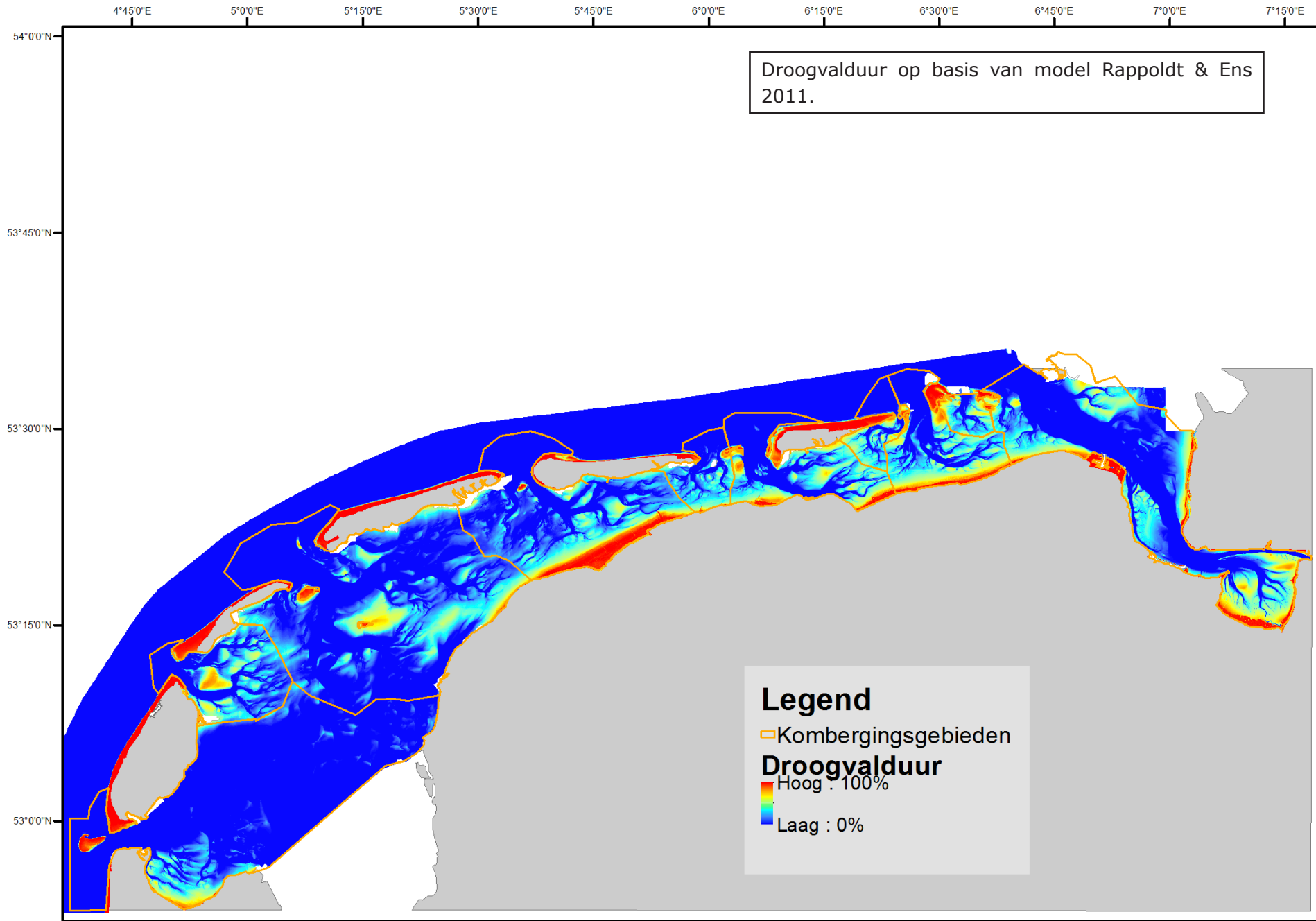
Dit zijn kaarten met abiotiek, zoals diepte, sedimentsamenstelling en droogvalduur.

Maar ook kaarten waarin het menselijk gebruik van de Waddenzee is weergegeven, bijvoorbeeld vaarwegen, handkokkelgebieden, MZI's en garnalenvisserij intensiteit.

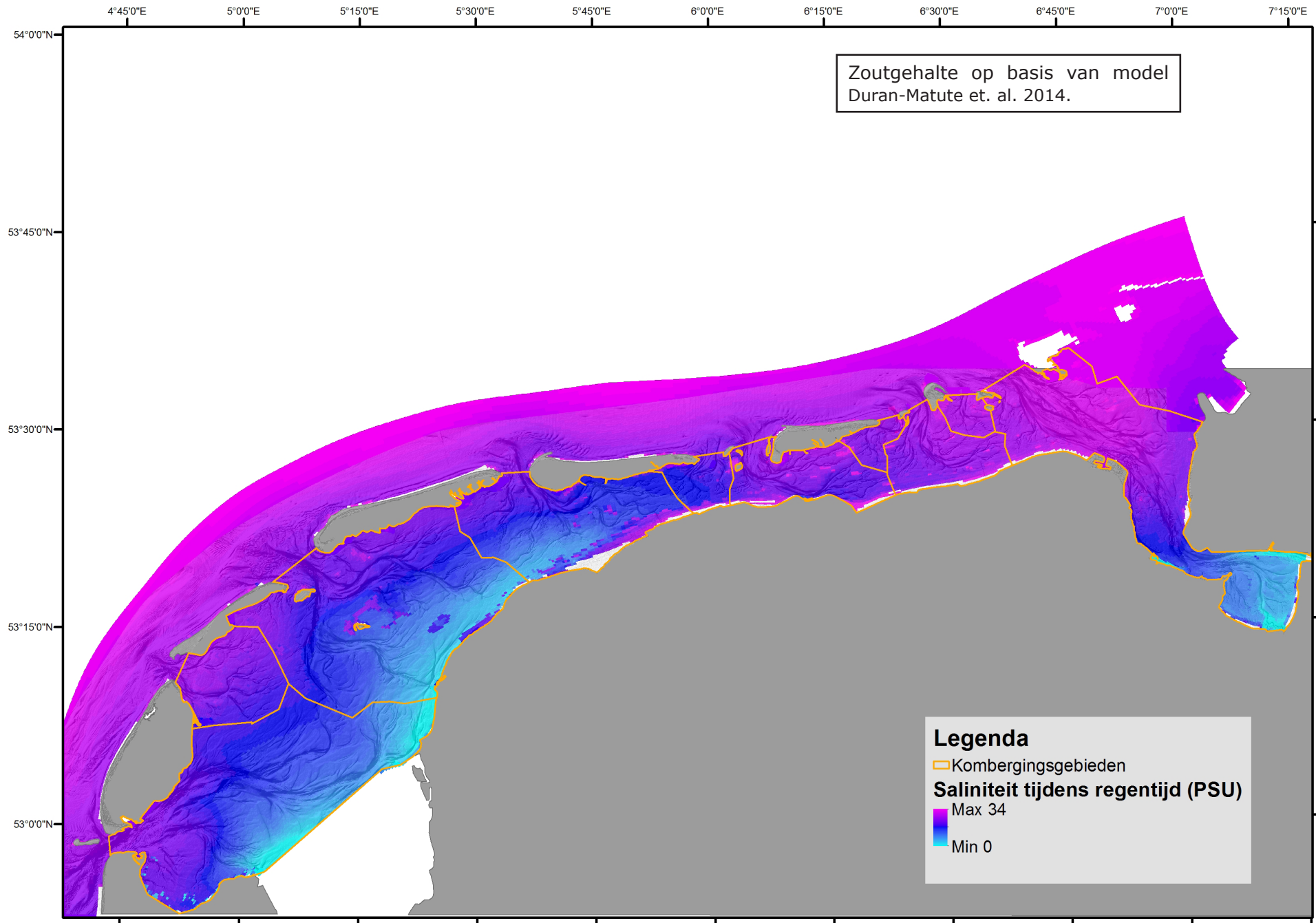
Diepte



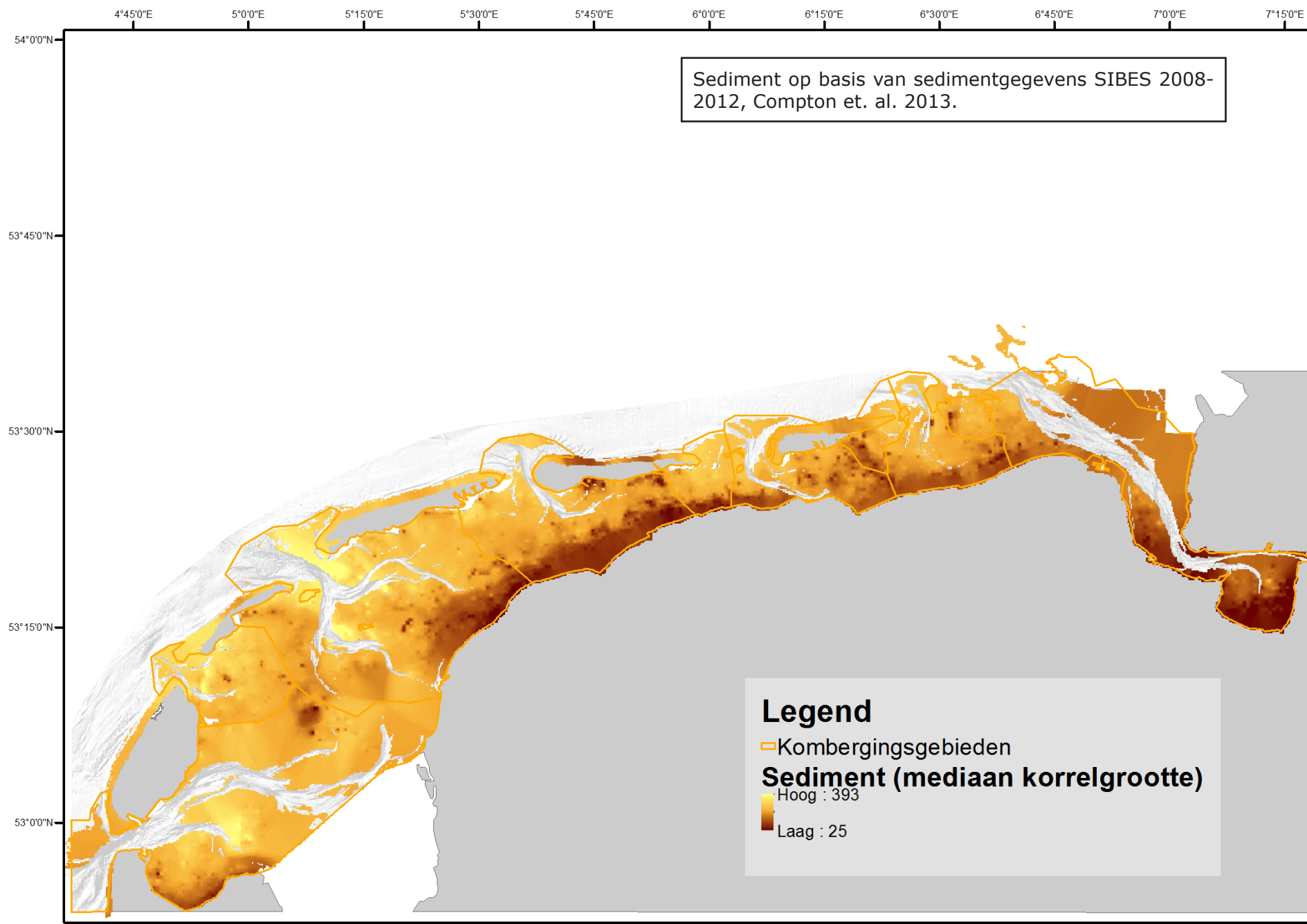
Droogvalduur



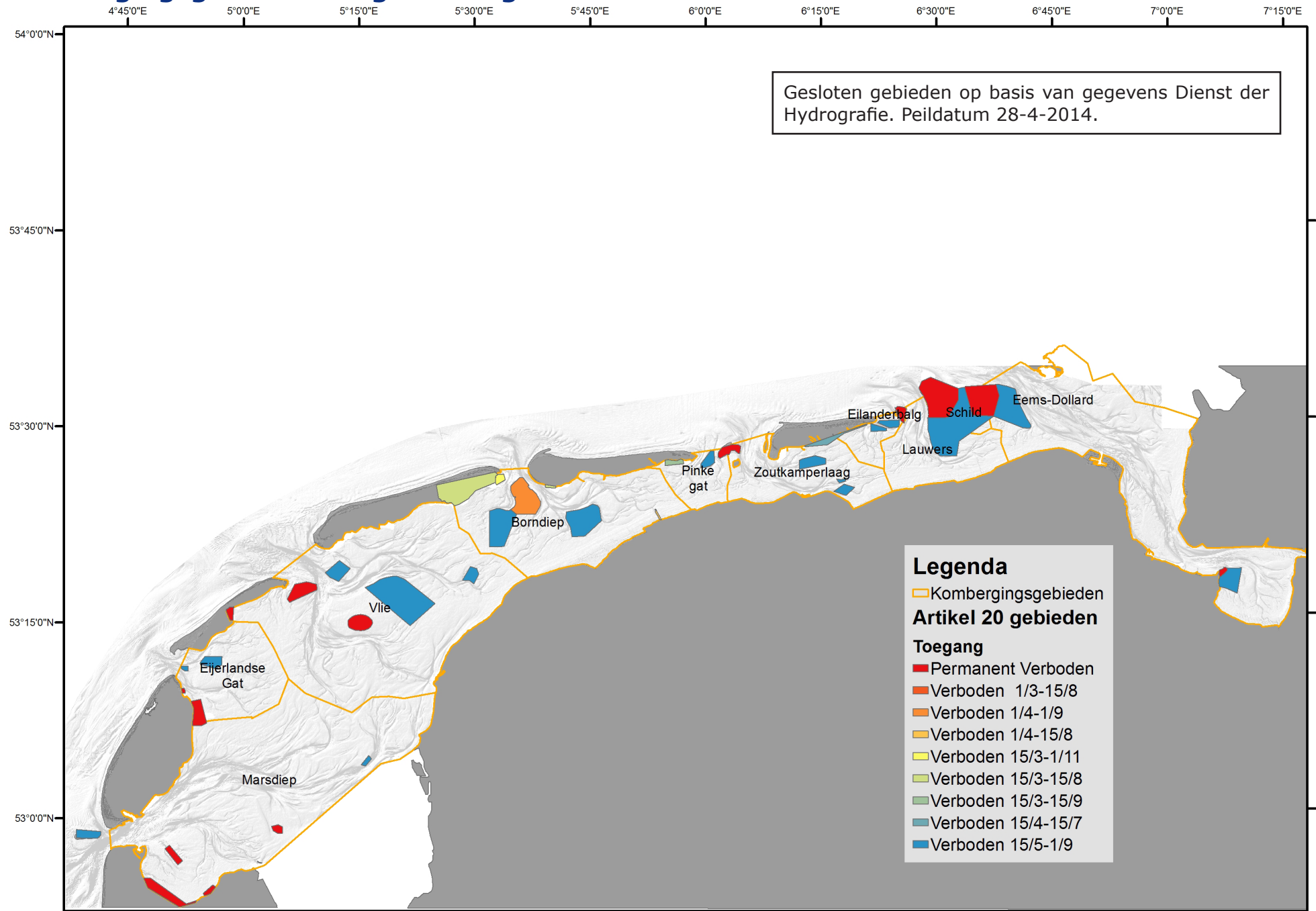
Zoutgehalte



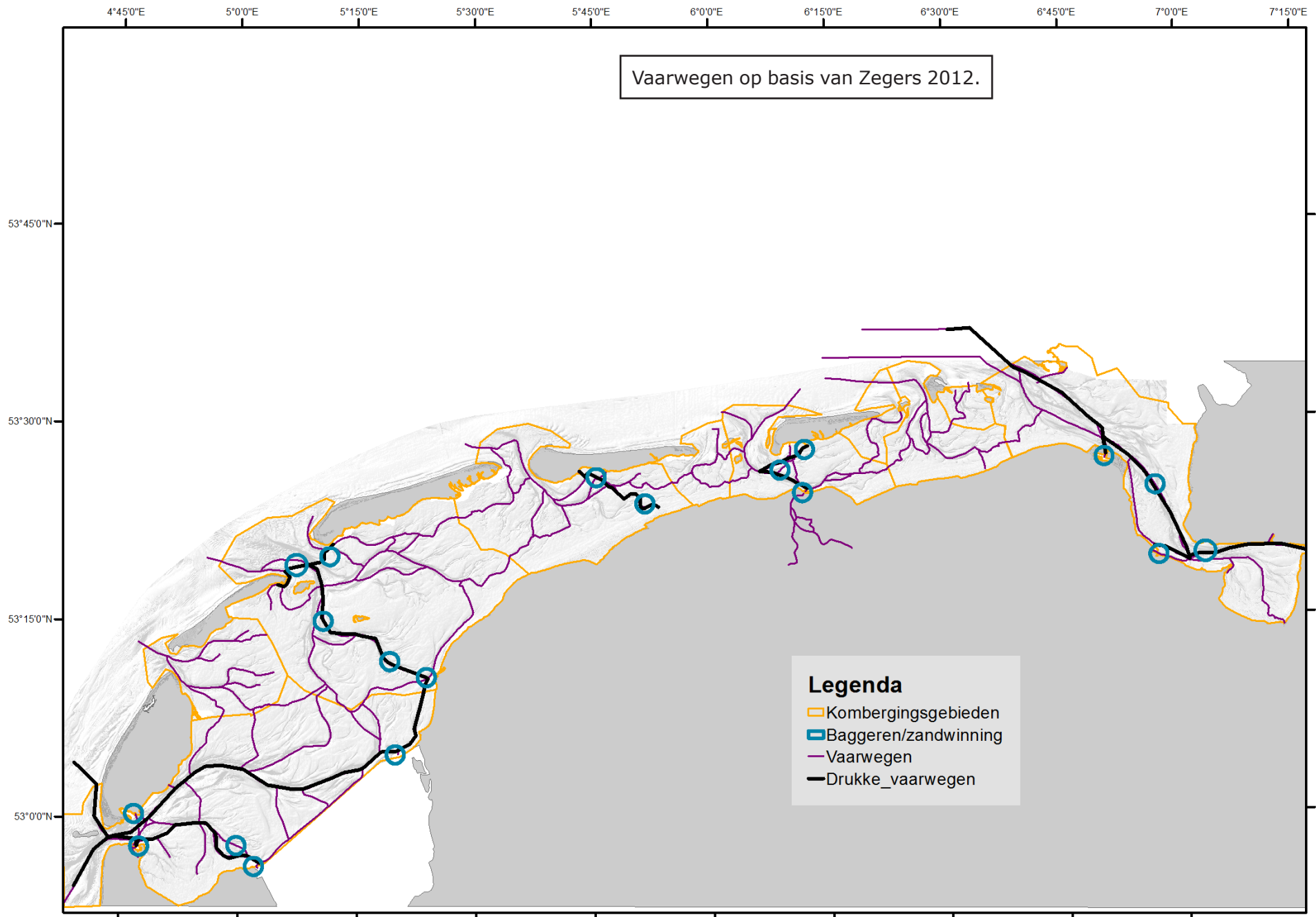
Korrelgrootte van het sediment



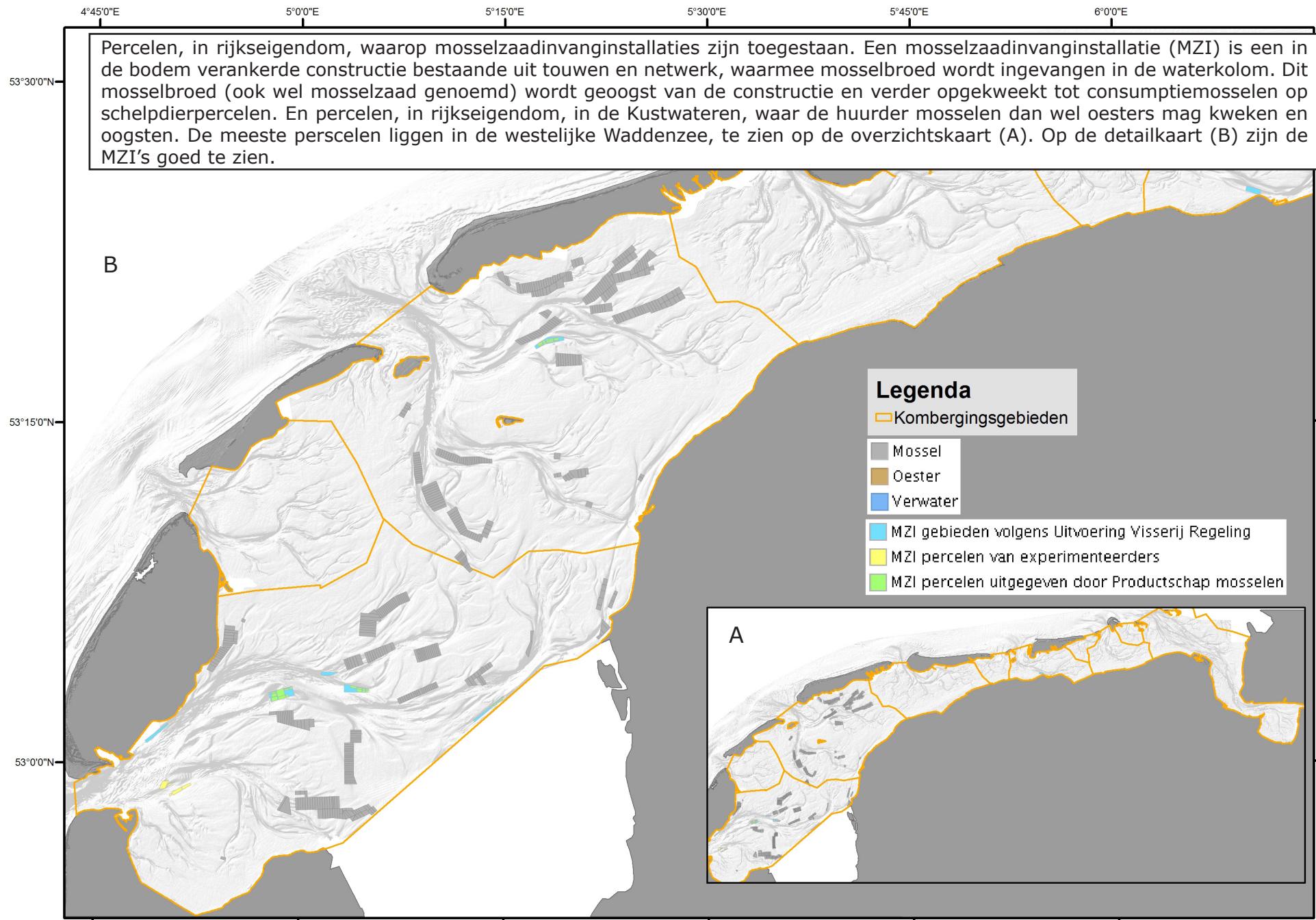
Kombergingsgebieden en gesloten gebieden



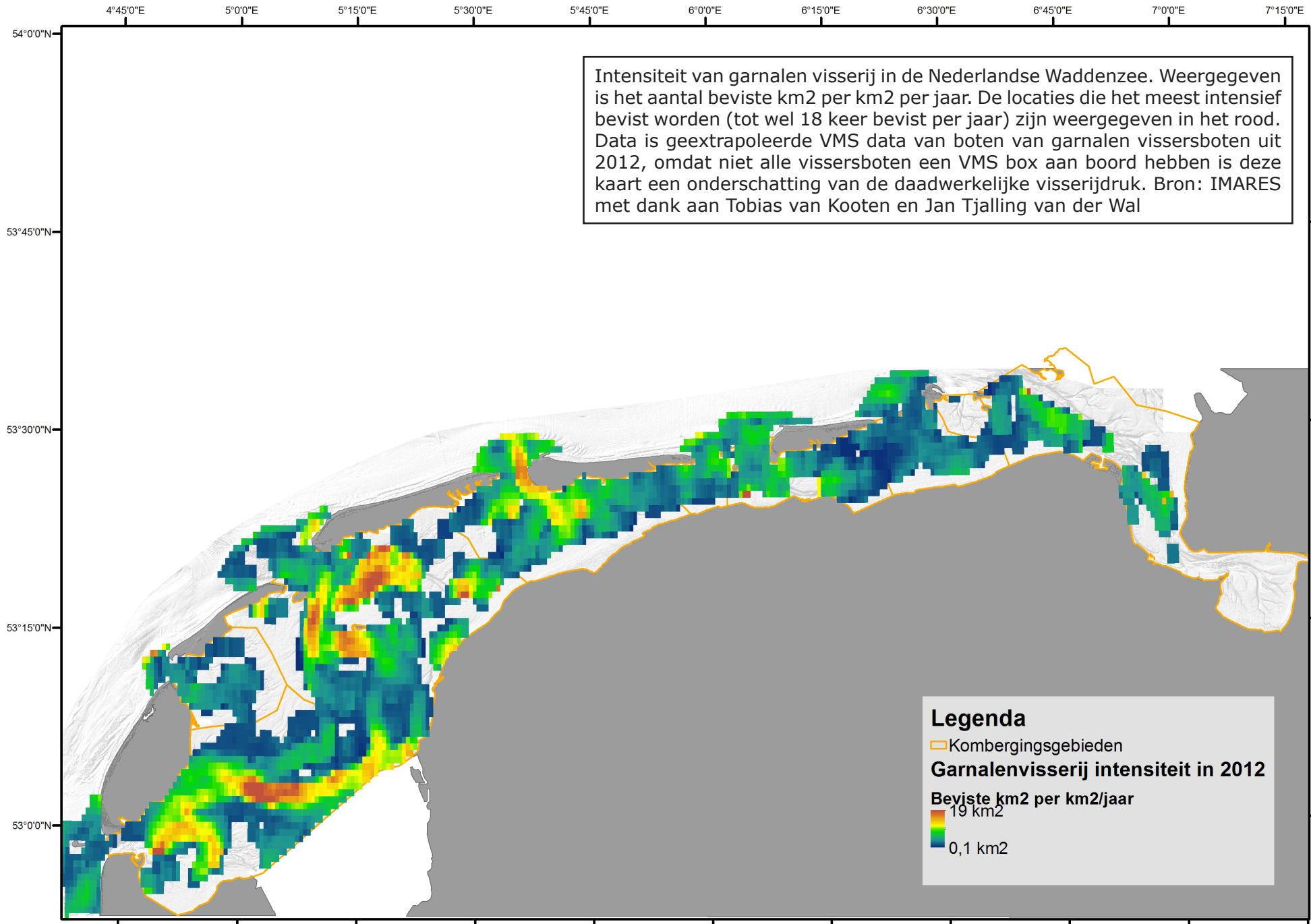
Vaarwegen



MZI locaties en kweekpercelen



Intensiteit garnalenvisserij



Handkokkelgebieden

