



Ecologisch perspectief hydromorfologische verbetering Eems-Dollard 2050

Beoordeling van het streefbeeld voor de Eems-Dollard voor zes hydromorfologische maatregelrichtingen

Auteur: M.J. Baptist

Wageningen University &
Research Rapport C087/17

Ecologisch perspectief hydromorfologische verbetering Eems-Dollard 2050

Beoordeling van het streefbeeld voor de Eems-Dollard voor zes hydromorfologische maatregelrichtingen

Auteur(s): M.J. Baptist

Publicatiedatum: 1 december 2017

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Marine Research in opdracht van en gefinancierd door het Ministerie van Economische Zaken, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoekthema 'Natuurambitie Grote Wateren in de praktijk' met projectnummer BO-11-018.01.005 en aangevuld door het KennisDesk project BO-11 KD2017-113 EP ED 2050.

Wageningen Marine Research, Den Helder, december 2017

Wageningen Marine Research rapport C087/17

M.J. Baptist, 2017. Ecologisch perspectief hydromorfologische verbetering Eems-Dollard 2050; Beoordeling van het streefbeeld voor de Eems-Dollard voor zes hydromorfologische maatregelrichtingen. Wageningen Marine Research, Wageningen University & Research. WMR rapport C087/17.

Keywords: Eems-Dollard, ecotopen, habitats, hydromorfologie

Opdrachtgever: Ministerie van Economische Zaken
T.a.v.: Mevr. M. Datema
Postbus 20401
2500 EK Den Haag

BAS code BO-11-018.01.005

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/426901>
Wageningen Marine Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

Wageningen Marine Research Wageningen UR is ISO 9001:2008 gecertificeerd.

© 2016 Wageningen Marine Research Wageningen UR

Wageningen Marine Research, onderdeel
van Stichting Wageningen Research
KvK nr. 09098104,
IMARES BTW nr. NL 8113.83.696.B16.
Code BIC/SWIFT address: RABONL2U
IBAN code: NL 73 RABO 0373599285

De Directie van Wageningen Marine Research is niet aansprakelijk voor gevolgschade, noch voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van Wageningen Marine Research opdrachtgever vrijwaart Wageningen Marine Research van aanspraken van derden in verband met deze toepassing.
Dit rapport is vervaardigd op verzoek van de opdrachtgever hierboven aangegeven en is zijn eigendom. Niets uit dit rapport mag weergegeven en/of gepubliceerd worden, gefotokopieerd of op enige andere manier gebruikt worden zonder schriftelijke toestemming van de opdrachtgever.

Inhoud

Samenvatting	5
1 Inleiding	7
1.1 Vraagstelling	8
1.2 Plan van aanpak	8
1.3 Het streefbeeld Eems-Dollard 2050	9
1.3.1 Passende dimensies en natuurlijke dynamiek	10
1.3.2 Gezonde leefgebieden	10
1.3.3 Geleidelijke overgangen	10
1.3.4 Natuurlijk troebel	10
1.3.5 Voldoende voedsel aan de basis	10
1.4 Afbakening	11
1.5 Input voor de studie	12
2 Resultaten	15
2.1 Passende dimensies en natuurlijke dynamiek	15
2.1.1 Voldoende leefgebieden van goede kwaliteit voor vogels	15
2.1.2 Voldoende leefgebieden van goede kwaliteit voor vissen	29
2.1.3 Vorm en ligging van geulen, platen en slikken veranderen	35
2.1.4 Passende morfologische dimensies in het estuarium	36
2.1.5 Geleidelijke overgang tussen zoet rivierwater en zout zeewater	40
2.1.6 Geleidelijke overgangen tussen land en zee	41
2.2 Gezonde leefgebieden	44
2.2.1 Totale oppervlak Eems-Dollard neemt niet af	44
2.2.2 Geen vernauwingen door inpoldering, bedijking en afdamming	44
2.2.3 Oppervlak van zandplaten en slikken 50% van totaal	44
2.2.4 Dollard blijft groot brak en slibrijk laagdynamisch slikkengebied	46
2.2.5 Dollard heeft geen grote soortdiversiteit	46
2.2.6 Grote aantallen van nonnetje, bot, steur, zwarte ruit en kluut in Dollard	48
2.2.7 Hydromorfologisch gunstig voor zeegras en mosselen op Hond-Paap	49
2.2.8 Verdubbeling van het kwelderareaal van circa 5% naar 10%	50
2.2.9 Uitbreiding brakke kwelders in Dollard en zijrivieren	51
2.2.10 Kwelders gevarieerd, extensief begraasd	51
2.3 Geleidelijke overgangen	51
2.3.1 Geleidelijke overgangen tussen de zijwateren en het estuarium	51
2.3.2 Geen onnatuurlijk sterke schommelingen in zoutgehalte	51
2.4 Natuurlijk troebel	51
2.4.1 Troebelheid in middendeel is aanzienlijk minder dan nu	51
2.4.2 Laaggelegen gebieden waar slib kan bezinken	52
2.4.3 Minder hoge vloedstroomsnelheid de rivier op	52
2.4.4 Troebelheidsmaximum is lager en minder langgerekt	52
2.5 Voldoende voedsel aan de basis	52
2.5.1 De hoeveelheid bodemalgen op de platen blijft min of meer gelijk	52
2.5.2 De productie van zwevende algen in het water neemt toe	53
3 Conclusies en aanbevelingen	54
3.1 Conclusies	54
3.2 Aanbevelingen	55
4 Kwaliteitsborging	57

Literatuur	58	
Verantwoording	59	
Bijlage 1	Biomassa bodemdieren per ZES.1 ecotooptype	60
Bijlage 2	Biomassa bodemdieren per vereenvoudigd ecotooptype in 2014	68
Bijlage 3	Dichtheid vissen per ZES.1 ecotooptype	75
Bijlage 4	Dichtheid vissen per vereenvoudigd ecotooptype	81
Bijlage 5	Totale biomassa macrozoobenthos per maatregelrichting	87
Bijlage 6	Totaal aantal vissen per maatregelrichting	92
Bijlage 7	Som van de biomassa aan bodemdieren	96

Samenvatting

Het Meerjarig Adaptief Programma Eems-Dollard 2050 streeft naar ecologische verbetering van de Eems-Dollard, zodat op termijn een gezond estuarium ontstaat en het estuarium voldoet aan de doelstellingen van de Kaderrichtlijn Water en Natura 2000. De uitvoering van het programma bestaat uit verschillende 'sporen'. Eén van die sporen is Hydromorfologische Verbetering. In dit spoor staat het hydromorfologisch systeem centraal: het samenspel van stroomsnelheden en golven, zand en slib en de vorm van het estuarium. Het spoor levert nieuwe kennis over de hydromorfologische dynamiek in de Eems-Dollard op en zicht op mogelijke maatregelen om die dynamiek te beïnvloeden. Na uitvoering van dit programmaspoor moet er duidelijk zicht zijn op effectieve maatregelen die een verdere uitwerking en optimalisatie waard zijn.

In het kader van de uitvoering van het spoor Hydromorfologische Verbetering van de Eems-Dollard voerde Deltares in 2017 een modelstudie uit naar mogelijke maatregelen om het zwevend slibgehalte in het Eems-estuarium te verlagen. Omdat de studie een eerste verkenning is naar de richting waarin maatregelen zich kunnen begeven worden de berekende varianten 'maatregelrichtingen' genoemd. Er werden zes verschillende maatregelrichtingen, alsmede de autonome ontwikkeling, doorgerekend in de hydromorfologische modelomgeving Delft3D.

Het Ministerie van Economische Zaken vroeg Wageningen Marine Research om met behulp van de door Deltares opgeleverde modelresultaten inzicht te geven in de bij elk van de zes doorgerekende maatregelrichtingen te verwachten ecologische toestand in 2050. De opgeleverde modelresultaten van de hydromorfologische modellering worden in deze studie geïnterpreteerd aan de hand van het ecologisch streefbeeld voor de Eems-Dollard. Het streefbeeld, dat is beschreven in Hoofdstuk 3 van het Programma Eems-Dollard 2050, is in dit rapport nader uitgewerkt in deelcriteria. Dit streefbeeld kan voor een groot deel worden beoordeeld aan de hand van de opgeleverde modelresultaten van Deltares. Dit is gedaan door de modelresultaten van Deltares als input te gebruiken in een ecotopenanalyse van de Eems-Dollard.

De resultaten uit deze studie wijzen erop dat zeespiegelstijging een groot ecologisch probleem is voor de Eems-Dollard. De resultaten laten zien dat het verdrinken van getijdgebieden als gevolg van zeespiegelstijging een grote invloed heeft op de totale biomassa van bodemdieren en hiermee op de draagkracht voor vogels. De draagkracht voor wadvogels neemt met zo'n 9 - 13% af in 2050 ten opzichte van 2014. De zeespiegelstijging heeft waarschijnlijk ook een negatieve invloed op de primaire productie van voedsel voor bodemdieren in het systeem, omdat het aandeel laagdynamische litorale ecotopen kleiner wordt terwijl dit belangrijke gebieden zijn voor de groei en productie van benthische algen. Disclaimer: de resultaten van de onderliggende modelstudie van Deltares m.b.t. zeespiegelstijging zullen worden herzien. Het model liet namelijk onvoldoende vermogen zien om mee te groeien met de zeespiegelstijging. Het is mogelijk dat de gevolgen van zeespiegelstijging minder groot zijn dan berekend met het huidige model.

In maatregelrichting M1 wordt sediment dat bezinkt in slibrijke gebieden, zoals havens, niet teruggestort binnen het estuarium maar onttrokken aan het systeem. Deze maatregelrichting heeft nauwelijks invloed op de ecotopensamenstelling in 2050 in vergelijking met de autonome ontwikkeling.

In maatregelrichting M2 wordt gebaggerd sediment verspreid in het gebied Blindes Randzelgat ten zuidoosten van Borkum. Omdat het merendeel van het verspreide sediment door de stroming zal worden vervoerd richting de Oostereems is er een geringe morfologische respons, leidend tot een relatief grote toename van het areaal supralitoraal voor de Duitse kust ten opzichte van de autonome ontwikkeling.

In maatregelrichting M3 wordt ondiep plaatareaal gecreëerd door gebaggerd sediment te verspreiden in het gebied Rysumer Nacken ten oosten van Eemshaven in het Duitse gedeelte van de Eems-Dollard. Dit is gunstig voor bodemdieren en wadvogels omdat dit de verwachte zeespiegelstijging lokaal compenseert. Echter, op andere criteria scoort deze maatregel slecht; het is minder gunstig voor het areaal aan vishabitat, het tast het natuurlijke morfologische evenwicht aan, en het leidt tot afname van geschikt zeegras-ecotoop op de Hond-Paap. Wanneer er wordt overwogen om te compenseren voor zeespiegelstijging door verondieping is het de moeite waard om te zoeken naar een of meerdere verspreidingslocaties die beter passen in het streefbeeld.

In maatregelrichting M4 wordt sedimentatie in de Dollard bevorderd door middel van een strekdam van ongeveer 5 km lengte vanaf de Punt van Reide. In het streefbeeld voor de Eems-Dollard wordt de morfodynamiek niet beperkt door ingrepen als afdamming, insluiting of insnoering. Aangezien de dam de bestaande graduele overgangen tussen ecotopen in de Dollard doorbreekt en bovendien harde overgangen creëert, beweegt M4 zich op dit aspect van het streefbeeld af. De dam leidt tot grote ruimtelijke veranderingen in de ecotopensamenstelling van de Dollard waardoor hoogdynamische litorale ecotopen toenemen, terwijl in dit systeem laagdynamische ecotopen prevaleren. Anderzijds heeft deze maatregelrichting een positief effect op het instandhouden van areaal aan laagdynamisch middenlitoraal op de Hond-Paap, hetgeen potentieel gunstig is voor zeegras.

In maatregelrichting M5 wordt een binnendijks gebied van 15 km² gelegen tussen Delfzijl en Termunterzijl onder invloed van getij gebracht. Deze ingreep zorgt voor een toename van kwelders en laagdynamische getijdengebied, zonder dat dit ten koste gaat van andere zoute ecotopen en dit scoort hoog in het streefbeeld. De uitbreiding in M5 biedt geschikt leefgebied voor wadvogels, met name voor Kluut en Zwarte Ruiter, maar niet voor schelpdieretende vogels.

In maatregelrichting M6 wordt een meanderbocht in de Dollard gegraven en in stand gehouden met een sluis bij Emden en een T-vormige strekdam in de Dollard. Hierdoor wordt de natuurlijke hydromorfodynamiek belemmerd, ontstaan er extra harde overgangen tussen land en zee en nemen leefgebieden voor bodemdieren en vogels af. In M6 gaan er relatief veel waardevolle litorale ecotopen verloren in de Dollard, maar dit is volgens het streefbeeld potentieel gunstig voor het leefgebied van vissen.

De in deze studie gehanteerde methode is om de veranderingen in arealen aan ecotopen te vertalen in habitatgeschiktheid voor bodemdieren, vogels en vissen. Het is aan te bevelen om na te gaan in hoeverre de aantallen van de verschillende (doel)soorten (bodemdieren, vissen en vogels) daadwerkelijk beperkt worden door de beschikbaarheid van habitats binnen het systeem. Voor een toekomstige ecotopenanalyse, wellicht op basis van nieuwe resultaten van Deltares, is het aan te bevelen om de veranderingen in het zoutgehalte in meer detail mee te nemen omdat dit een zeer bepalende factor is voor de soortensamenstelling en –biomassa van flora en fauna in een estuarium. Het is verder aan te bevelen om verbeterde modelvoorspellingen te maken voor kwelderontwikkeling, met name in de Dollard.

Omdat uit deze studie blijkt dat zeespiegelstijging kan leiden tot grote veranderingen in de ecotopensamenstelling is het aan te bevelen een vergelijking te maken tussen de gevolgen van een toenemend slibgehalte versus de gevolgen van zeespiegelstijging op de primaire productie, zowel voor zwevende algen als voor op de bodem levende algen.

Deze studie laat zien dat het ecologische streefbeeld zoals beschreven in het adaptieve Programma Eems-Dollard 2050 een nadere uitwerking behoeft. Het is aan te bevelen te bezien in hoeverre het ecologisch streefbeeld een heroverweging behoeft gelet op de resultaten van deze studie in combinatie met de resultaten van de andere studies in het programma en gelet op de instandhoudingsdoelstellingen van Natura 2000-gebied Eems-Dollard.

1 Inleiding

Het Meerjarig Adaptief Programma Eems-Dollard 2050 (ED2050, 2016) streeft naar ecologische verbetering van de Eems-Dollard, zodat op termijn een gezond estuarium ontstaat en het estuarium voldoet aan de doelstellingen van de Kaderrichtlijn Water en Natura 2000. De uitvoering van het programma bestaat uit verschillende 'sporen'. Eén van die sporen is Hydromorfologische Verbetering. In dit spoor staat het hydromorfologisch systeem centraal: het samenspel van stroomsnelheden en golven, zand en slib en de vorm van het estuarium. Het spoor levert nieuwe kennis over de hydromorfologische dynamiek in de Eems-Dollard op en zicht op mogelijke maatregelen om die dynamiek te beïnvloeden.

Een Plan van Aanpak is geschreven voor het spoor Hydromorfologische Verbetering (Dankers et al., 2016). Het beschrijft een geprioriteerd kennisprogramma t.b.v. het ontwikkelen van effectieve maatregelen. Het kennisprogramma borduurt voort op het uitgevoerde MIRT-onderzoek, met als doel goed onderbouwde maatregelen te kunnen voorstellen. De maatregelen richten zich enerzijds op een verlaging van de slibconcentraties in het Eems estuarium en anderzijds op een natuurlijke hydromorfologische situatie. Het programma is opgesteld voor de periode 2016-2020. Na uitvoering van het programma moet er duidelijk zicht zijn op effectieve maatregelen die een verdere uitwerking en optimalisatie waard zijn.

In het kader van de uitvoering van het spoor Hydromorfologische Verbetering van de Eems-Dollard voerde Deltares een modelstudie uit naar mogelijke maatregelen om het zwevend slibgehalte in het Eems-estuarium te verlagen. Omdat de studie een eerste verkenning is naar de richting waarin maatregelen zich kunnen begeven worden de berekende varianten 'maatregelrichtingen' genoemd. Er werden zes verschillende maatregelrichtingen, alsmede de autonome ontwikkeling, doorgerekend in de hydromorfologische modelomgeving Delft3D. Als resultaat werd onder meer opgeleverd (i) een schatting van de procentuele toe-of afname van het slibgehalte in het doeljaar 2050, (ii) een inschatting van de morfologische toestand in 2050 en (iii) de daaruit voortvloeiende ecotopensamenstelling in 2050.

De berekeningen zijn verricht voor de huidige toestand (2014) en zeven toestanden in 2050. De eerste maatregelrichting voor 2050 is M0: *Autonome ontwikkeling*. Dit betekent voortzetting van het huidige beleid (baggeren en storten van havensediment, op diepte houden van vaargeulen, gaswinning) en deze variant houdt ook rekening met zeespiegelstijging. De zeespiegel stijgt met 0,67 cm/jaar tot aan 2050 resulterend in 40 cm zeespiegelstijging in 2050 ten opzichte van 1990 (Van Maren et al., 2017).

In de overige maatregelrichtingen wordt het huidig beleid voortgezet, gerekend met zeespiegelstijging én worden extra ingrepen gedaan (zie *Figuur 1*):

M1: *Onttrekken slib*. Sediment dat bezinkt in slibrijke gebieden wordt niet teruggestort binnen het estuarium maar onttrokken aan het systeem.

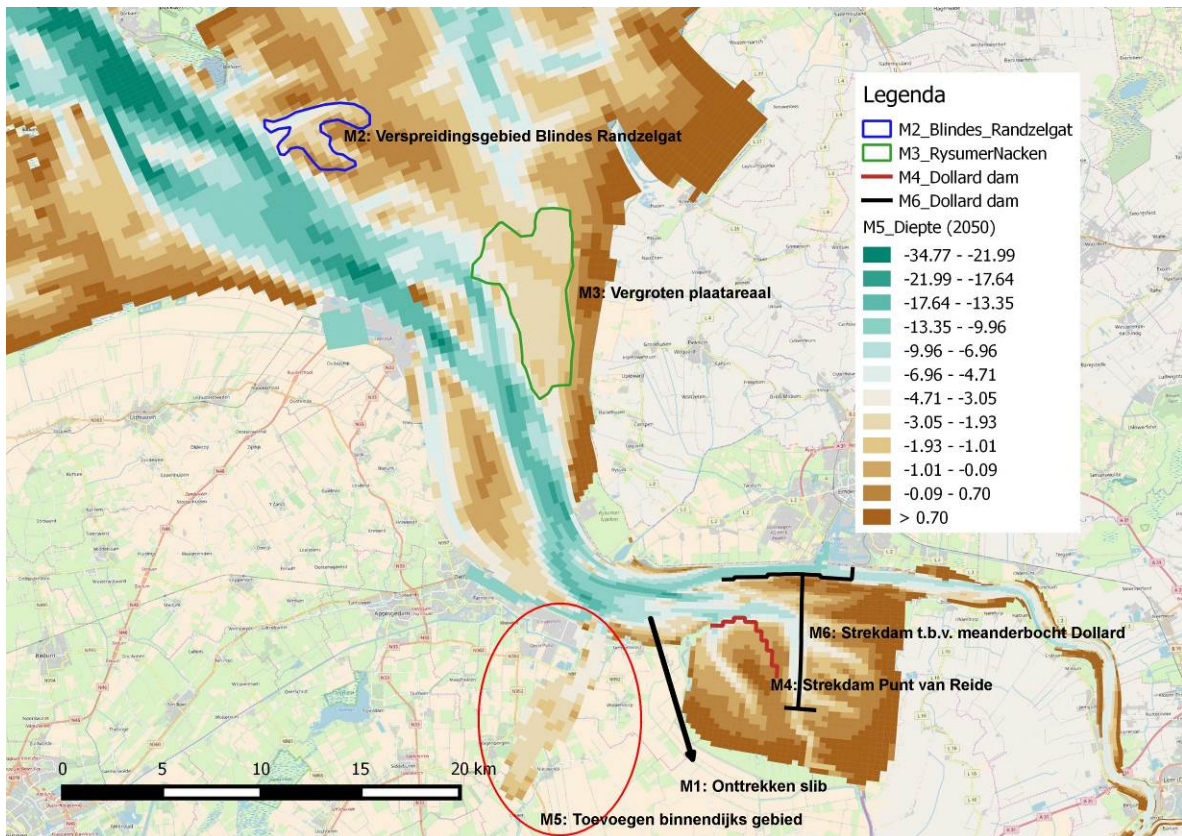
M2: *Verspreidingsgebied Blindes Randzelgat*. Gebaggerd sediment wordt verspreid in het gebied Blindes Randzelgat ten zuidoosten van Borkum.

M3: *Vergroten plaatareaal Rysumer Nacken*. Gebaggerd sediment wordt verspreid in het gebied Rysumer Nacken ten oosten van Eemshaven in het Duitse gedeelte van de Eems-Dollard.

M4: *Bevorderen sedimentatie Dollard*. Een gebogen strekdam van ongeveer 5 km lengte vanaf de Punt van Reide zorgt voor een luw sedimentatiegebied in de Dollard.

M5: *Toevoegen binnendijks intergetijdengebied*. Een binnendijks gebied van 15 km² gelegen tussen Delfzijl en Termunterzijl wordt onder invloed van getij gebracht.

M6: *Meanderbocht in de Dollard*. Een meanderbocht in de Dollard wordt gegraven en in stand gehouden met een sluis bij Emden en een T-vormige strekdam in de Dollard.



Figuur 1. Schematische weergave van de maatregelrichtingen voor Hydromorfologische Verbetering, afgebeeld op de bathymetrie modeluitvoer voor Maatregelrichting M5.

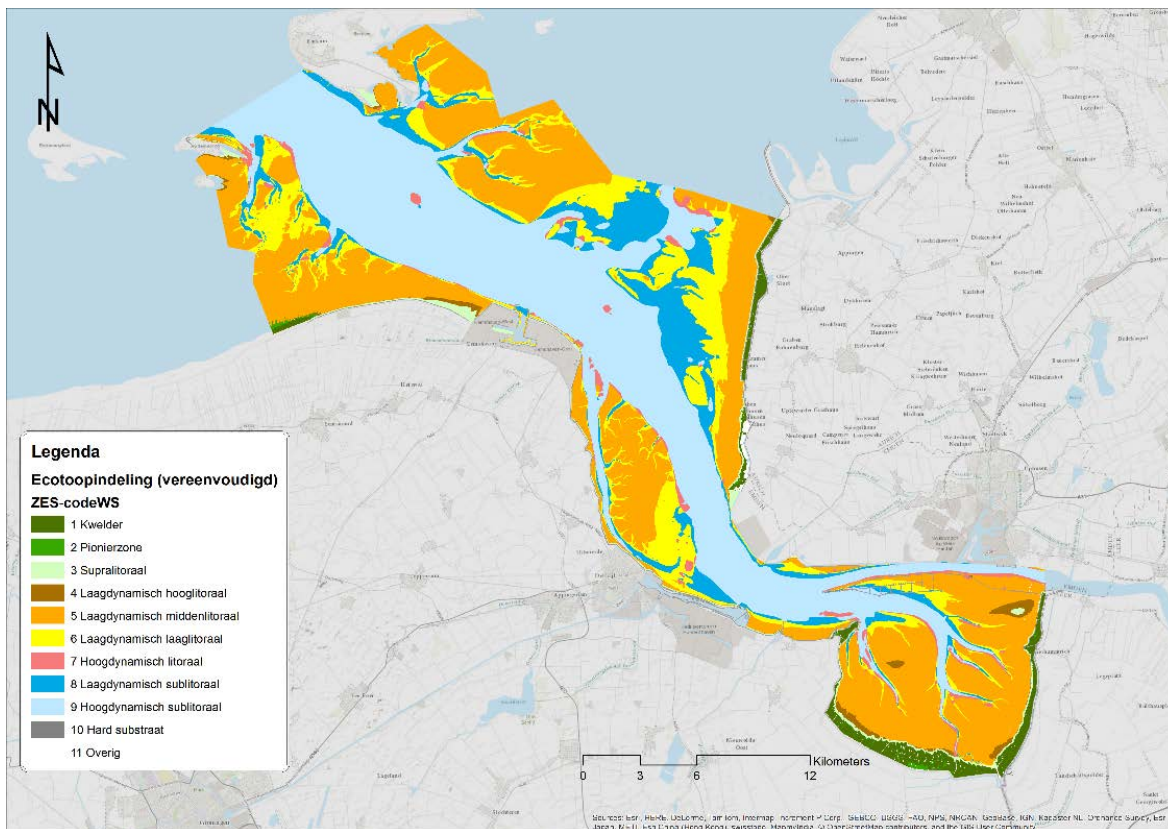
1.1 Vraagstelling

Het Ministerie van Economische Zaken vroeg Wageningen Marine Research om met behulp van de door Deltares opgeleverde modelresultaten inzicht te geven in de bij elk van de zes doorgerekende maatregelrichtingen te verwachten ecologische toestand in 2050.

1.2 Plan van aanpak

De opgeleverde modelresultaten van de hydromorfologische modellering worden geïnterpreteerd aan de hand van het ecologisch streefbeeld voor de Eems-Dollard. Het streefbeeld is beschreven in Hoofdstuk 3 van het Programma Eems-Dollard 2050 (ED2050, 2016) en is in dit rapport nader uitgewerkt in deelcriteria.

Dit streefbeeld kan voor een groot deel worden beoordeeld aan de hand van de opgeleverde modelresultaten van Deltares. Dit gebeurt door het gebruik van de modelresultaten van de ecotopensamenstelling. Figuur 2 geeft een voorbeeld van een ecotopenkaart voor de Eems-Dollard op basis van het Zoutwater Ecotopen Stelsel (ZES.1).



Figuur 2. Ecotopenkaart volgens het vereenvoudigde Zoutwater Ecotopen Stelsel op basis van bathymetrie 2008 en overstromingsduur.

Ecotopen kunnen worden gebruikt voor een beschrijving van habitatgeschiktheid voor planten en dieren. De habitatgeschiktheid geeft weer wat de potentie is voor het voorkomen van planten en dieren in ecotopen, zoals het foerageerhabitat en broedhabitat voor vogels, standplaatsfactoren voor planten of leefhabitat voor mosselbanken.

Het eindproduct van deze studie is een rapportage waarin de doorgerekende maatregelrichtingen uit de Deltares studie naar Hydromorfologische Verbetering met elkaar vergeleken worden en getoetst aan het streefbeeld voor ED2050.

1.3 Het streefbeeld Eems-Dollard 2050

Het streefbeeld voor de Eems-Dollard is beschreven in het Programma Eems-Dollard 2050 (ED2050, 2016) en is opgebouwd uit vijf hoofdelementen, te weten:

1. Passende dimensies en natuurlijke dynamiek;
2. Gezonde leefgebieden;
3. Geleidelijke overgangen;
4. Natuurlijk troebel;
5. Voldoende voedsel aan de basis.

Per hoofdelement wordt in dit rapport een nadere uitwerking gegeven van deelcriteria van het streefbeeld. Deze deelcriteria worden gebruikt om het doelbereik van het streefbeeld te beoordelen voor de zes hydromorfologische maatregelrichtingen.

1.3.1 Passende dimensies en natuurlijke dynamiek

In het streefbeeld worden de volgende deelcriteria genoemd:

- Voldoende leefgebieden van goede kwaliteit voor vogels
- Voldoende leefgebieden van goede kwaliteit voor vissen
- Vorm en ligging van geulen, platen en slikken veranderen
- Passende morfologische dimensies in het estuarium
- Geleidelijke overgang tussen zoet rivierwater en zout zeewater
- Geleidelijke overgangen tussen land en zee

1.3.2 Gezonde leefgebieden

In het streefbeeld worden de volgende deelcriteria genoemd:

- Totale oppervlak Eems-Dollard neemt niet af
- Geen vernauwingen door inpoldering, bedijking en afdamming
- Oppervlak van zandplaten en slikken is circa 50% van totaal
- Dollard blijft groot brak en slibrijk laag-dynamisch slikkengebied
- Dollard heeft geen grote soortdiversiteit
- Grote aantallen nonnetje, bot, steur, zwarte ruit en kluut in Dollard
- Hydromorfologisch gunstig voor zeegras en mosselen op Hond-Paap
- Verdubbeling van het kwelderareaal van circa 5% naar 10%
- Uitbreiding brakke kwelders in Dollard en zijrivieren
- Kwelders gevarieerd, extensief begraasd

1.3.3 Geleidelijke overgangen

In het streefbeeld worden de volgende deelcriteria genoemd:

- Geleidelijke overgangen tussen de zijwateren en het estuarium
- Geen onnatuurlijk sterke schommelingen in zoutgehalte

1.3.4 Natuurlijk troebel

In het streefbeeld worden de volgende deelcriteria genoemd:

- Troebelheid in middendeel is aanzienlijk minder dan nu
- Laaggelegen gebieden waar slib kan bezinken
- Minder hoge vloedstroomsnelheid de rivier op
- Troebelheidsmaximum is lager en minder langgerekt

1.3.5 Voldoende voedsel aan de basis

In het streefbeeld worden de volgende deelcriteria genoemd:

- De hoeveelheid bodemalgen op de platen blijft min of meer gelijk
- De productie van zwevende algen in het water neemt toe

1.4 Afbakening

Het al dan niet kunnen behalen van het streefbeeld voor de Eems-Dollard 2050 voor de verschillende doorberekende maatregelrichtingen kan voor een groot gedeelte worden geanalyseerd door beschrijving en uitwerking van de ecotopensamenstelling. Echter, niet alle bovengenoemde elementen van het streefbeeld kunnen hiermee worden geanalyseerd. Sommige elementen behoeven een nadere detaillering en andere onderdelen behoeven invulling met een ecosysteemmodel.

In onderstaande tabel is aangegeven of de elementen uit het streefbeeld, en zo ja, op welke wijze, kunnen worden geanalyseerd in deze studie:

Elementen uit het Streefbeeld	Analyse in deze studie
Passende dimensies en natuurlijke dynamiek	
Voldoende leefgebieden van goede kwaliteit voor vogels	Op basis van draagkracht van foerageerhabitat.
Voldoende leefgebieden van goede kwaliteit voor vissen	Op basis van leefgebied.
Vorm en ligging van geulen, platen en slikken veranderen	Geulen, platen en slikken zijn met elkaar verbonden zonder obstructies.
Passende morfologische dimensies in het estuarium	Verhouding lengte-breedte-diepte-natte doorsnede.
Geleidelijke overgangen tussen zoet rivierwater en zout zeewater	Menging van zoet/zout.
Geleidelijke overgangen tussen land en zee	Aanwezigheid van supralitorale delen, afwezigheid geulen nabij dijken.
Gezonde leefgebieden	
Totale oppervlakte ED neemt niet af	Oppervlakte aan ecotopen wordt niet kleiner.
Geen vernauwingen door inpoldering, bedijking en afdamming	Ontbreken van inpoldering, bedijking en afdamming.
Oppervlak van zandplaten en slikken circa 50% van totaal	Oppervlakte aan platen en slikken circa 50% van totale oppervlakte.
Dollard blijft groot brak en slibrijk laag-dynamisch slikkengebied	Areaal brakke, slibrijke laag-dynamische ecotopen Dollard blijft grotendeels intact.
Dollard heeft geen grote soortdiversiteit	Op hoofdlijnen te analyseren (bv. soortencurve van Remane voor bodemfauna).
Grote aantallen nonnetje, bot, steur, zwarte ruiter en kluut in Dollard	Op basis van leefgebied en foerageerhabitat.
Hydromorfologisch gunstig voor zeegras en mosselen op Hond-Paap	Aanwezigheid laagdynamische slibrijke laaglitorale ecotopen op Hond-Paap.
Verdubbeling van het kwelderareaal van circa 5% naar 10%	Oppervlakte supralitorale ecotopen naar 5600 ha.
Uitbreiding brakke kwelders in Dollard en zijrivieren	Uitbreiding supralitorale ecotopen.
Kwelders gevarieerd, extensief begraasd	Kwelders zijn niet goed te beoordelen op basis van de Deltares modelresultaten.
Geleidelijke overgangen	
Geleidelijke overgangen tussen de zijwateren en het estuarium	Niet te analyseren in deze studie: de zijwateren maken geen onderdeel uit van de modelresultaten.
Geen onnatuurlijk sterke schommelingen in zoutgehalte	Niet te analyseren: er zijn geen data over seizoensdynamiek in zoutgehalte aangeleverd.
Natuurlijk troebel	
Troebelheid in middendeel is aanzienlijk minder dan nu	Deltares modelresultaat.
Laaggelegen gebieden waar slib kan bezinken	Areaal laagdynamische ondiepe ecotopen.

Minder hoge vloedstroomsnelheid de rivier op Deltares modelresultaat.

Troebelheidsmaximum is lager en minder langgerekt Deltares modelresultaat.

Voldoende voedsel aan de basis

De hoeveelheid bodemalgen op de platen blijft min of meer gelijk
De productie van zwevende algen in het water neemt toe

Alleen indirect te analyseren; areaal laagdynamische litorale ecotopen blijft min of meer gelijk.
Niet via ecotopenaanpak mogelijk, ecosysteem model is nodig.

Het rapport zal op hoofdlijnen een vergelijking maken waarmee een eerste inschatting gemaakt kan worden of maatregelrichtingen zich naar het streefbeeld toe of van het streefbeeld af begeven. Mogelijk dat in een vervolgstudie een detailinvulling gemaakt kan worden en/of ontbrekende informatie voor criteria kan worden aangevuld.

1.5 Input voor de studie

De volgende GIS-inputgegevens zijn ontvangen van Deltares voor analyse binnen deze studie:

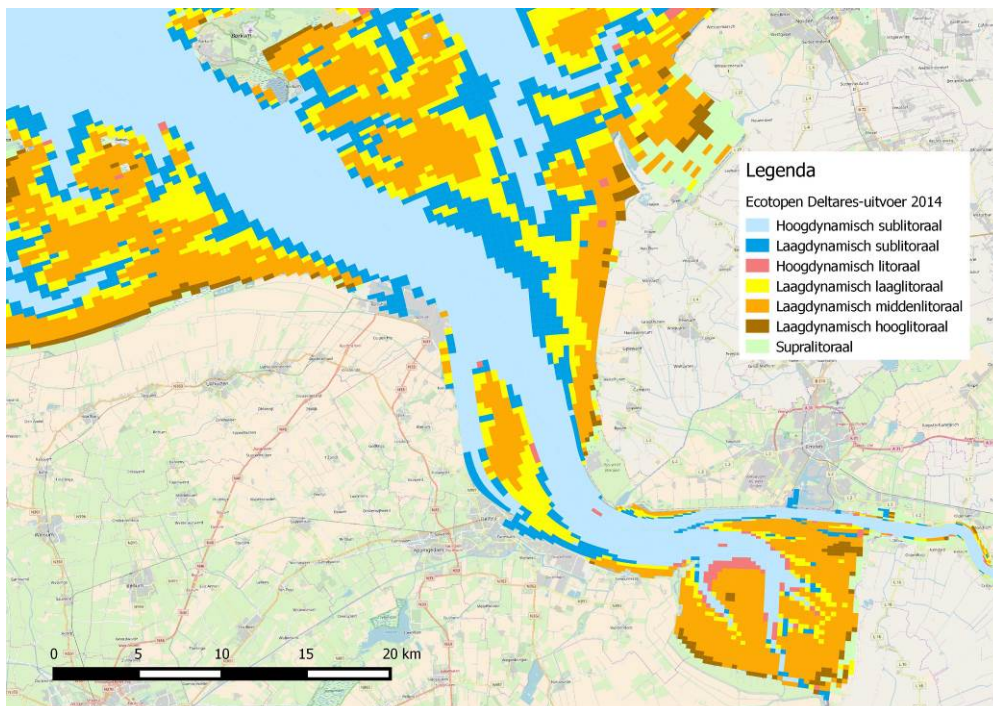
- Het gebruikte rekenrooster als .kml lijnbestand;
- De ligging van de middelpunten van de rekenroostercellen als ESRI shape bestand;
- De oppervlakte van iedere rekenroostercel als ESRI shape bestand;
- De vereenvoudigde ecotopenindeling voor ieder scenario als xyz-bestand waarbij x en y de locatie van het middelpunt van een rekencel geven en waarbij z een code geeft voor het ecotooptype volgens:
 1. Hoogdynamisch sublitoraal
 2. Laagdynamisch sublitoraal
 3. Hoogdynamisch litoraal
 4. Laagdynamisch laaglitoraal
 5. Laagdynamisch middenlitoraal
 6. Laagdynamisch hooglitoraal
 7. Supralitoraal
- Afbeeldingen in .png formaat van de ecotopenindeling;
- De bathymetrie voor ieder scenario als xyz-bestand waarbij x en y de locatie van het middelpunt van een rekencel geven en waarbij z de bathymetrie in m t.o.v. NAP geeft.
- Informatie als ESRI shape bestanden over de locaties en afmetingen van verspreidingsvakken en dammen.

De gegevens van Deltares zijn verwerkt volgens onderstaande methode.

Methode

Het .kml lijnbestand voor het rekenrooster is in QGIS ingelezen en omgezet naar een polygoon bestand dat voor iedere gridcel een eigen polygoon laat zien. Hiervoor is de tool Polygonize gebruikt. Het resultaat is als ESRI shape bestand opgeslagen als Rekengrid_RDnew.shp.

De xyz bestanden voor de ecotopensamenstelling zijn in .csv format ingelezen in QGIS. Vervolgens is een Join Attributes by Location uitgevoerd met Rekengrid_RDnew zodat de ecotopensamenstelling wordt afgebeeld in iedere gridcel van het rekenrooster. Dit is uitgevoerd voor ieder van de maatregelrichtingen M0 t/m M6 alsmede de huidige toestand 2014 en levert derhalve acht 'Deltares-ecotopenkaarten' op. Figuur 3 geeft een voorbeeld voor de Deltares-ecotopenkaart voor het jaar 2014.



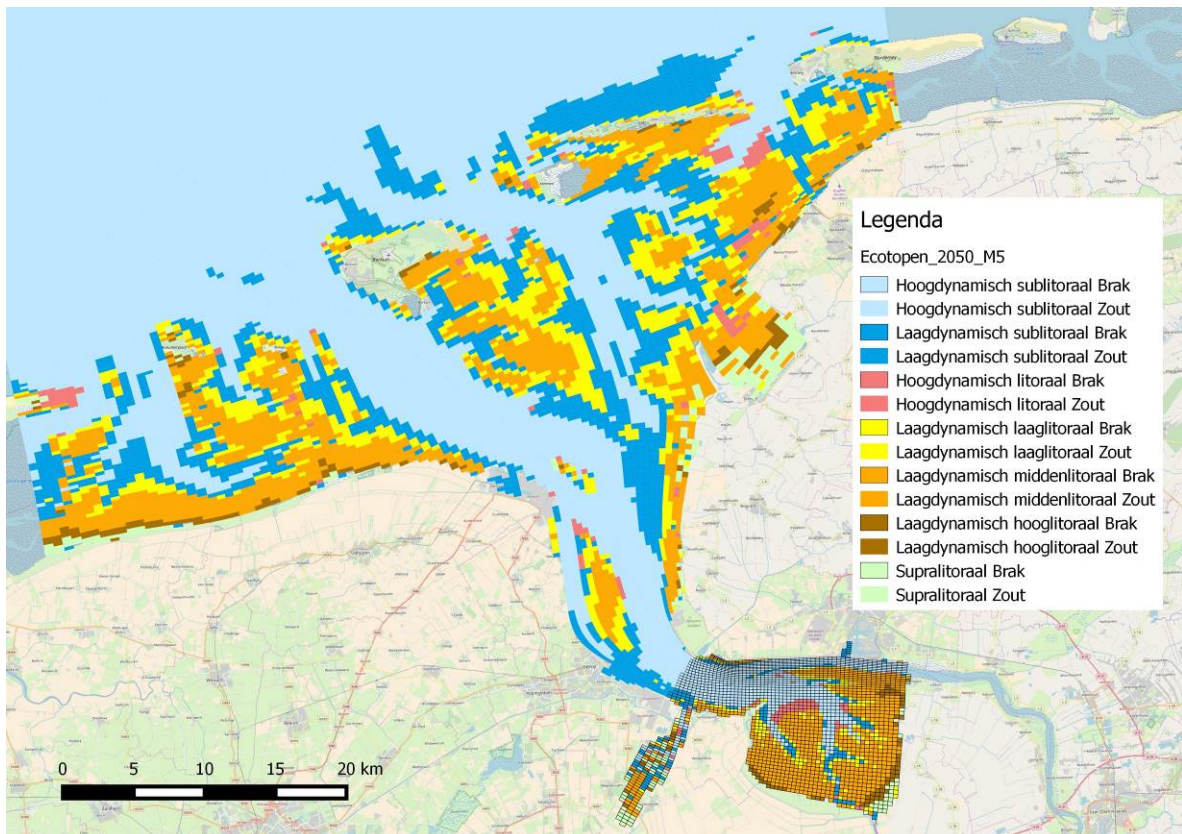
Figuur 3. Ecotopenkaart volgens het vereenvoudigde Zoutwater Ecotopen Stelsel (ZES.1) op basis van bathymetrie 2014 en overstroomingsduur volgend uit de Deltares modeluitvoer van Delft3D.

Voor verdere analyse is het belangrijk om ook informatie over het zoutgehalte toe te voegen aan de ecotopenindeling. Het zoutgehalte in het Eems estuarium is namelijk zeer bepalend voor de soortensamenstelling van benthos en vissen. Het zoutgehalte is variabel in ruimte en tijd. Er zijn dagelijkse variaties als gevolg van eb en vloed en er zijn seizoensvariaties als gevolg van variaties in de rivierafvoer van de Eems en andere zijrivieren. Het zoutgehalte heeft invloed op zout-gedreven residuele stroming en sedimenttransport in een estuarium en andersom zullen morfologische ingrepen het zoutgehalte kunnen beïnvloeden.

Bij de vervaardiging van een ecotopenkaart in het Zoutwater Ecotopen Stelsel (ZES.1) wordt er gerekend met een jaargemiddeld zoutgehalte en met een zoutvariatie die is bepaald uit de maandgemiddelde waarden. Voor deze studie naar ED2050 is er gekozen om voor elke doorgerkende maatregelrichting M0 t/m M6 dezelfde gemiddelde verdeling van het zoutgehalte toe te passen als in de ecotopenkaart voor de Eems-Dollard (Ysebaert et al., 2015, Baptist et al., 2016). Dit is een vereenvoudiging waarbij voorbij wordt gegaan aan toekomstige veranderingen als gevolg van klimaat (rivierafvoer) en morfologische ingrepen. Het is aan te bevelen om in toekomstige studies de veranderingen in het zoutgehalte in meer detail mee te nemen.

Omdat het modeldomein van de Deltares uitvoer groter is dan dat van de bestaande ecotopenkaarten is een nieuw shape-bestand gemaakt waarin het Eems-estuarium is verdeeld in een zout, brak en zoet gedeelte conform de bestaande ecotopenkaart. Door middel van een Join Attributes by Location is aan iedere ecotoop-rekengridcel een extra waarde toegekend voor het zoutgehalte. Hierna zijn alle zoete ecotopen (die op de Eems rivier liggen) verwijderd omdat de analyse zich richt op brakke en zoute soorten. Vervolgens is in de Field Calculator van QGIS een Concatenate commando uitgevoerd zodat in een nieuwe kolom de ecotopencodes worden uitgebreid met een zoutgehalte 'zout' of 'brak'. Figuur 4 geeft een voorbeeld van een ecotopenkaart die is uitgebreid met een classificatie voor 'zout' of 'brak' voor maatregelrichting 2050_M5.

Een andere vereenvoudiging betreft de sedimentsamenstelling. In het ZES.1 ecotopenstelsel is een typering voor sediment opgenomen in de klassen 'slibrijk', 'fijn zand', 'grof zand' of 'grind'. Deze onderverdeling is niet toegepast in de analyse in dit rapport omdat er geen modelvoorspellingen van de sedimentverdeling in 2050 zijn aangeleverd.



Figuur 4. Vereenvoudigde ecotopenkaart volgens het Zoutwater Ecotopen Systeem uitgebreid met een classificatie zout of brak (aangegeven door lijn-omhulde cellen) voor Deltares modeluitvoer 2050_M5.

De dieptebestanden zijn ook aangeleverd als xyz puntbestanden. De xyz bestanden voor de diepte zijn in .csv format ingelezen in QGIS. Vervolgens is een Join Attributes by Location uitgevoerd met Rekengrid_RDnew zodat de diepte wordt afgebeeld in iedere gridcel van het rekenrooster. Dit is uitgevoerd voor ieder van de maatregelrichtingen M0 t/m M6 alsmede de huidige toestand 2014 en levert acht verschillende dieptekaarten op.

2 Resultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de studie beschreven per hoofdelement van het streefbeeld voor de Eems-Dollard 2050, te weten:

- 2.1. Passende dimensies en natuurlijke dynamiek;
- 2.2. Gezonde leefgebieden;
- 2.3. Geleidelijke overgangen;
- 2.4. Natuurlijk troebel;
- 2.5. Voldoende voedsel aan de basis.

2.1 Passende dimensies en natuurlijke dynamiek

In het streefbeeld worden de volgende deelcriteria genoemd:

- Voldoende leefgebieden van goede kwaliteit voor vogels
- Voldoende leefgebieden van goede kwaliteit voor vissen
- Vorm en ligging van geulen, platen en slikken veranderen
- Passende dimensies in het estuarium
- Geleidelijke overgangen tussen zoet rivierwater en zout zeewater
- Geleidelijke overgangen tussen land en zee

2.1.1 Voldoende leefgebieden van goede kwaliteit voor vogels

Leefgebieden voor vogels kunnen worden uitgewerkt door middel van habitatgeschiktheidsmodellering. Voor zes goed onderzochte wadvogelsoorten, te weten Scholekster, Kluut, Zilverplevier, Kanoet, Rosse Grutto en Wulp bestaan habitatgeschiktheidsmodellen die zijn toegepast in het Pinkegat en Zoutkamperlaag (Ens et al., 2015). Daarnaast zijn er aanvullende modellen ontwikkeld voor Bergeend, Pijlstaart, Bontbekplevier, Drieteenstrandloper, Bonte Strandloper, Tureluur en Steenloper (Ens et al., 2016). Het betreft geavanceerde modellen die de ruimtelijke verspreiding en draagkracht van een gebied voorspellen aan de hand van veel verschillende invoerparameters. Voor de situatie in 2050 is onvoldoende bekend over deze invoerparameters.

In deze studie is gekozen voor een aanpak met ecotopen. Eerst is geschat wat daarin de biomassa's aan bodemdieren zijn, omdat dit de voedselvoorraden voor wadvogels zijn. De veranderingen in areaal voor ieder ecotooptype (de modeluitvoer van Deltares) zijn doorvertaald naar veranderingen in voedselbeschikbaarheid. Per vogelsoort is het dieet van de belangrijkste soorten bepaald en hiermee is een schatting gemaakt van veranderingen in draagkracht voor de afzonderlijke soorten. Hiermee is *op hoofdlijnen* de kwaliteit en de kwantiteit van leefgebieden voor wadvogels vastgesteld.

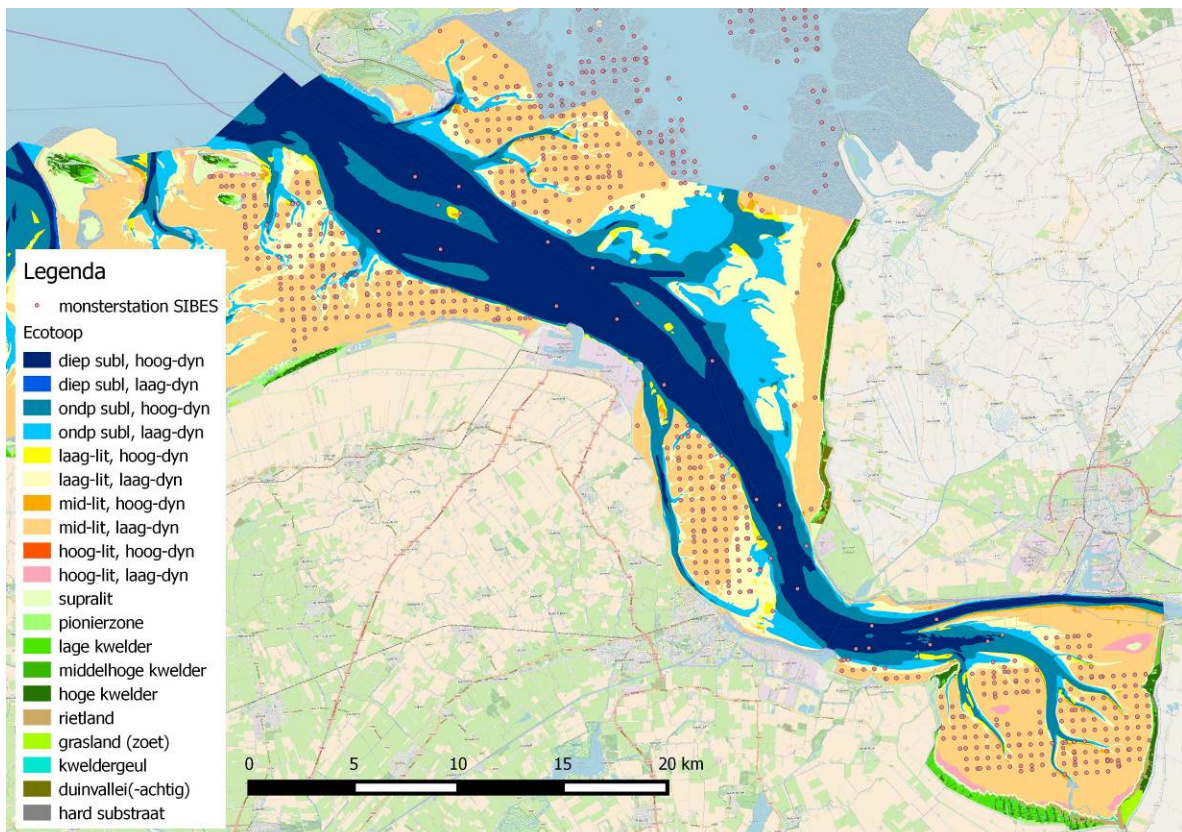
Als eerste stap is een analyse gemaakt op basis van de data van verspreiding van bodemdieren uit (Compton et al., 2017), gecombineerd met de ecotopensamenstelling van de Eems-Dollard (Ysebaert et al., 2015; Baptist et al., 2016). De monsterstations van de bodemdieren zijn hierbij ruimtelijk afgebeeld op de ecotopen waarna de gemiddelde bodemdiersamenstelling per ecotooptype is berekend. Door de veranderingen in oppervlaktes aan ecotopen te analyseren kan de verandering aan bodemdieren berekend worden.

2.1.1.1 Methode

NIOZ heeft voor deze studie de bodemdiergegevens beschikbaar gemaakt die zijn beschreven en geanalyseerd in Compton et al. (2017)¹. Deze gegevens zijn verzameld in SIBES van 2009 t/m 2015. De data zijn aangeleverd in twee Excel tabellen, te weten een tabel met posities van de

¹ De auteur is zeer erkentelijk voor de data die het NIOZ heeft aangeleverd.

monsterstations en aanvullende data (zoals mediane korrelgrootte en slibgehalte), en een tabel met aantallen en biomassa aan bodemdieren, per soort, in ieder (deel)monster en aanvullende data (zoals jaar). Beide tabellen zijn ingelezen in MS Access 2016 en een koppeling tussen de twee tabellen is gemaakt voor het veld sample_id dat een uniek nummer voor ieder monster bevat en dat in beide tabellen is opgenomen. Vervolgens is een Query uitgevoerd zodat er een tabel wordt uitgevoerd met daarin voor ieder monster (sample_id) de (gesommeerde) aantallen en biomassa bodemdieren, per soort, én de locatie van het monsterstation waar dit sample is genomen. Deze tabel is uitgevoerd naar MS Excel 2016. Omdat niet voor ieder monster het bemonsterde oppervlakte hetzelfde is, is eerst per monster de dichtheid (n/m²) en de biomassa (g AFDW/m²) berekend. Vervolgens is in Excel is een 'Pivot Table' bewerking uitgevoerd waarmee een matrixtabel wordt gemaakt met op de rijen de codes voor monsterlocaties en op de kolommen de dichtheden en biomassa van alle soorten. Er zijn twee matrixtabellen gemaakt, een gevuld met de dichtheid gemiddeld over de jaren 2009 t/m 2015, en een gevuld met de biomassa gemiddeld over de jaren 2009 t/m 2015. Hierna zijn de x- en y-coördinaten van ieder monsterstation aan deze twee tabellen toegevoegd en zijn twee .csv bestanden uitgevoerd. Het .csv bestand voor biomassa van benthos, met daarin de geografische informatie is ingelezen in QGIS 2.8.2 en geconverteerd naar een shape-bestand. Hierna is de ecotopenkaart Waddenzee als kaartlaag toegevoegd in QGIS. Feitelijk zijn dit twee bestanden omdat de ecotopenkaart is opgesplitst in een Nederlands deel en een Duits deel. Beide ecotopenkaarten zijn geconverteerd van een Rijksdriehoek coördinatenstelsel naar WGS84 / UTM31N, te weten het coördinatensysteem van de SIBES meetpunten. Hierna zijn met de Geoprocessing Tool 'Intersect' twee nieuwe shape-bestanden gemaakt (NL en DE) met een uitbreiding van de Attribute Table met informatie over de ecotopen van ieder monsterstation. Noot: de SIBES survey is ook uitgevoerd in een deel van Duitsland dat niet in de ecotopenkaart zit, de stations in dit deel vallen buiten de analyse, zie Figuur 5.



Figuur 5. De SIBES monsterstations in de Eems-Dollard afgebeeld op de ecotopenkaart Waddenzee.

Beide nieuwe tabellen zijn gekopieerd naar, en samengevoegd in één Excel bestand dat voor ieder monsterstation de benthossamenstelling en de ecotopensamenstelling geeft. In Excel is een Pivot Table bewerking uitgevoerd zodat er een tabel wordt gegeneerd met op de rijen de ZES.1 ecotopen en op de kolommen de soorten, met de biomassa gemiddeld over alle stations die in een ecotoop voorkomen. Een selectie is gemaakt voor de 13 meest voorkomende soorten, genoemd in Compton et al. (2017), te weten *Alitta succinea*, *Hediste diversicolor*, *Arenicola marina*, *Heteromastus filiformis*, *Marenzelleria viridis*, *Scoloplos armiger*, *Eteone longa*, *Nephtys hombergii*, *Cerastoderma edule*, *Limecola balthica*, *Mya arenaria*, *Corophium* sp. en Hydrobiidae. Deze tabel is uitgevoerd als .csv bestand en er is een 'sidecar' .csvt bestand aangemaakt dat vermeldt dat de kolommen met biomassa's in het .csv bestand geen Strings maar Reals bevatten. Vervolgens is de .csv ingelezen in QGIS met als optie "No geometry (attribute only table)". Hierna is een Vector Join operatie uitgevoerd op de Ecotopenkaarten, door middel van Properties, Joins waarbij het veld Ecotope de link geeft tussen de bestanden. De uitvoer bestaat uit extra kolommen in de Attribute Table van de Ecotopenkaarten die de gemiddelde biomassa per ecotoop bevatten zodat deze geografisch kunnen worden afgebeeld. Enkele stations zijn bemonsterd in diep sublitoraal en deze zijn verwijderd uit de dataset. In totaal zijn in 26 verschillende ecotooptypen uit de ZES.1 classificatie bodemdieren aangetroffen, maar niet ieder bodemdier is in ieder ecotoop gevonden.

De uitvoer van Deltares geeft ecotopenkaarten in het vereenvoudigde ecotopenstelsel dat minder klassen bevat, namelijk 7 ecotooptypen, zie paragraaf 1.5. Door een nabewerking met een kaart van zoutgehalte is dit verdubbeld naar 14 klassen waarbij ieder ecotoop is onderverdeeld in 'brak' of 'zout'. Een onderverdeling naar sedimenttypen is niet toegepast in de analyse in dit rapport. Om de bodemdiergegevens aan te laten sluiten bij de uitvoer van Deltares is in Excel een vereenvoudigde ecotoopindeling gemaakt waarna met een pivot table een nieuwe tabel met gemiddelde biomassa per vereenvoudigde ecotoop-type is vervaardigd. Omdat er in de Deltares uitvoer geen onderscheid is gemaakt tussen ondiep sublitoraal en diep sublitoraal zijn alle hoogdynamische sublitorale ecotopen verwijderd uit de analyse omdat dit (meestal) de diepere geulen betreft. Opnieuw is een Vector Join operatie uitgevoerd door middel van Properties, Joins en vervolgens is de uitvoer opgeslagen als .shp bestand. In de uiteindelijke vereenvoudigde ecotopenindeling zijn in totaal in 10 van de 14 onderscheiden ecotooptypen bodemdieren aangetroffen, maar niet ieder bodemdier is in ieder ecotoop gevonden.

2.1.1.2 Resultaten

De gemiddelde biomassa van bodemdieren per ZES.1 ecotooptype is gegeven in Tabel 1. De ecotopen zijn beschreven door vier elementen, te weten:

1. Hoogteligging (supralitoraal, hoog-litoraal, midden-litoraal, laag-litoraal, ondiep sublitoraal)
2. Zoutgehalte (brak, zout)
3. Hydrodynamiek (laag-dynamisch, hoog-dynamisch)
4. Sedimentsamenstelling (fijn zand, slibrijk, onbepaald)

Voor de evaluatie van maatregelrichtingen is een vereenvoudigde ecotopenindeling gebruikt. De gemiddelde biomassa van bodemdieren per vereenvoudigd ecotooptype is gegeven in Tabel 2. De vereenvoudigde ecotopen zijn beschreven door drie elementen te weten:

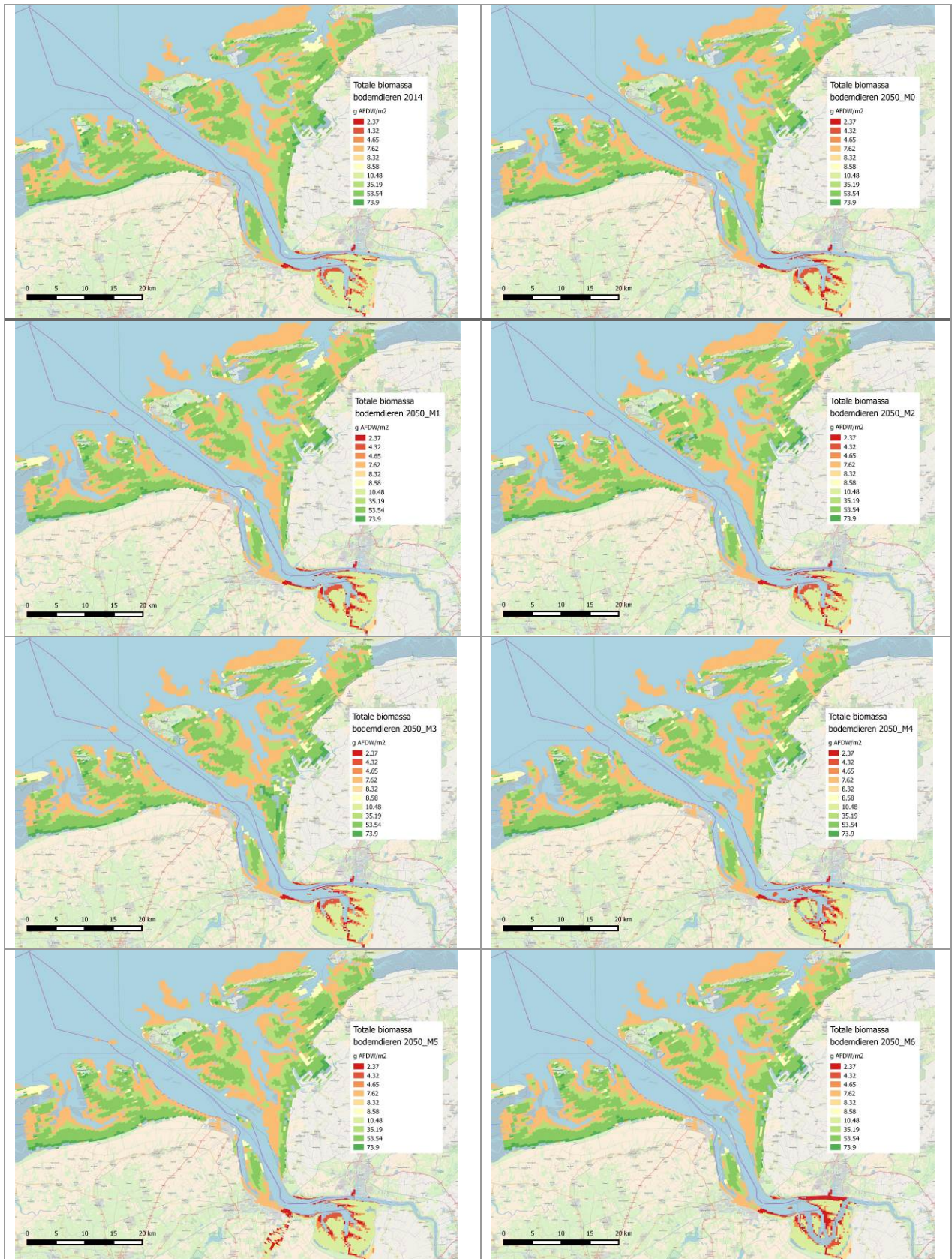
1. Hoogteligging (supralitoraal, hoog-litoraal, midden-litoraal, laag-litoraal, ondiep sublitoraal)
2. Zoutgehalte (brak, zout)
3. Hydrodynamiek (laag-dynamisch, hoog-dynamisch)

De benthische soorten zijn beschreven door een zeslettercode met de volgende betekenis:

Alisuc	= <i>Alitta succinea</i>	= Ambergele zeeduizendpoot
Heddiv	= <i>Hediste diversicolor</i>	= Veelkleurige zeeduizendpoot
Aremar	= <i>Arenicola marina</i>	= Wadpier
Hetfil	= <i>Heteromastus filiformis</i>	= Rode draadworm
Marvir	= <i>Marenzelleria viridis</i>	= Gewone groenworm
Scoarm	= <i>Scoloplos armiger</i>	= Wapenworm
Etelon	= <i>Eteone longa</i>	= Groengele wadworm
Nephom	= <i>Nephtys hombergii</i>	= Gewone zandzager
Ceredu	= <i>Cerastoderma edule</i>	= Kokkel
Macbal	= <i>Macoma balthica</i>	= Nonnetje (thans <i>Limecola balthica</i> geheten)
Myaare	= <i>Mya arenaria</i>	= Strandgaper
Corosp	= <i>Corophium</i> sp.	= slijkgarnalen
Hydulv	= Hydrobiidae	= wadslakjes

De resultaten zijn te interpreteren in de vorm van kaarten die zijn weergegeven in Bijlage 1 en Bijlage 2. Duidelijk is te zien dat voor bijna alle soorten de biomassa in de brakke Dollard beduidend lager is dan in de rest van het Eems estuarium. Een uitzondering vormen de slijkgarnalen die juist in de Dollard een hogere biomassa hebben dan elders, maar ook de Groengele wadworm en de Gewone groenworm doen het relatief goed in de Dollard.

Voor een interpretatie van de verschillen tussen de maatregelrichtingen is de totale biomassa over het gehele studiegebied als maat genomen. In Figuur 6 is de ruimtelijke verdeling in g AFDW/m² van de som van de biomassa aan bodemdieren weergegeven. Deze figuren zijn ook opgenomen in Bijlage 7. Voor het interpreteren van verschillen tussen de maatregelrichtingen is de totale biomassa aan AFDW berekend door voor iedere cel de oppervlakte (in m²) te vermenigvuldigen met de biomassa (in g AFDW/m²) en de uitkomsten te sommeren. In Bijlage 5 zijn de resultaten gegeven voor iedere maatregelrichting uitgesplitst per ecotooptype. In Tabel 3 is de totale biomassa in g AFDW van 13 macrozoobenthossoorten gegeven voor de huidige situatie (2014), autonome ontwikkeling (2050_M0) en zes maatregelrichtingen (2050_M1 t/m 2050_M6) op basis van de ingeschatte areaalveranderingen van de verschillende ecotooptypen. In Tabel 4 is de procentuele verandering van de totale biomassa ten opzichte van referentiejaar 2014 gegeven.



Figuur 6. De ruimtelijke verdeling van de totale biomassa in g AFDW/m² van 13 macrozoobenthossoorten voor de huidige situatie (2014), autonome ontwikkeling (M0) en zes maatregelrichtingen (M1 t/m M6).

Tabel 1. Gemiddelde biomassa van 13 macrozoobenthossoorten per ZES.1 ecotooptype in de Eems-Dollard.

Ecotoop ZES.1	Alisuc	Heddiv	Arema	Hetfil	Marvir	Scoarm	Etelon	Nephom	Ceredu	Macbal	Myaare	Corosp	Hydulv	SOM
supralit, brak, laag-dyn		7.74								0.46		0.12		8.32
hoog-lit, zout, laag-dyn, fijn zand		1.13	3.10			0.72	0.11		10.91	2.14		0.07	1.62	19.80
hoog-lit, zout, laag-dyn		4.27	6.98	0.19		0.61	0.06		61.19	3.13	11.89	0.26	6.30	94.88
mid-lit, brak, hoog-dyn, slibrijk	0.36	0.11		0.16	0.01					0.39	1.64	0.20	0.09	2.96
mid-lit, brak, laag-dyn, fijn zand	0.66	0.65	3.54	0.23	1.21	0.22	0.07	0.84		1.40	1.47	0.42	0.16	10.87
mid-lit, brak, laag-dyn	0.42	0.62	2.46	0.24	0.30		0.04		0.13	1.03	0.88	0.57	0.08	6.77
mid-lit, brak, laag-dyn, slibrijk	0.70	0.69	0.38	0.21	0.47	0.46	0.06		1.19	1.03	1.25	0.39	0.38	7.21
mid-lit, zout, hoog-dyn, fijn zand								0.70						0.70
mid-lit, zout, hoog-dyn			2.73		0.04	0.70	0.06	0.67		1.16			0.05	5.41
mid-lit, zout, laag-dyn, fijn zand	1.23	2.76	9.00	0.44	0.47	1.31	0.07	1.47	19.51	3.30	8.72	0.19	4.40	52.87
mid-lit, zout, laag-dyn	1.14	3.44	8.61	0.31	0.39	0.93	0.06	1.39	25.95	3.16	14.40	0.02	4.62	64.42
mid-lit, zout, laag-dyn, slibrijk	4.29	2.09	2.91	0.46	0.26	0.59	0.11	5.05	8.12	3.22	7.29	0.48	5.13	40.00
laag-lit, brak, laag-dyn, fijn zand		0.46	0.55	0.24	0.48		0.07			2.80	0.17	0.06		4.83
laag-lit, brak, laag-dyn	0.51	0.64		0.27		0.11	0.04		0.13	0.78	0.10	0.78	0.12	3.48
laag-lit, brak, laag-dyn, slibrijk	0.62	0.83		0.27	0.12		0.03			1.26	0.19	0.35	0.05	3.72
laag-lit, brak, hoog-dyn	0.86			0.17			0.05			1.34	0.51	0.20	0.08	3.21
laag-lit, brak, hoog-dyn, fijn zand		0.02	0.87	0.48	0.37		0.08			1.51	0.69	0.02	0.05	4.09
laag-lit, zout, laag-dyn, fijn zand	1.78	0.73	9.46	0.23	1.02	1.12	0.05	1.94	15.49	2.27	0.78	0.18	2.07	37.12
laag-lit, zout, laag-dyn	1.48	1.16	4.68	0.35	0.43	0.46	0.05	1.46		2.84	0.02	0.05	0.17	13.15
laag-lit, zout, laag-dyn, slibrijk	3.08	0.93	5.17	1.55	0.54	0.75	0.03	0.77	9.45	1.01	0.77	0.34	1.68	26.07
laag-lit, zout, hoog-dyn	2.07		9.01	0.16		0.23	0.01	0.23				0.47	0.05	12.23
laag-lit, zout, hoog-dyn, fijn zand			0.08			0.64	0.03			0.04				0.79
ondp subl, brak, laag-dyn		0.94		0.11			0.05			0.68	0.04	0.55		2.37
ondp subl, brak, hoog-dyn	0.40	0.35		0.09						2.44		0.12		3.40
ondp subl, zout, laag-dyn			1.77	0.16	0.02	0.56	0.03	1.72	1.30	1.90	0.01	0.03	0.12	7.62
ondp subl, zout, hoog-dyn				0.08	3.44	1.10		0.45						5.07

Tabel 2. Gemiddelde biomassa in g AFDW/m² van 13 macrozoobenthossoorten en de som over deze soorten per vereenvoudigd ecotooptype in de Eems-Dollard.

Ecotoop	Alisuc	Heddiv	Arema	Hetfil	Marvir	Scoarm	Etelon	Nephom	Ceredu	Macbal	Myaare	Corosp	Hydulv	SOM
Laagdynamisch sublitoraal brak		0.94		0.11			0.05			0.68	0.04	0.55		2.37
Hoogdynamisch litoraal brak	0.56	0.08	0.87	0.22	0.12		0.06			0.94	1.22	0.17	0.08	4.32
Laagdynamisch laaglitoraal brak	0.58	0.69	0.55	0.27	0.30	0.11	0.04		0.13	1.27	0.17	0.47	0.07	4.65
Laagdynamisch middenlitoraal brak	0.69	0.67	2.76	0.22	0.72	0.37	0.06	0.84	0.98	1.13	1.30	0.41	0.33	10.48
Supralitoraal brak		7.74								0.46		0.12		8.32
Laagdynamisch sublitoraal zout			1.77	0.16	0.02	0.56	0.03	1.72	1.30	1.90	0.01	0.03	0.12	7.62
Hoogdynamisch litoraal zout	2.07		3.94	0.16	0.04	0.47	0.04	0.46		0.88		0.47	0.05	8.58
Laagdynamisch laaglitoraal zout	2.76	0.90	7.95	0.95	0.77	0.86	0.05	1.66	14.36	2.19	0.70	0.27	1.77	35.19
Laagdynamisch middenlitoraal zout	2.69	2.87	8.34	0.41	0.38	1.10	0.07	1.83	19.48	3.24	8.24	0.27	4.62	53.54
Laagdynamisch hooglitoraal zout		3.23	5.68	0.19		0.66	0.08		44.43	2.80	11.89	0.20	4.74	73.90

Tabel 3. Totale biomassa in 10⁶ g AFDW van 13 macrozoobenthossoorten en de som over deze soorten, voor de huidige situatie (2014), autonome ontwikkeling (2050_M0) en zes maatregelrichtingen (2050_M1 t/m 2050_M6).

Maatregelrichting	Alisuc	Heddiv	Arema	Hetfil	Marvir	Scoarm	Etelon	Nephom	Ceredu	Macbal	Myaare	Corosp	Hydulv	SOM
2014	1412	1197	4843	367	310	685	45	1367	10071	2055	3015	185	1903	27456
2050_M0	1230	1035	4346	332	272	640	42	1320	8788	1938	2597	171	1644	24354
2050_M1	1229	1034	4343	331	272	639	42	1319	8781	1937	2594	171	1642	24335
2050_M2	1221	1032	4337	332	271	638	42	1314	8864	1936	2598	170	1639	24395
2050_M3	1260	1082	4442	333	275	649	43	1319	9188	1966	2763	175	1721	25217
2050_M4	1227	1041	4338	330	269	639	42	1317	8820	1939	2617	169	1652	24401
2050_M5	1228	1070	4348	332	274	641	43	1323	8788	1948	2605	174	1644	24418
2050_M6	1215	1042	4298	326	260	633	42	1305	8792	1925	2607	167	1648	24260

Tabel 4. Procentuele verandering in totale biomassa bodemdieren ten opzichte van referentiejaar 2014, voor de autonome ontwikkeling (M0) en zes maatregelrichtingen (M1 t/m M6).

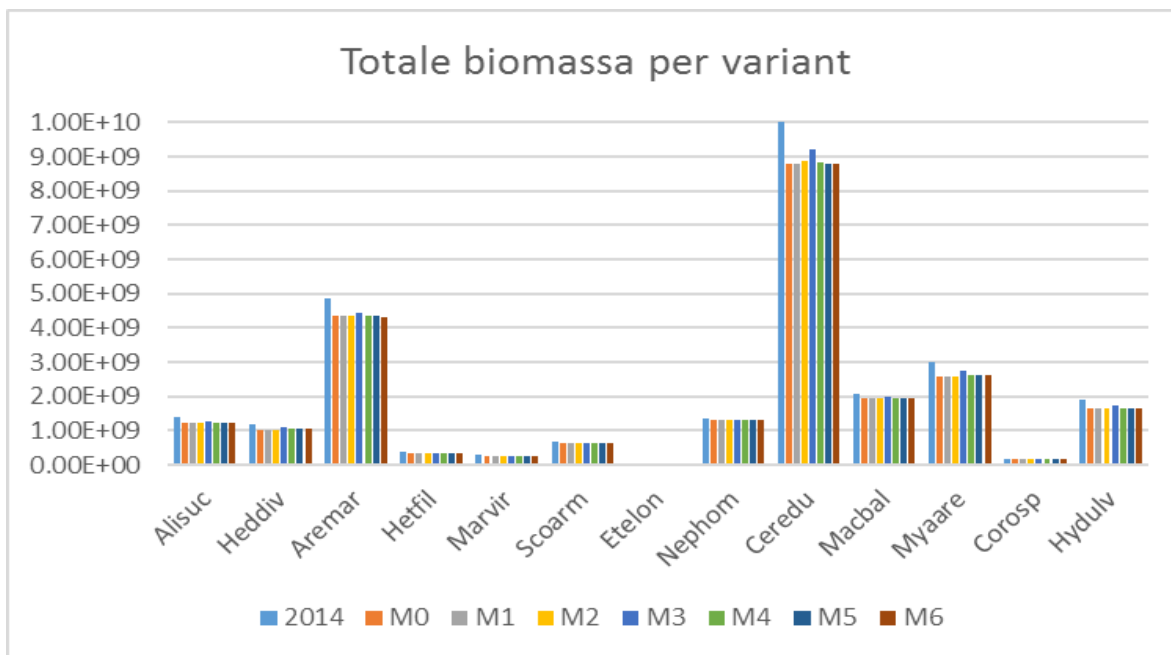
Maatregelrichting	Alisuc	Heddiv	Arema	Hetfil	Marvir	Scoarm	Etelon	Nephom	Ceredu	Macbal	Myaare	Corosp	Hydulv	SOM
2014	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
M0	87.1%	86.5%	89.7%	90.4%	87.7%	93.3%	93.4%	96.6%	87.3%	94.3%	86.1%	92.0%	86.4%	88.7%
M1	87.0%	86.4%	89.7%	90.3%	87.6%	93.3%	93.3%	96.5%	87.2%	94.2%	86.1%	92.0%	86.3%	88.6%
M2	86.5%	86.2%	89.6%	90.3%	87.5%	93.1%	93.4%	96.1%	88.0%	94.2%	86.2%	91.9%	86.1%	88.8%
M3	89.2%	90.4%	91.7%	90.7%	88.6%	94.6%	95.2%	96.5%	91.2%	95.7%	91.7%	94.3%	90.4%	91.8%
M4	86.9%	86.9%	89.6%	90.0%	86.7%	93.2%	93.2%	96.4%	87.6%	94.4%	86.8%	91.2%	86.8%	88.9%
M5	87.0%	89.4%	89.8%	90.4%	88.3%	93.5%	94.2%	96.8%	87.3%	94.8%	86.4%	93.8%	86.4%	88.9%
M6	86.0%	87.1%	88.7%	88.9%	83.9%	92.4%	92.1%	95.5%	87.3%	93.7%	86.5%	90.1%	86.6%	88.4%

De resultaten zijn afgebeeld in Figuur 7 en Figuur 8. De resultaten laten zien dat het verdrinken van de getijdegebieden als gevolg van zeespiegelstijging een grote invloed heeft op de totale biomassa van bodemdieren. Alle maatregelrichtingen laten in 2050 een afname zien, ongeacht of er hydromorfologische ingrepen worden gedaan in de Eems-Dollard. De totale biomassa in 2050 als gevolg van autonome ontwikkeling (M0) varieert per soort tussen de 86,1% en 96,6% van de oorspronkelijke biomassa in referentiejaar 2014. Het minst gevoelig voor zeespiegelstijging is de Gewone zandzager *Nephtys hombergii*, hiervan neemt de biomassa slechts met 3,4% af. Het meest gevoelig is de Strandgaper *Mya arenaria* waarvan de biomassa met 13,9% afneemt. Van de schelpdieren is het Nonnetje *Limecola balthica* het minst gevoelig voor zeespiegelstijging met een afname van 5,7%. De sommatie van alle biomassa's laat zien dat de totale biomassa aan bodemdieren in 2050 met 11,3% zal zijn afgenomen als gevolg van zeespiegelstijging. Disclaimer: de resultaten van de onderliggende modelstudie van Deltares m.b.t. zeespiegelstijging zullen worden herzien. Het model liet namelijk onvoldoende vermogen zien om mee te groeien met de zeespiegelstijging.

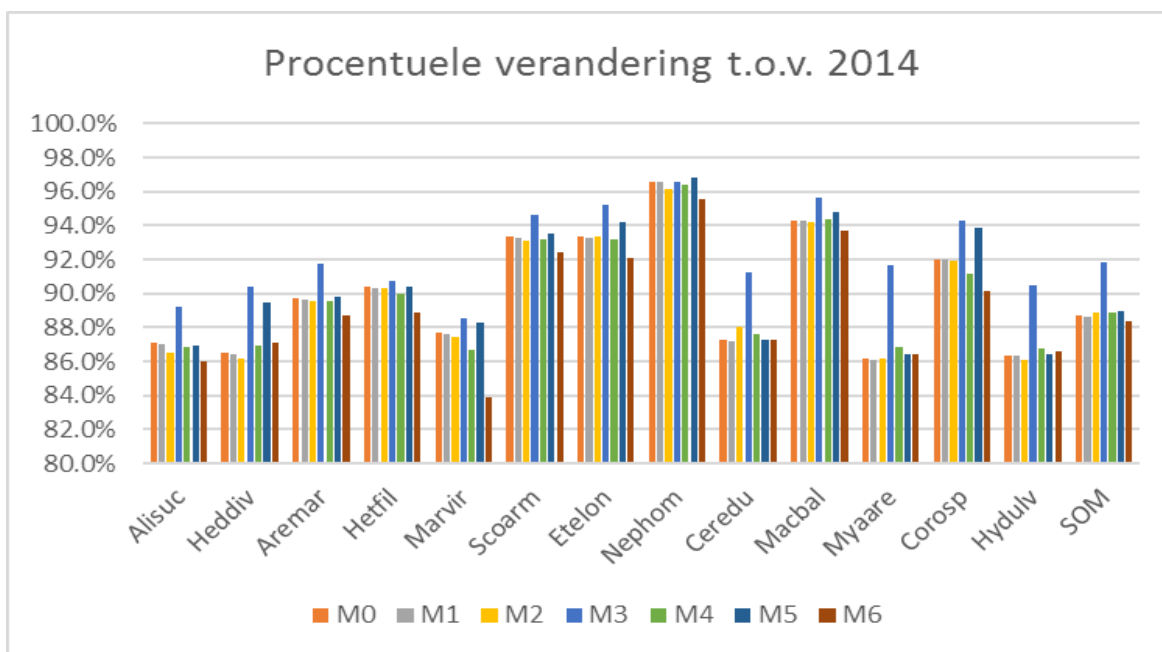
De resultaten laten zien dat de afname in totale biomassa met 8,2% het kleinst is in maatregelrichting M3. Deze maatregel compenseert de effecten van zeespiegelstijging gedeeltelijk. Na maatregelrichting M3 scoort maatregelrichting M5 het hoogst omdat hier een flink areaal wordt toegevoegd aan de Eems-Dollard. De uitbreiding van maatregelrichting M5 bestaat uit brakke ecotopen waarin de gemiddelde biomassa per vierkante meter laag is, dus de effecten zijn nog relatief klein. Een gunstige uitslag is er wel voor de Gewone zandzager *Nephtys hombergii* waarvan de totale biomassa in maatregelrichting M5 zelfs hoger is dan in maatregelrichting M3. Ook de Veelkleurige zeeduizendpoot *Hediste diversicolor*, Gewone groenworm *Marenzelleria viridis*, Groengele wadworm *Eteone longa*, en slijkgarnalen *Corophium* sp. profiteren relatief veel van maatregelrichting M5. Maatregelrichting M6 is voor litorale bodemdieren de slechtste maatregelrichting. In deze maatregelrichting vindt de grootste afname van litorale delen plaats als gevolg van de geul die in de Dollard wordt gecreëerd. Met name Gewone groenworm *Marenzelleria viridis* laat in maatregelrichting M6 een relatief grote afname zien.

Bij de andere maatregelrichtingen zijn de onderlinge verschillen niet erg groot.

In deze analyse zijn geen directe effecten van begraving van bodemdieren als gevolg van storten van sediment meegenomen. Bovendien laat de publicatie van Compton et al. (2017) zien dat er over een periode van decennia grote veranderingen in de soortensamenstelling van benthos kunnen optreden die niet verband houden met ecotoopveranderingen, maar andere oorzaken hebben zoals het arriveren van invasieve soorten, het optreden van temperatuurveranderingen en gerelateerde fysiologische effecten, en veranderingen in nutriëntentoevoer of troebelheid. De hier uitgevoerde analyse is dus vooral geschikt om een onderlinge vergelijking tussen de maatregelrichtingen te maken.



Figuur 7. Totale biomassa in g AFDW van 13 macrozoobenthossoorten voor de huidige situatie (2014), autonome ontwikkeling (M0) en zes maatregelrichtingen (M1 t/m M6).



Figuur 8. Procentuele verandering in biomassa ten opzichte van referentiejaar 2014 voor 13 macrozoobenthossoorten voor de autonome ontwikkeling (M0) en zes maatregelrichtingen (M1 t/m M6).

2.1.1.3 Vertaling van bodemdieren naar wadvogels

Een vertaling van de berekende veranderingen in biomassa bodemdieren naar wadvogels kan gemaakt worden via het dieet van de verschillende vogels. Overzichten van het dieet van wadvogels zijn gegeven voor 18 soorten in Leopold et al. (2004) en voor zes soorten in Folmer et al. (2010).

Leopold et al. (2004) deed literatuuronderzoek naar het dieet van wadvogels. Folmer et al. (2010) legde een statistische relatie tussen de dichtheid aan vogels met de lokale biomassa aan bodemdieren. Hij betrok Bonte Strandloper, Kanoet, Rosse Grutto, Scholekster, Wulp en Zilverplevier in zijn

onderzoek. In zijn 'final model' was Bonte Strandloper afhankelijk van *Nereis diversicolor*, Kanoet van *Mya arenaria*, Rosse Grutto van *Arenicola marina*, *Nephtys hombergii* en *Scoloplos armiger*, Scholekster van *Cerastoderma edule* en *Nereis diversicolor* en Zilverplevier van *Arenicola marina*. Voor Wulp werd geen statistisch relevante predictor gevonden.

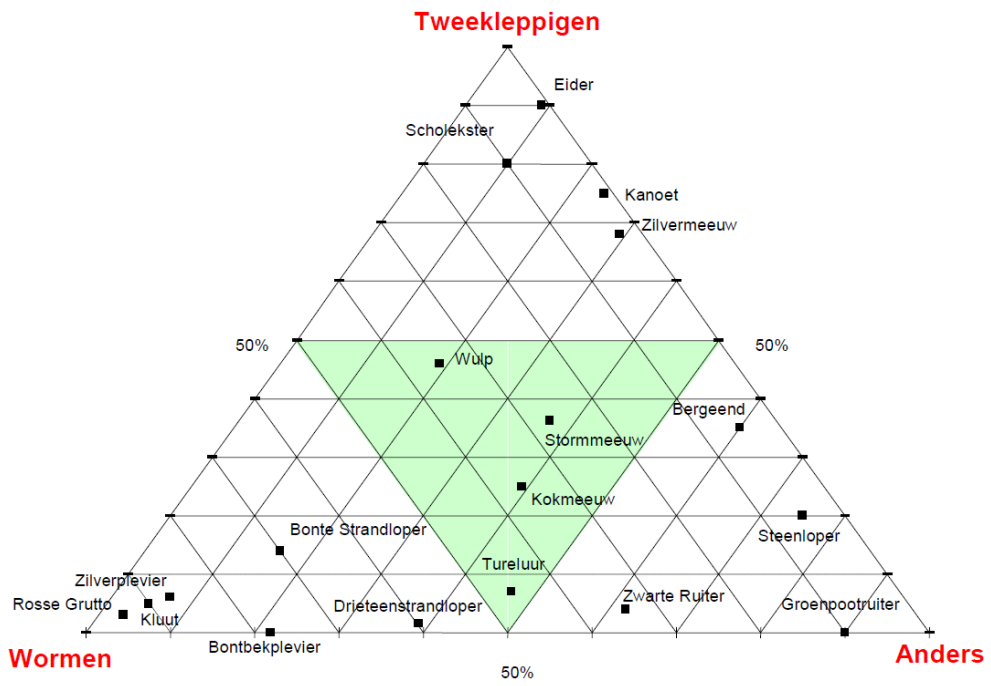
Gebaseerd op deze literatuur en de bronnen daarin, en voor de typische bodemdieren van de Eems-Dollard is het dieet voor de volgende 11 vogelsoorten bepaald: Bergeend (*Tadorna tadorna*), Scholekster (*Haematopus ostralegus*), Kluut (*Recurvirostra avosetta*), Bontbekplevier (*Charadrius hiaticula*), Zilverplevier (*Pluvialis squatarola*), Kanoet (*Calidris canutus*), Bonte strandloper (*Calidris alpina*), Rosse grutto (*Limosa lapponica*), Wulp (*Numenius arquata*), Zwarte ruiter (*Tringa erythropus*), en Tureluur (*Tringa totanus*).

In Leopold et al. (2004) is een procentuele onderverdeling gemaakt van de prooi-soorten per vogel, ingedeeld naar %Tweekleppigen, %Wormen en %Anders. Figuur 2 van Leopold et al. (2004) is onderstaand gereproduceerd. Met behulp van deze informatie is een procentuele verdeling gemaakt van het dieet van de wadvogels over de bodemdieren van bovenstaande analyse. De categorie Anders is zo goed mogelijk toegekend aan slijkgarnalen en wadslakjes wanneer de literatuur liet zien dat deze soorten onderdeel van het dieet zijn, maar soms worden ook prooien zoals krabben, garnalen, kleine vis of insecten bedoeld. N.B. Veel bronnen maken geen onderscheid tussen verschillende zeeduizendpootsoorten. Wanneer zeeduizendpoot onderdeel uit maakte van het dieet is dit toegekend aan de Veelkleurige zeeduizendpoot. De prooiverdeling is gepresenteerd in Tabel 5.

De vogelsoorten zijn beschreven door een zeslettercode met de volgende betekenis:

Tadtad	= <i>Tadorna tadorna</i>	= Bergeend
Haeost	= <i>Haematopus ostralegus</i>	= Scholekster
Recavo	= <i>Recurvirostra avosetta</i>	= Kluut
Chahia	= <i>Charadrius hiaticula</i>	= Bontbekplevier
Plusqu	= <i>Pluvialis squatarola</i>	= Zilverplevier
Calcan	= <i>Calidris canutus</i>	= Kanoet
Calalp	= <i>Calidris alpina</i>	= Bonte <u>strandloper</u>
Limlap	= <i>Limosa lapponica</i>	= Rosse <u>grutto</u>
Numarq	= <i>Numenius arquata</i>	= Wulp
Triery	= <i>Tringa erythropus</i>	= Zwarte ruiter
Tritot	= <i>Tringa totanus</i>	= Tureluur

Als volgende stap is het procentuele dieet vermenigvuldigd met de totale biomassa aan bodemdieren (Tabel 3) zodat een maat wordt gekregen voor de totale biomassa aan beschikbaar voedsel (de totale draagkracht), per vogelsoort. Opgemerkt moet worden dat dit een grote vereenvoudiging van de werkelijkheid is. Hierna is de totale draagkracht aan voedsel procentueel uitgedrukt ten opzichte van referentiejaar 2014, Tabel 6. De procentuele verandering in draagkracht voor vogels, afgeleid van de ecotopensamenstelling en de biomassa aan bodemdieren in de ecotopen, geeft een maat voor de veranderingen in de geschiktheid van de Eems-Dollard als leefgebied voor vogels.



Figuur 9. Het dieet van wadvogels, uit Leopold et al. (2004).

Tabel 5. Procentueel aandeel van bodemdieren in het dieet van 11 vogelsoorten.

Vogelsoort	Alisuc	Heddiv	Arema	Hetfil	Marvir	Scoarm	Etelon	Nephom	Ceredu	Macbal	Myaare	Corosp	Hydulv	ANDERS
Bergeend (<i>Tadorna tadorna</i>)		5%								35%			60%	
Scholekster (<i>Haematopus ostralegus</i>)		10%							60%	20%				10%
Kluut (<i>Recurvirostra avosetta</i>)		90%							2%	3%		5%		
Bontbekplevier (<i>Charadrius hiaticula</i>)		38%		20%		20%							22%	
Zilverplevier (<i>Pluvialis squatarola</i>)		57%	10%	10%				10%	3%	3%		7%		
Kanoet (<i>Calidris canutus</i>)									10%	60%	5%		25%	
Bonte strandloper (<i>Calidris alpina</i>)		30%		5%	25%	5%		5%	7%	7%		8%	8%	
Rosse grutto (<i>Limosa lapponica</i>)		20%	14%	20%		20%		20%		3%		3%		
Wulp (<i>Numenius arquata</i>)		20%	15%						23%	23%				19%
Zwarte ruiter (<i>Tringa erythropus</i>)		34%								4%		62%		
Tureluur (<i>Tringa totanus</i>)		16%				15%		15%		7%		24%	23%	

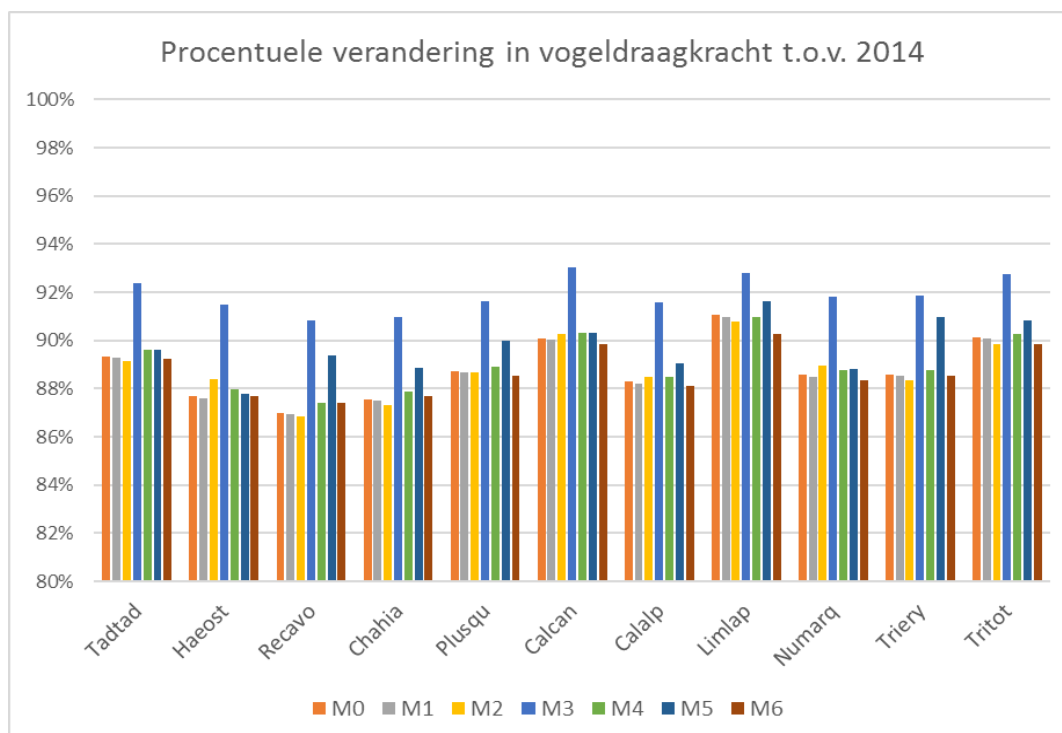
Tabel 6. Procentuele verandering in vogeldraagkracht ten opzichte van 2014.

Maatregelrichting	Tadtad	Haeost	Recavo	Chahia	Plusqu	Calcan	Calalp	Limlap	Numarq	Triery	Tritot
2014	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
M0	89%	88%	87%	88%	89%	90%	88%	91%	89%	89%	90%
M1	89%	88%	87%	87%	89%	90%	88%	91%	89%	89%	90%
M2	89%	88%	87%	87%	89%	90%	88%	91%	89%	88%	90%
M3	92%	91%	91%	91%	92%	93%	92%	93%	92%	92%	93%
M4	90%	88%	87%	88%	89%	90%	89%	91%	89%	89%	90%
M5	90%	88%	89%	89%	90%	90%	89%	92%	89%	91%	91%
M6	89%	88%	87%	88%	89%	90%	88%	90%	88%	89%	90%

2.1.1.4 Resultaten voor leefgebied wadvogels

Figuur 10 laat de resultaten voor de procentuele verandering in de draagkracht voor wadvogels als staafdiagram zien. Als gevolg van zeespiegelstijging verdwijnen er getijdengebieden en hiermee neemt de draagkracht voor wadvogels af. Het meest te lijden heeft de Kluut die in de autonome ontwikkeling (M0) een afname van de draagkracht van 13% laat zien. Kluut heeft zeeduizendpoot als stapelvoedsel en deze heeft van de wormachtigen een relatief grote afname, zie Figuur 8. Ook de kokkel-eter Scholekster laat een relatief grote afname zien omdat de kokkel sterk afneemt in de Eems-Dollard. Als derde gevoelige soort komt de Bontbekplevier naar voren, omdat voor deze soort de draagkracht wordt bepaald door de beschikbaarheid van zeeduizendpoot en wadslakjes en die doen het allebei slecht bij zeespiegelstijging. Het minst gevoelig voor zeespiegelstijging is de Rosse Grutto, met een afname van 'slechts' 9%. Dit komt met name doordat Gewone zandzager en Wapenworm een belangrijk aandeel in de draagkracht hebben en deze soorten zijn niet erg gevoelig. Dit geldt ook voor de Tureluur. Als derde beste komt Kanoet naar voren, een schelpdiereter die voornamelijk Nonnetje in het dieet heeft en deze tweekleppige is relatief ongevoelig voor zeespiegelstijging.

Maatregelrichting M3 is het meest gunstig voor het zoveel mogelijk in stand houden van het leefgebied van wadvogels. De toename van plaatareaal compenseert gedeeltelijk de effecten van zeespiegelstijging en hiervan profiteren alle soorten. Als tweede beste komt maatregelrichting M5 naar voren. In deze maatregelrichting is er uitbreiding van het getijdengebied en hiervan profiteren met name Kluut en Zwarte Ruiter en in iets mindere mate Bontbekplevier, Zilverplevier, Bonte strandloper, Rosse Grutto en Tureluur. Maatregelrichting M5 scoort niet gunstig voor schelpdieretende vogels. Er is geen duidelijk slechtste maatregelrichting voor het leefgebied van wadvogels. De onderlinge verschillen zijn slechts klein. Maatregelrichting M1 scoort het slechtst voor Scholekster. Maatregelrichting M2 scoort het slechtst voor Bergeend, Kluut, Bontbekplevier en Zwarte Ruiter. Maatregelrichting M6 scoort het slechtst voor Zilverplevier, Kanoet, Bonte strandloper, Rosse Grutto, Wulp en Tureluur.



Figuur 10. Procentuele verandering in vogeldraagkracht ten opzichte van referentiejaar 2014 voor 11 vogelsoorten, voor de autonome ontwikkeling (M0) en zes maatregelrichtingen (M1 t/m M6).

2.1.2 Voldoende leefgebieden van goede kwaliteit voor vissen

Leefgebieden voor vissen kunnen worden ook uitgewerkt door middel van habitatgeschiktheidsmodellering, maar dan voor de permanent onderwater liggende delen. In deze studie zijn op basis van de ecotopensamenstelling in de Eems-Dollard uitspraken te doen *op hoofdlijnen* over de kwaliteit en de kwantiteit van leefgebieden voor vissen.

Een analyse is gemaakt op basis van data van verspreiding van vissen gecombineerd met de ecotopensamenstelling van de Eems-Dollard (Ysebaert et al., 2015; Baptist et al., 2016). De monsterstations voor de vissen zijn hierbij geprojecteerd op de ecotopen waarna de gemiddelde vissamenstelling per ecotooptype is berekend. Door de veranderingen in oppervlaktes aan ecotopen te analyseren kan de hieruit volgende potentiële verandering in de visstand berekend worden. Voor de analyse zijn gegevens uit de Demersal Fish Survey (DFS) gebruikt zoals die zijn verzameld door WMR. De DFS wordt vanaf 1970 jaarlijks uitgevoerd in Nederlandse kustzone en in de Waddenzee. Er zijn selecties uitgevoerd op de gehele dataset:

1. Het DFS visgebied Eems-Dollard is geselecteerd.
2. Data van de jaren 2000 t/m 2016 zijn geselecteerd om 'recente aantallen' te analyseren.
3. Er zijn 11 vissoorten geselecteerd die in de DFS vangsten in statistisch voldoende hoge dichtheden worden gevangen om er trends uit te analyseren en representatief zijn voor drie ecologische gildes:

Estuarien residente soorten: Harnasmannetje, Bot, Gewone Zeedonderpad, Vijfdradige meun en Puitaal;

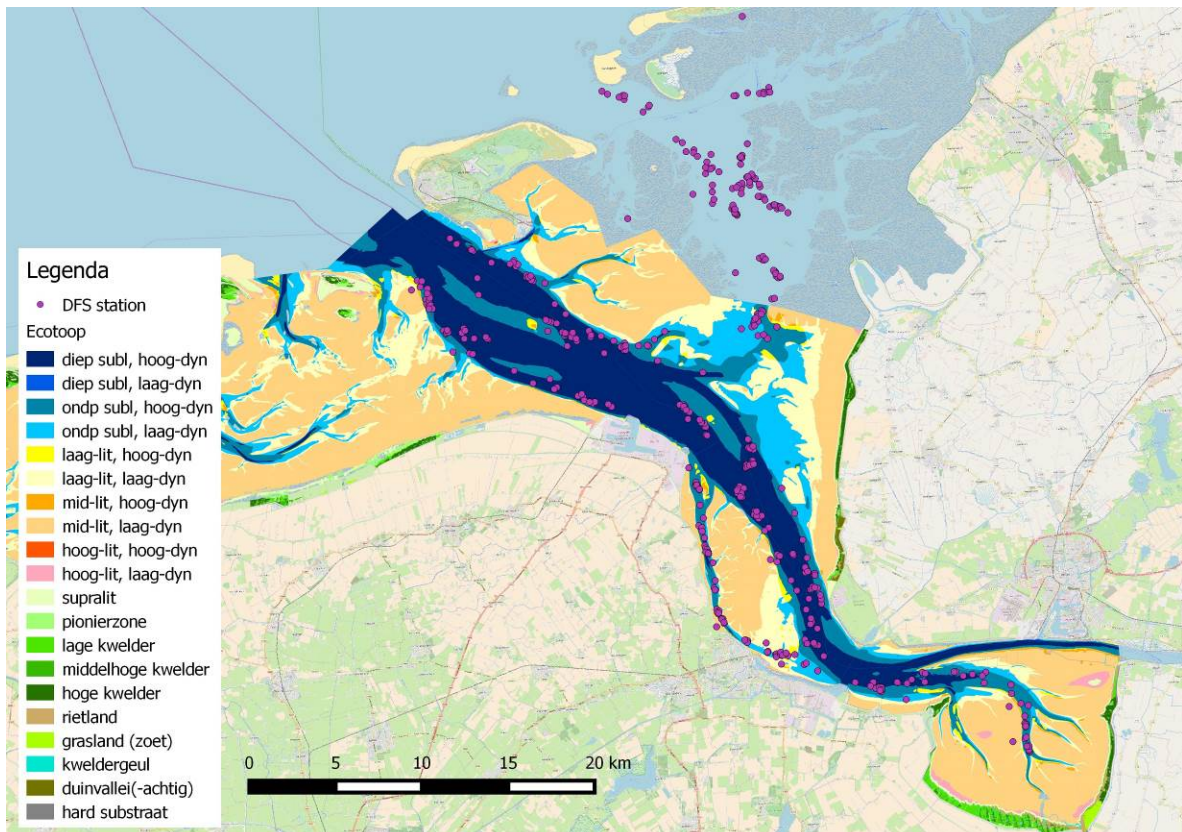
Marien juveniele soorten: Rode poon, Schar, Wijting, Schol en Tong;

Diadrome soort: Paling.

2.1.2.1 Methode

Voor iedere vissoort is in Excel een tabel gemaakt met in ieder jaar de vangsten (n/ha) en de coördinaten in WGS84 van iedere vangst. Deze tabel is uitgevoerd als .csv bestand en ingelezen in QGIS 2.8.2. De ZES.1 ecotopenkaarten van de Eems-Dollard (zowel het Nederlandse als het Duitse deel) zijn geconverteerd naar WGS84. Hierna is er voor ieder vissoort een Geoprocessing Intersect operatie uitgevoerd met de vangsten op de onderliggende ecotopenkaarten. Dit levert een uitbreiding van de Attribute Table van de visvangsten op met de ZES.1 ecotopen waarin de vissen zijn gevangen.

Er worden 25-33 DFS-vistrekken per jaar uitgevoerd in het deelgebied Eems-Dollard. Niet alle beviste stations liggen in het deel van de Eems-Dollard waarvoor een ecotopenkaart beschikbaar is, zie Figuur 11. In totaal zijn er 347 DFS stations toegekend aan ZES.1 ecotopen. Deze Attribute Table is gekopieerd naar Excel. In Excel is een Pivot Table gemaakt om de gemiddelde vangsten in ieder ecotoop te berekenen. Enkele (meestal 1 per ecotoop) DFS-stations werden toegekend aan litorale ecotopen; deze zijn verder niet meegenomen in de analyse.



Figuur 11. De DFS monsters in de Eems-Dollard afgebeeld op de ecotopenkaart Waddenzee.

De vangsten per ZES.1 ecotoop zijn uitgevoerd als .csv bestand. Om de dichtheid aan vis per ecotoop te presenteren zijn eerst de ecotopenkaarten geconverteerd naar RDnew coördinatensysteem. Vervolgens is het .csv bestand met de vangsten per ecotoop ingelezen in QGIS als attribute table without geometry. Hierna is een Vector Join operatie uitgevoerd met de attribute table op de Ecotopenkaarten, door middel van Properties, Joins waarbij het veld EcotoopTek de link geeft tussen de bestanden. De uitvoer bestaat uit extra kolommen in de Attribute Table van de ZES.1 ecotopenkaarten die de gemiddelde dichtheid vis per ecotoop bevatten zodat deze geografisch kunnen worden afgebeeld.

Voor de analyse van de maatregelrichtingen is een vereenvoudiging gemaakt. Het ZES.1 ecotopenstelsel bevat meer klassen dan de vereenvoudigde ecotopen die door Deltares zijn opgeleverd. Daarom zijn alle hoogdynamische ondiepe en diepe ecotopen gebundeld tot hoogdynamisch sublitoraal en alle laagdynamische ondiepe en diepe ecotopen zijn gebundeld tot laagdynamisch sublitoraal. Wel is er onderscheid gemaakt tussen brak en zout. Dit resulteerde in vier ecotooptypen met dichtheden van vissen. Hiervan is een .csv bestand gemaakt die in QGIS is ingelezen als attribute table without geometry. Hierna is een Vector Join operatie uitgevoerd met de attribute table op de vereenvoudigde ecotopenkaarten, door middel van Properties, Joins waarbij het veld Ecotope de link geeft tussen de bestanden. De uitvoer bestaat uit extra kolommen in de Attribute Table van de vereenvoudigde ecotopenkaarten die de gemiddelde dichtheid vis per ecotoop bevatten. Omdat de uitvoer van het model domein een heel groot gedeelte Noordzee beslaat waar de condities voor de vis onveranderd blijven, is er gekozen om een uitsnede te maken voor het kombergingsgebied Eems-Dollard. Dit is bereikt door de kaarten met visdichtheid te bewerken in Geoprocessing Tools, Clip met de kombergingskaart voor de Eems-Dollard. Voor maatregelrichting M5 is de uitbreiding met voorheen binnendijks gebied niet meegenomen in deze analyse.

2.1.2.2 Resultaten

De dichtheid aan vis per ZES.1 ecotoop is gegeven in Tabel 7. Er is onderscheid gemaakt tussen zes ecotooptypen. In de vereenvoudigde indeling die aansluit op de Deltares uitvoer kon onderscheid gemaakt worden tussen vier ecotopen. De dichtheid aan vis per vereenvoudigd ecotoop is gegeven in Tabel 8.

Een zeslettercode is gebruikt voor de soortnamen van de vis volgens:

Agocat	= <i>Agonus cataphractus</i>	= Harnasmannetje
Angang	= <i>Anguilla anguilla</i>	= Paling
Cheluc	= <i>Chelidonichthys lucerna</i>	= Rode poon
Cilmus	= <i>Ciliata mustela</i>	= Vijfdradige meun
Limlim	= <i>Limanda limanda</i>	= Schar
Mermer	= <i>Merlangius merlangus</i>	= Wijting
Myosco	= <i>Myoxocephalus scorpius</i>	= Gewone zeedonderpad
Plafle	= <i>Platichthys flesus</i>	= Bot
Plepla	= <i>Pleuronectes platessa</i>	= Schol
Solsol	= <i>Solea solea</i>	= Tong
Zoaviv	= <i>Zoarces viviparus</i>	= Puitaal

De ruimtelijke verdeling van de vis per ecotooptype is gegeven in Bijlage 3 en Bijlage 4. Opvallend is onder meer dat de soorten Paling *Anguilla anguilla*, Bot *Platichthys flesus* en Tong *Solea solea* in relatief hoge dichtheden voorkomen in brak water en dat Harnasmannetje *Agonus cataphractus*, Puitaal *Zoarces viviparus* en Schol *Pleuronectes platessa* in relatief hoge dichtheden voorkomen in het ondiepe sublitoraal. Vijfdradige meun *Ciliata mustela* en Wijting *Merlangius merlangus* zijn juist soorten die vooral in hoogdynamisch diep sublitoraal werden aangetroffen.

Tabel 7. Gemiddelde dichtheid in n/ha van 11 vissoorten per ZES.1 ecotooptype in de Eems-Dollard.

ZES.1 ecotooptype	Agocat	Angang	Cheluc	Cilmus	Limlim	Mermer	Myosco	Plafle	Plepla	Solsol	Zoaviv
diep subl, brak, hoog-dyn	0.20			12.46		0.60	2.27	17.16	178.00	48.89	0.44
diep subl, zout, hoog-dyn	5.04	0.08	1.43	15.52	14.64	7.22	2.99	8.11	92.88	42.78	1.27
ondp subl, brak, hoog-dyn	1.37	0.80		11.47	0.95	0.51	1.10	77.73	87.53	76.41	1.20
ondp subl, brak, laag-dyn				7.19	4.80			4.80	67.15	40.77	
ondp subl, zout, hoog-dyn	5.78	0.12	1.87	13.25	29.50	3.65	5.93	14.14	193.88	69.47	6.93
ondp subl, zout, laag-dyn	6.07	0.07	0.38	4.85	4.04	1.28	4.32	41.50	289.29	12.15	7.77

Tabel 8. Gemiddelde dichtheid in n/ha van 11 vissoorten per vereenvoudigd ecotooptype in de Eems-Dollard.

Ecotoop	Agocat	Angang	Cheluc	Cilmus	Limlim	Mermer	Myosco	Plafle	Plepla	Solsol	Zoaviv
Hoogdynamisch sublitoraal brak	1.08	0.60		11.72	0.72	0.53	1.39	62.58	110.15	69.53	1.01
Hoogdynamisch sublitoraal zout	5.30	0.09	1.58	14.74	19.73	6.00	4.00	10.18	127.46	51.92	3.21
Laagdynamisch sublitoraal brak				7.19	4.80			4.80	67.15	40.77	
Laagdynamisch sublitoraal zout	6.07	0.07	0.38	4.85	4.04	1.28	4.32	41.50	289.29	12.15	7.77

Tabel 9. Totaal aantal in duizendtallen van 11 vissoorten en de som over deze soorten, voor de huidige situatie (2014), autonome ontwikkeling (M0) en zes maatregelrichtingen (M1 t/m M6).

Maatregelrichting	Agocat	Angang	Cheluc	Cilmus	Limlim	Mermer	Myosco	Plafle	Plepla	Solsol	Zoaviv	SOM
2014	146	4	32	352	395	121	110	728	4920	1318	120	8246
M0	162	5	34	378	423	129	122	816	5597	1403	137	9204
M1	162	5	34	378	423	129	122	818	5600	1406	137	9214
M2	159	5	33	369	411	126	120	815	5531	1375	136	9079
M3	151	4	33	364	408	124	114	755	5130	1363	125	8571
M4	162	5	34	378	422	129	122	822	5597	1407	137	9214
M5	162	5	34	379	423	129	122	818	5588	1409	137	9206
M6	162	5	34	391	428	130	122	856	5659	1483	136	9405

Tabel 10. Procentuele verandering in totaal aantal vissen ten opzichte van referentiejaar 2014, voor de autonome ontwikkeling (M0) en zes maatregelrichtingen (M1 t/m M6).

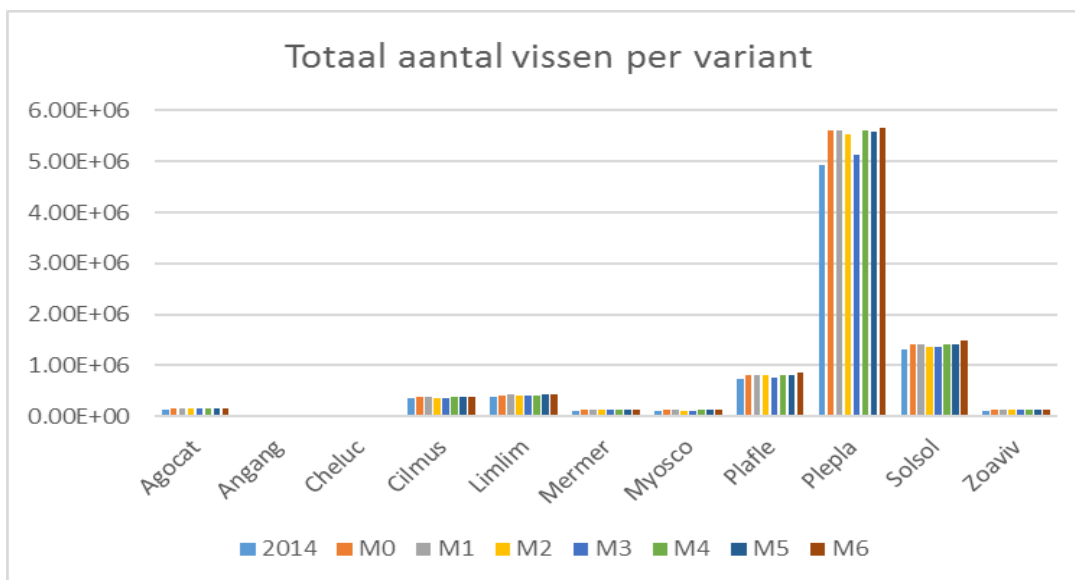
Maatregelrichting	Agocat	Angang	Cheluc	Cilmus	Limlim	Mermer	Myosco	Plafle	Plepla	Solsol	Zoaviv	SOM
2014	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
M0	111.2%	104.9%	107.0%	107.2%	107.1%	106.7%	110.7%	112.0%	113.8%	106.4%	114.5%	111.6%
M1	111.3%	105.4%	107.1%	107.4%	107.2%	106.8%	110.8%	112.3%	113.8%	106.7%	114.6%	111.7%
M2	109.3%	104.7%	104.3%	104.9%	104.2%	104.1%	108.9%	111.9%	112.4%	104.3%	113.2%	110.1%
M3	103.7%	102.3%	103.1%	103.4%	103.3%	103.1%	103.6%	103.7%	104.3%	103.4%	104.2%	103.9%
M4	111.1%	106.3%	106.9%	107.3%	106.9%	106.7%	110.7%	112.8%	113.8%	106.7%	114.5%	111.7%
M5	111.1%	105.8%	107.2%	107.5%	107.3%	107.0%	110.7%	112.3%	113.6%	106.9%	114.2%	111.6%
M6	111.2%	115.0%	107.4%	111.1%	108.3%	107.5%	111.1%	117.5%	115.0%	112.4%	113.8%	114.1%

Voor een interpretatie van de verschillen tussen de maatregelrichtingen is het totale aantal vis in het kombergingsgebied Eems-Dollard als maat genomen. Het totale aantal wordt berekend door voor iedere cel de oppervlakte (in ha) te vermenigvuldigen met de dichtheid (in n/ha) en de uitkomsten te sommeren. Let op: deze methode levert geen goede bestandsschatting van de vissoorten op, maar wordt hier puur gebruikt om de maatregelrichtingen onderling met elkaar te vergelijken. In Bijlage 6 zijn de resultaten gegeven voor iedere maatregelrichting uitgesplitst per ecotooptype. In Tabel 9 en Figuur 12 is het totale aantal van 11 vissoorten gegeven voor de huidige situatie (2014), de autonome ontwikkeling (2050_M0) en de zes maatregelrichtingen (2050_M1 t/m 2050_M6).

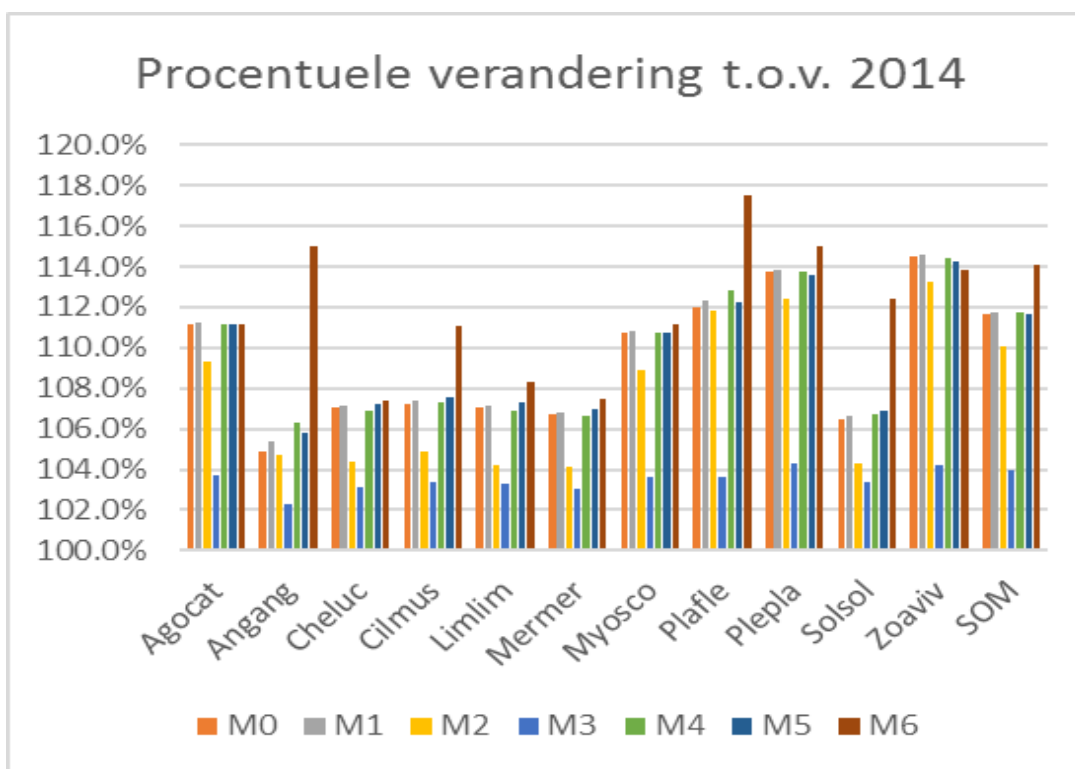
De resultaten laten zien dat door de zeespiegelstijging het oppervlakte sublitorale ecotopen toeneemt hetgeen in deze analyse leidt tot een toename van het totaal aantal vissen. Dit is uiteraard een vereenvoudiging van de werkelijkheid, want de omvang van visbestanden wordt niet alleen door het areaal en de geschiktheid van het habitat bepaald.

Alle maatregelrichtingen laten in 2050 een toename zien, ongeacht of er hydromorfologische ingrepen worden gedaan in de Eems-Dollard. Wel zijn er verschillen tussen de vissoorten. Het totaal aantal vissen in 2050 als gevolg van autonome ontwikkeling (M0) varieert per soort tussen de 104,9% en 114,5% van het oorspronkelijke aantal in referentiejaar 2014. Het minst gevoelig voor zeespiegelstijging is de Paling, hiervan neemt het aantal met slechts 4,9% toe. Het meest profiteren de Puitaal en de Schol waarvan het totale aantal met respectievelijk 14,5% en 13,8% toeneemt. Beide soorten zijn in de DFS-survey veel aangetroffen in het (ondiepe) laagdynamische sublitoraal waarvan het areaal relatief veel toeneemt als gevolg van zeespiegelstijging.

De resultaten laten verder zien dat de toename in aantallen vis het kleinst is in maatregelrichting M3. De maatregelen van maatregelrichting M3 leiden tot de minst grote toename aan sublitorale ecotopen vergeleken met de andere maatregelrichtingen. Maatregelrichting M3 is voor de vissen van de Eems-Dollard de minst profijtelijke maatregelrichting. Ook maatregelrichting M2 scoort niet erg hoog. Dit geldt met name voor de soorten Rode Poon, Vijfdradige meun, Schar, Wijting en Tong. In maatregelrichting M6 wordt de grootste uitbreiding van sublitorale ecotopen gerealiseerd. Maatregelrichting M6 is voor de vissen van de Eems-Dollard de beste maatregelrichting. Voor een aantal soorten is er een relatief grote toename in maatregelrichting M6, met name voor soorten die profiteren van brak water omdat in maatregelrichting M6 sublitoraal ecotoop wordt toegevoegd in het brakke gedeelte van de Eems-Dollard. Hiervan profiteren de soorten Paling (+15,0%), Vijfdradige meun (+11,1%), Bot (+17,5%) en Tong (+12,4%). Paling is een diadrome soort en is voor het grootste deel van de populatie tijdelijk aanwezig in de ecotopen, op doortrek naar binnenwateren. De marien juveniele soorten gebruiken het estuarium om op te groeien en zijn alleen de eerste levensjaren in de ecotopen aanwezig. Voor de estuarien residente soorten, zoals Vijfdradige meun en Bot, is maatregelrichting M6 gunstig voor hun gehele levensloop. Tussen de overige maatregelrichtingen M0, M1, M4 en M5 zijn de onderlinge verschillen klein, zeker wanneer dit wordt vergeleken met de jaar-op-jaar variatie in de vangsten, die ordes van grootte verschillen van elkaar.



Figuur 12. Totaal aantal van 11 vissoorten voor de huidige situatie (2014), autonome ontwikkeling (M0) en zes maatregelrichtingen (M1 t/m M6).



Figuur 13. Procentuele verandering in aantallen ten opzichte van referentiejaar 2014 voor 11 vissoorten voor de autonome ontwikkeling (M0) en zes maatregelrichtingen (M1 t/m M6).

2.1.3 Vorm en ligging van geulen, platen en slikken veranderen

Met het streefbeeld 'Vorm en ligging van geulen, platen en slikken veranderen' wordt bedoeld dat er afslag en aanwas is als gevolg van hydromorfologische processen zoals stroming en golven. De hydrodynamiek in het estuarium moet groot genoeg zijn voor afslag en aanwas, en deze dynamiek wordt niet beperkt door ingrepen als afdamming, insluiting of insnoering. Een criterium hiervoor is dat geulen, platen en slikken met elkaar zijn verbonden zonder obstructies, dus het ontbreken van (strek)dammen, dijken en andere menselijke constructies is bevorderlijk voor dit criterium.

In de maatregelrichtingen M4 en M6 wordt de hydrodynamiek in grote mate beïnvloed door dammen. De dammen doorbreken de bestaande graduele overgangen tussen ecotopen in de Dollard en

beperken de hydrodynamiek. In maatregelrichting M5 is er een uitbreiding van het estuarium, maar deze uitbreiding is ingesnoerd tussen dijken. In maatregelrichting M3 wordt gebaggerd sediment opgebracht in een luw gedeelte van de Eems-Dollard waar dit sediment blijft liggen. Hoewel maatregelrichting M3 resulteert in een verandering van de vorm van een plaat en slik (Rysumer Nacken) leidt dit tot vermindering van de natuurlijke morfodynamische processen in dit gebied. In maatregelrichting M2 wordt gebaggerd materiaal verspreid in een gebied van waaruit het naar verwachting wegstroomt naar de Oostereems zonder dat het verspreidingsgebied opvult. Hiermee blijven de huidige morfodynamische processen redelijk in stand. Afgezien van de reeds aanwezige invloed van vaargeulverdieping heeft maatregelrichting M1 (afvoeren opgebaggerd sediment) de minste invloed op de waterbeweging en morfodynamische processen.

2.1.4 Passende morfologische dimensies in het estuarium

Een natuurlijk estuarium kent bepaalde verhoudingen tussen de lengte-breedte-diepte van het estuarium die passen bij een natuurlijke morfodynamiek. De ideale estuariumvorm is een vorm waarin de convergentie van de oevers dusdanig is dat de opslingering van het getij wordt gecompenseerd door een toenemende wrijving. De exponentiële trechtervorm van estuaria bereikt deze balans. In deze vorm nemen de breedte en de dwarsdoorsnede exponentieel af over de lengte van het estuarium. Deze vorm wordt wiskundig beschreven door (Savenije 2005):

$$A(x) = A_0 \exp\left(-\frac{x}{a}\right)$$

en

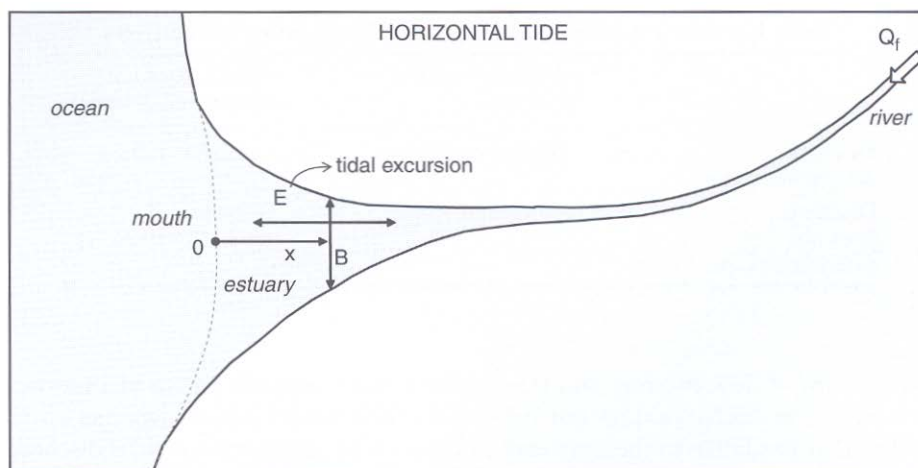
$$B(x) = B_0 \exp\left(-\frac{x}{b}\right)$$

Hierin is A de oppervlakte van de dwarsdoorsnede (m^2), A_0 is de oppervlakte van de dwarsdoorsnede aan de monding (m^2), x is de afstand tot de monding (km), a is de convergentielengte voor de dwarsdoorsnede (km), B is de breedte (m), B_0 is de breedte aan de monding (m) en b is de convergentielengte voor de breedte (km). Het verband tussen A en B wordt gegeven door:

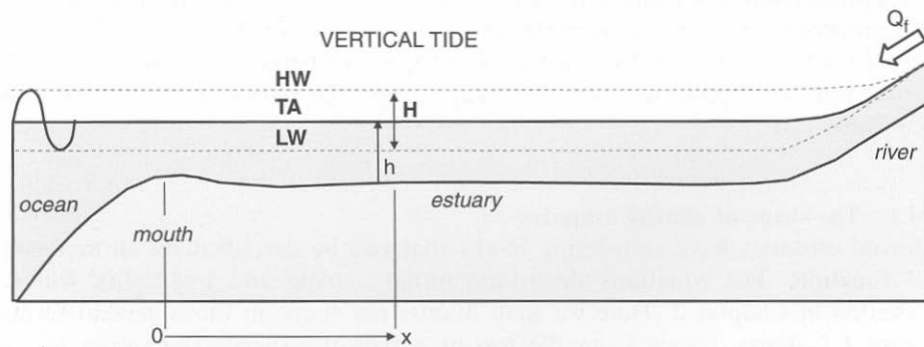
$$A = hB$$

Hierin is h de over de dwarsdoorsnede gemiddelde diepte (m).

De vorm van estuaria is geschematiseerd weergegeven in Figuur 14 en Figuur 15.



Figuur 14. Schets voor de vorm van een estuarium, bovenaanzicht. x = afstand tot de monding, B = breedte, E = getij-exkursie, Q_f = rivierafvoer (Savenije, 2005).



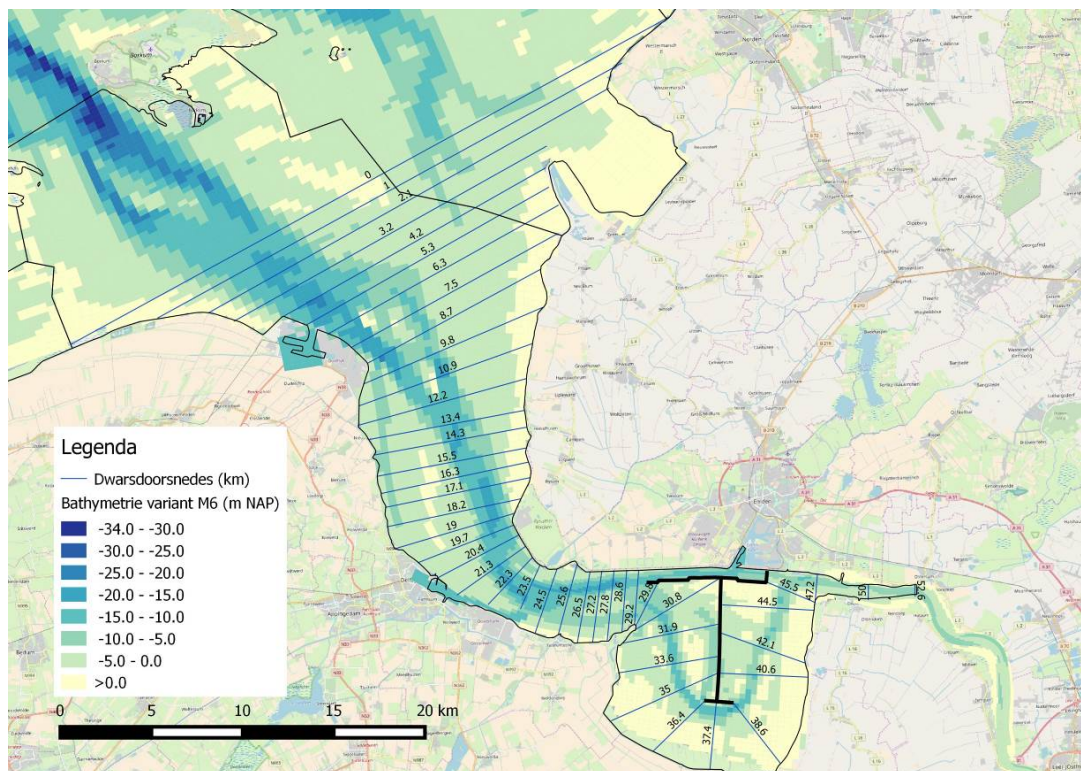
Figuur 15. Schets voor de vorm van een estuarium, zijaanzicht. HW = High Water, TA = Tidal Average, LW = Low Water, H = tidal amplitude, h = water depth (Savenije, 2005).

Voor ieder van de doorgerekende maatregelen is beoordeeld in hoeverre de Eems-Dollard voldoet aan de ideale trechtervorm.

2.1.4.1 Methode

In QGIS zijn dwarsdoorsnedes getekend in het Eems-Dollard estuarium. De dwarsdoorsnedes lopen loodrecht op de talweg (het diepste deel van de geul) van Duitse dijk tot Nederlandse dijk. De onderlinge afstand is ongeveer 1 km. Waar de dwarsdoorsnedes niet parallel aan elkaar lopen, als gevolg van bochten in de geul, is de onderlinge afstand gemeten bij de talweg. Vervolgens is in QGIS een Join Attributes by Location commando uitgevoerd op de dieptekaarten voor iedere maatregelrichting. Hierbij is de uitvoer gemiddeld over de lengte van de dwarsdoorsnede. Dit levert de over de dwarsdoorsnede gemiddelde diepte h op. Het product van h met de breedte van de dwarsdoorsnede B levert de oppervlakte van de dwarsdoorsnede A op.

De monding van het estuarium is gekozen bij de aanlanding van het wantij onder Rottum tot aan de aanlanding van het wantij onder Juist. De dwarsdoorsnede van de monding (A_0) is opgelegd voor $x=0$ en vervolgens is een exponentiële relatie gefit door de meetpunten. In de Dollard is geen dwarsdoorsnede gekozen behalve voor maatregelrichting M6, waarin een geul in de Dollard is aangelegd en waarin meerdere dwarsdoorsnedes door de nieuwe geul zijn bepaald.

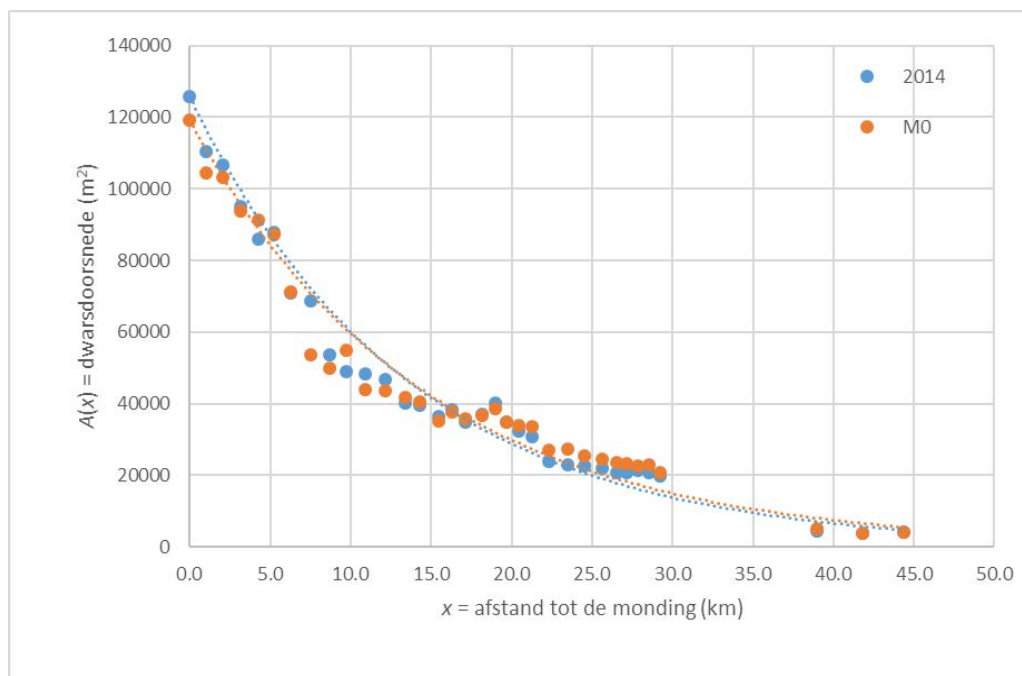


2.1.4.2 Resultaten

De breedte van het Eems-Dollard estuarium is beïnvloed door talloze bedijkingen, inpolderingen en aanleg van havens. Het estuarium reageert op veranderingen in de breedte door de dieptes aan te passen. De relaties voor de oppervlakte van de natte dwarsdoorsnede $A = hB$ geven daarom een betere kijk op een zo natuurlijk mogelijk morfologisch evenwicht dan die voor de breedte B . Bovendien verandert voor de maatregelrichtingen M0 t/m M5 de relatie voor de breedte niet omdat de dijken op hun plaats blijven. Maatregelrichting M5 voegt weliswaar een extra getijdengebied toe, maar hierdoor verandert de breedte van het eigenlijke estuarium niet. Maatregelrichting M6 is wel heel verschillend en deze zal verderop behandeld worden.

Figuur 17 laat de gefitte exponentiele relaties zien voor de oppervlakte van de natte doorsnede in de huidige situatie (2014) en de autonome ontwikkeling in 2050 (M0). Opvallend is dat in de huidige situatie de natte doorsnede tussen km 8.7 en km 15.5 kleiner is dan de theoretisch optimale exponentiele functie. Dit is het traject door het noordelijke deel van de Hond-Paap, die dus theoretisch dieper had moeten zijn. Vanaf km 18.2 t/m km 21.3 is de huidige natte dwarsdoorsnede juist groter dan het theoretisch optimale; hier zou dus verondieping moeten optreden. De grootste afwijking met de gefitte relatie wordt gevonden ter hoogte van de Rysumer Nacken bij km 19.0. Tot slot is in de huidige situatie de natte doorsnede relatief groot van km 26.5 t/m km 29.2, duidend op een te diepe geul.

Vergelijking tussen de maatregelrichtingen 2014 en M0 voor het scenario met zeespiegelstijging en voortgaande baggerinspanningen laat zien dat de oppervlakte van de dwarsdoorsnede in de monding kleiner wordt, hetgeen (bij gelijkblijvende breedte) het gevolg is van verondieping van de monding. In 2050 is er nog steeds een afwijking van de optimale vorm bij het noordelijk deel van de Hond-Paap tussen km 7.5 en km 15.5 waar de natte doorsnede 'te klein' is. Hier liggen stortvakken KS05, KS06 en KS07 van baggerwerken en die kunnen mogelijk leiden tot een te ondiep profiel. Zeespiegelstijging zou initieel moeten leiden tot vergroting van de natte doorsnede. Verder achterin het estuarium is vanaf km 20 de afwijking van de ideale lijn in maatregelrichting M0 nog groter geworden: de natte doorsnede is 'te groot'. Dit is vermoedelijk het gevolg van het op diepte houden van de vaargeul.



Figuur 17. Exponentiele relaties (gestippelde lijnen) voor de oppervlakte van de dwarsdoorsnede als functie van de afstand tot de monding (stippen), voor de huidige situatie (2014) en de autonome ontwikkeling in 2050 (M0).

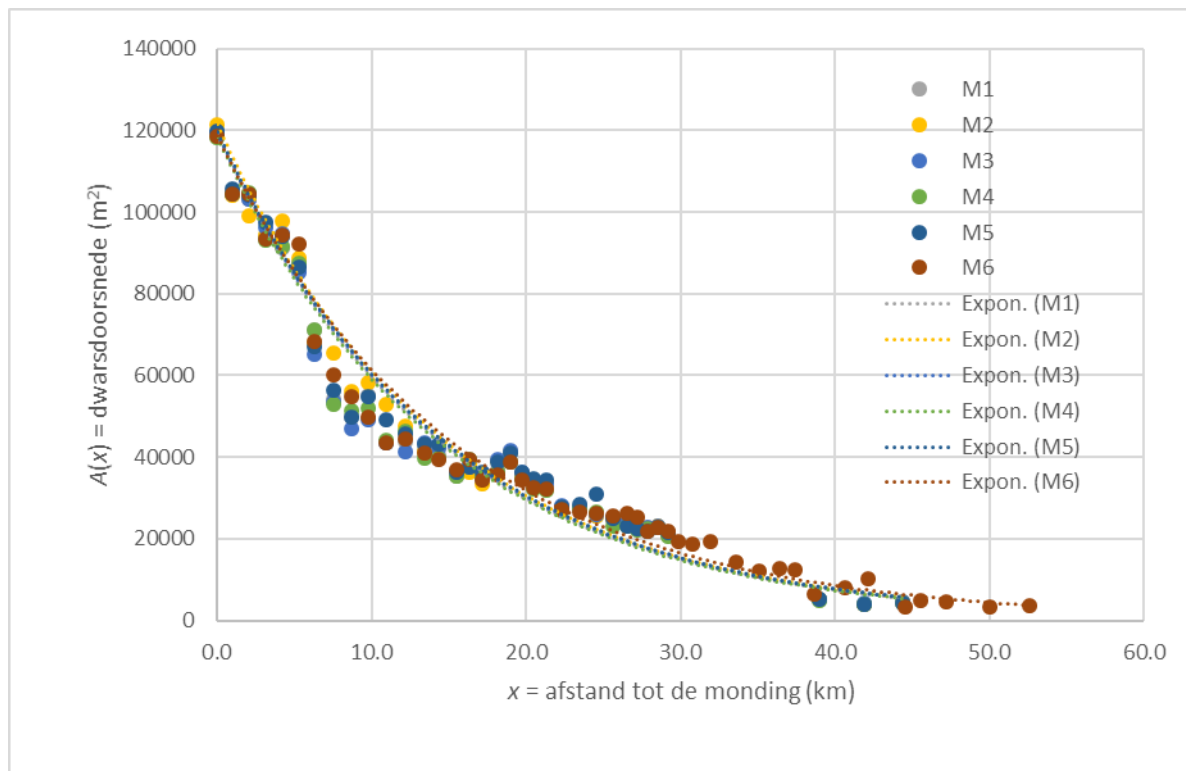
Figuur 18 laat de exponentiele relaties zien voor de oppervlakte van de natte doorsnede voor de maatregelrichtingen M1 t/m M6. De exponentiele relaties liggen voor de maatregelrichtingen M1 t/m M5 dicht bij elkaar. De exponentiele relaties en de R^2 voor ieder van de maatregelrichtingen is

gegeven in Tabel 11. Wat opvalt is dat voor alle maatregelrichtingen M0 t/m M6 de oppervlakte van de dwarsdoorsnede aan de monding kleiner wordt en de convergentielengte groter.

De maatregelrichting die de meest extreme afwijkingen van de theoretisch optimale functie laat zien is M3 en hiervoor is de R^2 dan ook het kleinst. In het traject tussen km 6.3 en 12.1 is de natte doorsnede vaak, maar niet altijd, het kleinst van alle maatregelrichtingen. Dit is niet verwonderlijk omdat in dit traject de maatregel van plaatverondieping wordt genomen. Kennelijk heeft dit ook gevolgen voor het profiel verder achterin het estuarium, waar in het traject tussen km 18.2 en 24.5 maatregelrichting M3 vaak de grootste natte doorsnede laat zien.

Maatregelrichting M6 is een verhaal apart. Als gevolg van deze maatregelrichting wordt de lengte van het estuarium met 8.2 km verlengd. In de relatie voor de ideale estuariumvorm wordt de convergentielengte (ook) langer. De nieuwe geul door de Dollard is zodanig gemodelleerd dat de afmetingen goed passen bij de ideale estuariumvorm; de R^2 van de exponentiele relatie is heel hoog. Maatregelrichting M2 laat van alle maatregelrichtingen de minst extreme afwijkingen van de ideale lijn zien en voor deze maatregelrichting is de R^2 dan ook het grootst na die van M6. Bedenk wel dat het verspreidingsgebied van sediment in M2, namelijk Blindes Ranzelgat (Figuur 1), buiten de geanalyseerde dwarsdoorsnedes valt.

Opvallend is verder dat maatregelrichting M5, waarin binnendijks een getijdengebied wordt toegevoegd, en maatregelrichting M4, waarin lokaal een dam in de Dollard wordt aangelegd, ook consequenties hebben voor de ideale vorm van het gehele estuarium.



Figuur 18. Exponentiele relatie voor de oppervlakte van de dwarsdoorsnede als functie van de afstand tot de monding, voor de maatregelrichtingen M1 t/m M6.

Tabel 11. De exponentiele relatie tussen de oppervlakte van de dwarsdoorsnede $A(x)$ als functie van de afstand tot de monding x , voor referentiejaar 2014, de autonome ontwikkeling (M0) en zes maatregelrichtingen (M1 t/m M6).

Maatregelrichting	Exponentiele relatie	R ²
2014	$A(x) = 125680e^{-x/13.5}$	0.9530
M0	$A(x) = 119081e^{-x/14.5}$	0.9354
M1	$A(x) = 119141e^{-x/14.5}$	0.9356
M2	$A(x) = 121408e^{-x/14.5}$	0.9445
M3	$A(x) = 119411e^{-x/14.5}$	0.9283
M4	$A(x) = 118297e^{-x/14.5}$	0.9377
M5	$A(x) = 119762e^{-x/14.5}$	0.9344
M6	$A(x) = 118633e^{-x/15.2}$	0.9592

2.1.5 Geleidelijke overgang tussen zoet rivierwater en zout zeewater

In systemen waarin zoet en zout water bij elkaar komen is de mate van menging van belang voor het al dan niet optreden van stratificatie. Zout water heeft, als gevolg van het hogere soortelijk gewicht, de neiging om naar de bodem te zakken, terwijl zoet water er bovenop drijft. Het gevolg is stratificatie: het vormen van twee lagen water boven op elkaar. Dit is op zich geen probleem, maar het gevolg is dat er in de bovenste (zoetere laag) algengroei optreedt, dat afsterft en naar beneden zakt. In de onderste laag vindt dan afbraak plaats van dit organisch materiaal en dit kan tot zuurstofloosheid leiden, wanneer er geen verversing is. Dit doet zich bijvoorbeeld voor in de afgesloten Grevelingen.

De mate van menging in een estuarium wordt vooral bepaald door het getij. Daarbovenop kunnen de rivierstroomsnelheid en de windgolven ook invloed uitoefenen, maar het getij is dominant. Een uitdrukking voor de mate van menging in een estuarium wordt gegeven door het Estuariene Richardson getal (Fischer et al., 1979). Dit getal geeft een verhouding weer tussen twee vormen van energie. De ene is de potentiële energie per getijperiode die nodig is om zout en zoet water te mengen, dus tegen het drijfvermogen van zoet water in. De andere is de kinetische energie per getijperiode die de getijstrooming realiseert en nodig is voor het mengen.

De potentiële energie nodig voor menging wordt gegeven door:

$$E_m = \Delta\rho Q_f Tg(h/2)$$

waarin Δ is het relatieve dichtheidsverschil tussen zeewater en rivierwater (-), ρ is dichtheid van water (kg/m^3), Q_f is rivierafvoer (m^3/s), T is getijperiode (s), g is versnelling van de zwaartekracht (m/s^2) en h is de gemiddelde waterdiepte (m).

De kinetische energie die de mengenergie levert wordt gegeven door:

$$E_t = 0.5\rho A_0 E_0 v_0^2$$

waarin A_0 is het oppervlak van de dwarsdoorsnede aan de monding (m^2), E_0 is de getij-excursie aan de monding (m) en v_0 is de amplitude van de getijstroomsnelheid aan de monding (m/s).

Het Estuariene Richardson getal wordt gegeven door:

$$N_R = \frac{E_m}{E_t} = \frac{\Delta\rho ghQ_f T}{\rho A_0 E_0 v_0^2}$$

Als de waarde voor het Estuariene Richardson getal N_R groot is, is er een grote kans op stratificatie; er is niet genoeg energie in het water om zoet en zout te ontmengen. Als de waarde voor N_R klein is, dan is het estuarium goed gemengd. Als grenswaarden geeft Fischer (1979) 0,08 of kleiner voor goed-gemengde systemen en 0,8 of groter voor gestratificeerde systemen.

Onder de huidige omstandigheden is de jaargemiddelde rivierafvoer $80 \text{ m}^3/\text{s}$, de gemiddelde waterdiepte 5.2 m, en de oppervlakte van de dwarsdoorsnede aan de monding 125.680 m^2 . Onder de aanname van een amplitude van de getijstroomsnelheid van 1 m/s (Savenije, 2005) volgt een

Richardson getal van 0,00612. Dit is veel kleiner dan 0,08, dus is het estuarium gemiddeld een goed-gemengd systeem. Voor de maatregelrichtingen M0 t/m M5 geldt dat de oppervlaktes van de dwarsdoorsnede aan de monding zijn afgenomen (Tabel 11) en de waterdieptes zijn toegenomen, Tabel 12. De uitzondering vormt maatregelrichting M6. Er wordt aangenomen dat de jaargemiddelde rivierafvoer niet verandert, hoewel deze als gevolg van klimaatverandering wel zou kunnen wijzigen. Hoewel de dwarsdoorsnede en dieptes veranderen heeft dit slechts een kleine invloed op het Estuariene Richardson getal. Het systeem blijft een goed-gemengd estuarium.

Tabel 12. Het gemiddelde van alle dieptegemiddelde dwarsdoorsnedes van het Eems-Dollard estuarium, voor referentiejaar 2014, de autonome ontwikkeling (M0) en zes maatregelrichtingen (M1 t/m M6).

Maatregelrichting	waterdiepte (m –NAP)	Richardson-getal
2014	5,20	0,00612
M0	5,39	0,00670
M1	5,39	0,00669
M2	5,53	0,00674
M3	5,44	0,00674
M4	5,34	0,00668
M5	5,53	0,00683
M6	4,75	0,00592

2.1.6 Geleidelijke overgangen tussen land en zee

In het streefbeeld zijn er geleidelijke overgangen tussen land en zee. Een criterium hiervoor is de aanwezigheid van hoog litorale en supralitorale delen langs de oevers. Deze vormen onderdeel van een geleidelijke overgang via slikken en kwelders naar dijken.

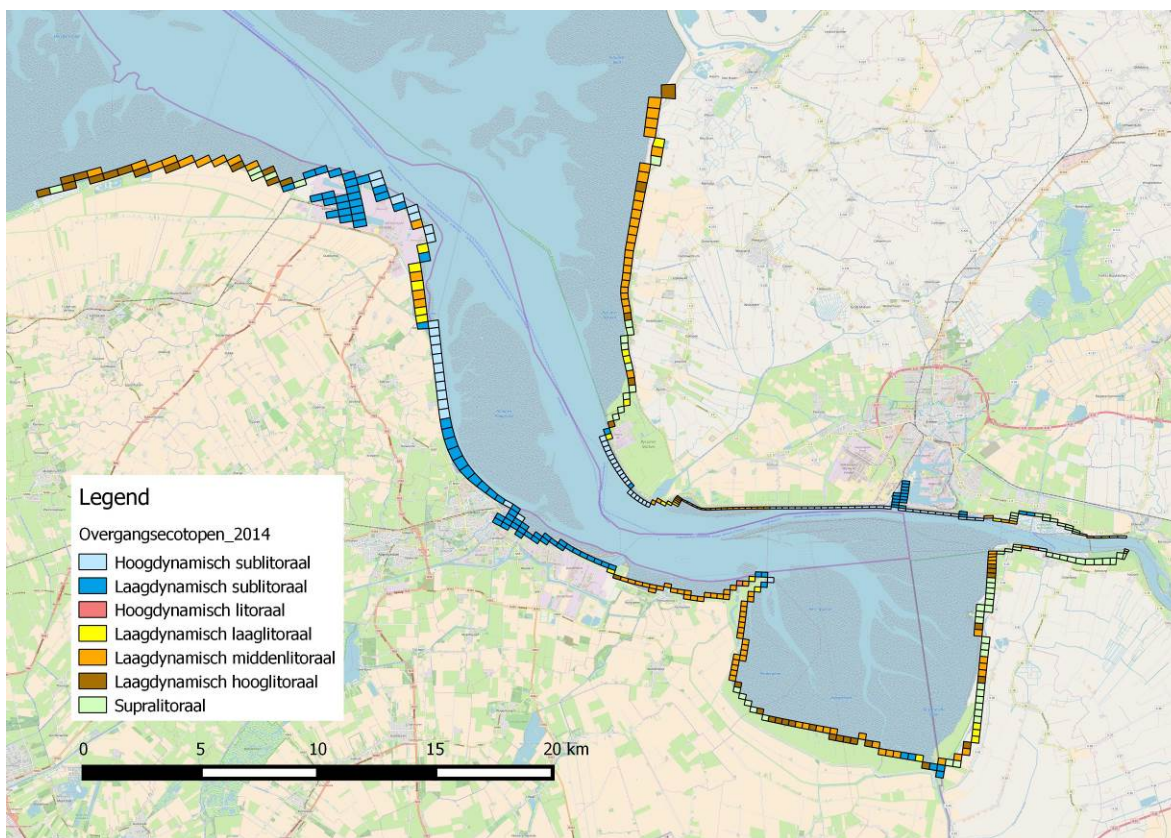
2.1.6.1 Methode

In QGIS is de polygoon voor het kombergingsgebied Eems-Dollard omgezet naar een polyline voor de omtrek van het kombergingsgebied. Een aanpassing is gemaakt zodat alleen de randen van het vasteland van Nederland en Duitsland worden meegenomen, niet die van de eilanden. Het kombergingsgebied is in principe begrensd door de teen van de dijken. Echter, niet overal komen de gridcellen van het rekengrid tot aan/over de dijk. Handmatig is de polyline op sommige punten verlegd zodanig dat deze overal door een randgelegen gridcel van het ecotopengrid gaat. In totaal zijn er 418 gridcellen langs de rand. Voor de maatregelrichtingen M4 en M6 is de polyline uitgebreid met de strekdammen die in de Dollard zijn aangebracht. Voor maatregelrichting M5 is geen aanpassing gemaakt.

Door een Join Attributes by Location operatie wordt uitvoer gemaakt van alle randgelegen ecotopen die aan het vasteland van Nederland en Duitsland grenzen. Tot slot wordt het oppervlakte van de randecotopen bepaald. Een nadeel hiervan is dat de oppervlakte van de gridcellen niet overal even groot is.

2.1.6.2 Resultaten

Omdat het rekengrid van Deltares in de Dollard niet overal tot aan de Dollarddijk loopt, ontstaat op deze locatie in het rekenmodel een tekort aan supralitoraal. Ondanks dit gebrek worden hier de resultaten gegeven op basis van deze modeluitvoer. Figuur 19 geeft de uitvoer voor de randgelegen ecotopen voor de huidige situatie (2014).



Figuur 19. Randgelegen ecotopen voor de huidige situatie (2014).

Tabel 13 geeft de oppervlakte van ieder randgelegen ecotoop in het rekengrid voor de huidige situatie (2014), de autonome ontwikkeling (M0) en de zes maatregelrichtingen (M1 t/m M6) en Tabel 14 geeft de procentuele verdeling over de ecotooptypen. Een aanzienlijk oppervlakte (zo'n 40%) bestaat uit sublitorale ecotopen. Dit is een indicatie voor een gebrek aan geleidelijke overgangen tussen land en zee. Het oppervlakte aan sublitorale ecotopen neemt nog verder toe voor iedere maatregelrichting in vergelijking met de huidige situatie.

Voor het criterium van geleidelijke overgangen tussen land en zee zijn vooral de oppervlaktes aan laagdynamisch hooglitoraal en supralitoraal van belang. Hierbij moet opgemerkt worden dat het rekenmodel van Deltares niet is geoptimaliseerd voor deze hooggelegen ecotopen. De resultaten laten desalniettemin zien dat het oppervlakte supralitoraal afneemt en het oppervlakte laagdynamisch hooglitoraal licht toeneemt in alle maatregelrichtingen.

Maatregelrichtingen M4, M5 en M6 worden hierna apart behandeld. De vergelijking van maatregelrichtingen M0 t/m M3 laat zien dat de onderlinge verschillen klein zijn, maar maatregelrichting M3 heeft relatief veel sublitoraal oppervlakte en weinig supralitoraal.

Tabel 13. De oppervlakte (km²) van randgelegen ecotopen in het rekengrid, voor de huidige situatie (2014), de autonome ontwikkeling (M0) en de zes maatregelrichtingen (M1 t/m M6).

Ecotoop	2014	M0	M1	M2	M3	M4	M5	M6
1. Hoogdynamisch sublitoraal	4.85	5.06	5.06	4.92	5.12	5.02	5.09	4.45
2. Laagdynamisch sublitoraal	9.02	9.40	9.40	9.45	9.50	9.63	9.57	10.07
3. Hoogdynamisch litoraal	0.09	0.39	0.39	0.27	0.15	0.20	0.50	0.25
4. Laagdynamisch laaglitoraal	2.02	2.90	2.90	2.79	2.82	2.74	2.63	2.76
5. Laagdynamisch middenlitoraal	10.09	8.82	8.82	9.18	8.97	8.86	8.99	8.87
6. Laagdynamisch hooglitoraal	4.37	4.63	4.63	4.69	4.81	4.49	4.53	4.46
7. Supralitoraal	5.19	4.43	4.43	4.32	4.27	4.71	4.31	4.77
Totaal oppervlakte	35.63	35.63	35.63	35.63	35.63	35.63	35.63	35.63

Tabel 14. Procentuele verdeling van de ecotooptypen van randgelegen ecotopen in het rekengrid, voor de huidige situatie (2014), de autonome ontwikkeling (M0) en de zes maatregelrichtingen (M1 t/m M6).

Ecotoop	2014	M0	M1	M2	M3	M4	M5	M6
1. Hoogdynamisch sublitoraal	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	13%
2. Laagdynamisch sublitoraal	25%	26%	26%	27%	27%	27%	27%	28%
3. Hoogdynamisch litoraal	0%	1%	1%	1%	0%	1%	1%	1%
4. Laagdynamisch laaglitoraal	6%	8%	8%	8%	8%	8%	7%	8%
5. Laagdynamisch middenlitoraal	28%	25%	25%	26%	25%	25%	25%	25%
6. Laagdynamisch hooglitoraal	12%	13%	13%	13%	14%	13%	13%	13%
7. Supralitoraal	15%	12%	12%	12%	12%	13%	12%	13%
Totaal oppervlakte	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tabel 15 en Tabel 16 laten de resultaten zien voor de maatregelrichtingen M4, M5 en M6 met inbegrip van de randecotopen die aan de strekdammen of de uitbreiding van het binnendijks gebied grenzen. Maatregelrichting M6 laat een grote toename aan sublitorale randecotopen zien en geen enkele van de ecotopen die grenzen aan de strekdam voegen hoog- of supralitoraal toe. Er worden dus geen geleidelijke overgangen toegevoegd in deze maatregelrichting. Ook maatregelrichting M4 voegt geen hoog- of supralitorale ecotopen toe langs de strekdam. Maatregelrichting M5 voegt extra oppervlakte aan hoog- en supralitorale randecotopen toe, relatief ten opzichte van het hele estuarium is het slechts weinig.

Tabel 15. De oppervlakte (km²) van randgelegen ecotopen in het rekengrid, voor de huidige situatie (2014) en de maatregelrichtingen M4, M5 en M6 met inbegrip van randecotopen aan de strekdammen en de uitbreiding van binnendijks gebied.

Ecotoop	2014	M4_dam	M5_uitbr	M6_dam
1. Hoogdynamisch sublitoraal	4.85	6.06	7.46	7.20
2. Laagdynamisch sublitoraal	9.02	10.33	10.97	12.46
3. Hoogdynamisch litoraal	0.09	0.34	1.47	0.41
4. Laagdynamisch laaglitoraal	2.02	3.06	3.20	3.29
5. Laagdynamisch middenlitoraal	10.09	10.11	12.13	10.00
6. Laagdynamisch hooglitoraal	4.37	4.49	5.37	4.46
7. Supralitoraal	5.19	4.71	5.77	4.77
Totaal oppervlakte	35.63	39.09	46.37	42.58

Tabel 16. Procentuele verdeling van de ecotooptypen van randgelegen ecotopen in het rekengrid, voor de huidige situatie (2014) en de maatregelrichtingen M4, M5 en M6 met inbegrip van randecotopen aan de strekdammen en de uitbreiding van binnendijks gebied.

Ecotoop	2014	M4_dam	M5_uitbr	M6_dam
1. Hoogdynamisch sublitoraal	14%	15%	16%	17%
2. Laagdynamisch sublitoraal	25%	26%	24%	29%
3. Hoogdynamisch litoraal	0%	1%	3%	1%
4. Laagdynamisch laaglitoraal	6%	8%	7%	8%
5. Laagdynamisch middenlitoraal	28%	26%	26%	23%
6. Laagdynamisch hooglitoraal	12%	11%	12%	10%
7. Supralitoraal	15%	12%	12%	11%
Totaal oppervlakte	100%	100%	100%	100%

2.2 Gezonde leefgebieden

In het streefbeeld 'Gezonde leefgebieden' worden de volgende elementen genoemd:

- Totale oppervlak van de Eems-Dollard neemt niet af
- Geen vernauwingen door inpoldering, bedijking en afdamming
- Oppervlak van zandplaten en slikken 50% van totaal
- Dollard blijft groot brak en slibrijk laag-dynamisch slikkengebied
- Dollard heeft geen grote soortdiversiteit
- Grote aantallen nonnetje, bot, steur, zwarte ruiter en kluut in Dollard
- Hydromorfologisch gunstig voor zeegras en mosselen op Hond-Paap
- Verdubbeling van het kwelderareaal van circa 5% naar 10%
- Uitbreiding brakke kwelders in Dollard en zijrivieren
- Kwelders gevarieerd, extensief begraasd

2.2.1 Totale oppervlak Eems-Dollard neemt niet af

In het streefbeeld is het totale oppervlak van de Eems-Dollard ten minste gelijk aan het huidige oppervlak. Voor de berekening is de uitsnede van het kombergingsgebied Eems-Dollard gekozen, identiek aan de uitsnede voor de analyse van visdichtheden. Het totale oppervlakte aan ecotoopcellen dat in dit gebied ligt is 535,6 km². In maatregelrichting M5 vindt er uitbreiding plaats met binnendijks gebied en neemt het totale oppervlakte toe tot 550,6 km².

Op basis van de oppervlaktes van de ecotopen in de rekengridcellen neemt het totale oppervlakte van de Eems-Dollard niet af. In maatregelrichting M5 neemt de oppervlakte aan mariene ecotopen toe.

2.2.2 Geen vernauwingen door inpoldering, bedijking en afdamming

In het streefbeeld komt de eeuwenlange vernauwing van het estuarium door inpoldering, bedijking en afdamming tot stilstand. De term vernauwing wordt gebruikt in situaties waarin bedijkingen plaatsvinden of waarin dammen worden aangelegd leidend tot contractie van de stroming. Ook wordt de term vernauwing van estuaria gebruikt wanneer uiterwaarden of kwelders hoger worden en niet meer kunnen meestromen. Vernauwing zal bijvoorbeeld optreden door de aanleg van Marconi buitendijks. Het omgekeerde van vernauwing is ontpolderen of verlaging van kwelders (conform Ruimte voor de Rivier). Dit zal in de Eems-Dollard optreden door het verwijderen van de griesberg.

Een criterium hiervoor is het zo veel mogelijk ontbreken van (strek)dammen, dijken en andere menselijke constructies. Dit kan worden beoordeeld voor ieder van de voorgestelde maatregelen.

In de maatregelrichtingen M4 en M6 worden strekdammen aangelegd die leiden tot contractie van de stroming. De andere maatregelrichtingen brengen geen vernauwingen aan. In maatregelrichting M5 wordt ontpolderd in plaats van ingepolderd en dit leidt tot het omgekeerde van vernauwing.

2.2.3 Oppervlak van zandplaten en slikken 50% van totaal

In het streefbeeld blijft het natte oppervlak van zandplaten en slikken gelijk aan het huidige oppervlak: ze beslaan circa 50% van het totale oppervlak.

Tabel 18 presenteert het oppervlakte van de ecotopen in het kombergingsgebied Eems-Dollard en Tabel 19 de onderlinge verhouding aan ecotopen. Voor dit criterium is het percentage litorale delen van belang. Een vereenvoudigde indeling is gepresenteerd in Tabel 17. Het resultaat laat zien dat in de huidige situatie (2014) het aandeel litorale zandplaten en slikken 44,5% bedraagt. Als gevolg van de autonome ontwikkeling met zeespiegelstijging neemt dit percentage af naar 38,5%. Geen van de maatregelrichtingen is in staat om het percentage zandplaten en slikken op het huidige niveau te houden, laat staan te doen toenemen tot de gewenste 50%. Maatregelrichting M3 scoort met 41,6% het beste, en maatregelrichting M6 scoort met 36,1% het slechtste. Hoewel maatregelrichting M5 in absolute zin het oppervlak aan litorale ecotopen doet toenemen, maakt het voor de verhouding niets uit omdat er ook sublitorale ecotopen worden toegevoegd.

Tabel 17. Verhouding aan sublitorale, litorale en supralitorale ecotopen in het kombergingsgebied Eems-Dollard, voor de huidige situatie (2014), de autonome ontwikkeling (M0) en de maatregelrichtingen M1 t/m M6.

Ecotoop	2014	M0	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Sublitoraal	54.9%	60.6%	60.7%	59.5%	57.1%	60.6%	59.9%	62.9%
Litoraal	44.5%	38.5%	38.4%	39.0%	41.6%	38.5%	38.5%	36.1%
Supralitoraal	0.6%	0.9%	0.9%	1.5%	1.3%	0.9%	1.6%	1.0%
Totaal	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tabel 18. Oppervlakte aan ecotopen (km²) in het kombergingsgebied Eems-Dollard, voor de huidige situatie (2014), de autonome ontwikkeling (M0) en de maatregelrichtingen M1 t/m M6.

Ecotoop	2014	M0	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Hoogdynamisch sublitoraal brak	37.0	37.0	37.3	37.6	37.4	38.1	39.6	44.5
Hoogdynamisch sublitoraal zout	179.8	189.3	189.5	184.1	185.3	189.1	189.9	190.6
Laagdynamisch sublitoraal brak	6.1	9.1	9.1	7.8	8.3	8.5	11.7	14.8
Laagdynamisch sublitoraal zout	71.0	89.4	89.3	89.3	74.8	89.2	88.6	86.8
Hoogdynamisch litoraal brak	5.1	5.0	4.7	5.2	4.5	6.7	5.2	5.4
Hoogdynamisch litoraal zout	1.1	4.3	4.5	5.3	6.2	3.5	3.6	4.3
Laagdynamisch laaglitoraal brak	9.5	10.1	10.1	10.4	10.9	10.6	11.1	8.5
Laagdynamisch laaglitoraal zout	63.0	47.4	47.1	49.8	42.6	46.9	47.5	45.8
Laagdynamisch midlitoraal brak	57.5	54.5	54.6	54.9	55.3	50.9	58.0	41.7
Laagdynamisch midlitoraal zout	92.7	76.2	76.2	71.3	90.3	78.0	76.6	78.7
Laagdynamisch hooglitoraal brak	5.0	4.8	4.6	4.6	4.6	5.4	6.0	5.2
Laagdynamisch hooglitoraal zout	4.6	3.9	3.9	7.2	8.4	4.0	3.6	3.8
Supralitoraal brak	1.8	1.5	1.5	1.3	1.0	1.8	5.3	1.8
Supralitoraal zout	1.5	3.1	3.1	6.5	6.0	2.9	3.7	3.6
Totaal	535.6	535.6	535.6	535.6	535.6	535.6	550.6	535.6

Tabel 19. Verhouding aan ecotopen in het kombergingsgebied Eems-Dollard, voor de huidige situatie (2014), de autonome ontwikkeling (M0) en de maatregelrichtingen M1 t/m M6.

Ecotoop	2014	M0	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Hoogdynamisch sublitoraal brak	6.9%	6.9%	7.0%	7.0%	7.0%	7.1%	7.2%	8.3%
Hoogdynamisch sublitoraal zout	33.6%	35.3%	35.4%	34.4%	34.6%	35.3%	34.5%	35.6%
Laagdynamisch sublitoraal brak	1.1%	1.7%	1.7%	1.5%	1.5%	1.6%	2.1%	2.8%
Laagdynamisch sublitoraal zout	13.3%	16.7%	16.7%	16.7%	14.0%	16.7%	16.1%	16.2%
Hoogdynamisch litoraal brak	0.9%	0.9%	0.9%	1.0%	0.8%	1.3%	0.9%	1.0%
Hoogdynamisch litoraal zout	0.2%	0.8%	0.8%	1.0%	1.2%	0.7%	0.7%	0.8%
Laagdynamisch laaglitoraal brak	1.8%	1.9%	1.9%	1.9%	2.0%	2.0%	2.0%	1.6%
Laagdynamisch laaglitoraal zout	11.8%	8.8%	8.8%	9.3%	8.0%	8.8%	8.6%	8.6%
Laagdynamisch midlitoraal brak	10.7%	10.2%	10.2%	10.3%	10.3%	9.5%	10.5%	7.8%
Laagdynamisch midlitoraal zout	17.3%	14.2%	14.2%	13.3%	16.9%	14.6%	13.9%	14.7%
Laagdynamisch hooglitoraal brak	0.9%	0.9%	0.9%	0.9%	0.9%	1.0%	1.1%	1.0%
Laagdynamisch hooglitoraal zout	0.9%	0.7%	0.7%	1.4%	1.6%	0.7%	0.7%	0.7%
Supralitoraal brak	0.3%	0.3%	0.3%	0.2%	0.2%	0.3%	1.0%	0.3%
Supralitoraal zout	0.3%	0.6%	0.6%	1.2%	1.1%	0.5%	0.7%	0.7%
Totaal	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

2.2.4 Dollard blijft groot brak en slibrijk laagdynamisch slikkengebied

De Dollard behoudt in het ecologisch streefbeeld zijn huidige waarde als groot brak en slibrijk slikkengebied met natuurlijke laagdynamische processen. Het criterium is het areaal brakke en slibrijke laag-dynamische ecotopen in de Dollard.

Als gebied de Dollard wordt in deze analyse het areaal gekozen dat alle brakke ecotopen bevat. Hiermee valt ook de uitbreiding van het binnendijks gebied in maatregelrichting M5 onder het criterium. Het areaal brakke ecotopen is gepresenteerd in Tabel 18.

Tabel 20 presenteert een vereenvoudigde indeling van brakke ecotopen in de Dollard en Tabel 21 de procentuele verhouding van brakke ecotopen. In vergelijking met de huidige situatie (72.0 km²) neemt in bijna alle maatregelrichtingen het aandeel laagdynamische litorale ecotopen af. Alleen in maatregelrichting M5 is er uitbreiding naar 75.1 km². In relatieve zin scoort maatregelrichting M3 heel goed omdat het aandeel laagdynamische ecotopen bijna even groot blijft (58,0%) als in de huidige situatie. In maatregelrichting M6 gaat veel slibrijk laagdynamisch areaal verloren. Maatregelrichting M4 scoort ook relatief slecht omdat er meer hoogdynamisch litoraal brak bijkomt.

Tabel 20. Oppervlakte aan brakke sublitorale, hoogdynamisch litorale, laagdynamisch litorale en supralitorale ecotopen in de Dollard, voor de huidige situatie (2014), de autonome ontwikkeling (M0) en de maatregelrichtingen M1 t/m M6.

Ecotoop	2014	M0	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Sublitoraal brak	43.0	46.1	46.4	45.5	45.7	46.6	51.3	59.3
Hoogdynamisch litoraal brak	5.1	5.0	4.7	5.2	4.5	6.7	5.2	5.4
Laagdynamisch litoraal brak	72.0	69.4	69.4	69.9	70.8	66.9	75.1	55.5
Supralitoraal brak	1.8	1.5	1.5	1.3	1.0	1.8	5.3	1.8
Totaal	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	137.0	122.0

Tabel 21. Verhouding aan brakke sublitorale, hoogdynamisch litorale, laagdynamisch litorale en supralitorale ecotopen in de Dollard, voor de huidige situatie (2014), de autonome ontwikkeling (M0) en de maatregelrichtingen M1 t/m M6.

Ecotoop	2014	M0	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Sublitoraal brak	35.3%	37.8%	38.0%	37.3%	37.5%	38.2%	37.5%	48.6%
Hoogdynamisch litoraal brak	4.2%	4.1%	3.9%	4.3%	3.7%	5.5%	3.8%	4.4%
Laagdynamisch litoraal brak	59.0%	56.9%	56.9%	57.3%	58.0%	54.8%	54.9%	45.5%
Supralitoraal brak	1.5%	1.2%	1.2%	1.1%	0.9%	1.5%	3.9%	1.5%
Totaal	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

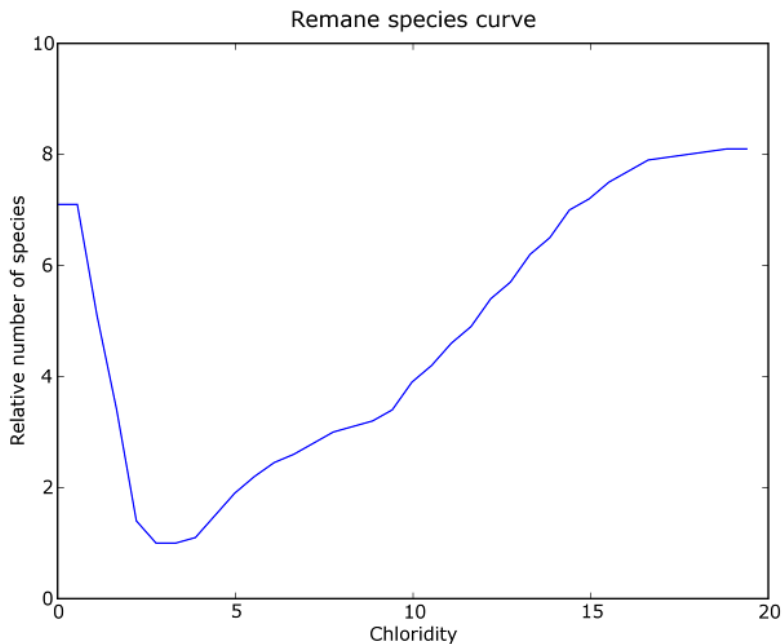
2.2.5 Dollard heeft geen grote soortdiversiteit

Het voorkomen en de groei van planten- en diersoorten langs estuariene gradiënten wordt voor een belangrijk deel bepaald door het zoutgehalte (Janssen, 2000, De Leeuw and Backx, 2001). Estuaria worden dan ook vaak ingedeeld op grond van zoutgehalten om zo een classificatie van de aanwezige soorten te maken. In een veel gehanteerde indeling worden 5 zones onderscheiden op basis van de range in het zoutgehalte (Eertman and Smaal, 1997, McLusky, 1993, Wolff, 1973). Het voorkomen van soorten in deze zones is niet alleen afhankelijk van hun tolerantie voor zout, maar ook voor zoutgehalteschommelingen (Steenbergen, 2004).

De Dollard kent ook in het streefbeeld geen grote verscheidenheid aan soorten. Dit heeft er mee te maken dat de Dollard grotendeels een brakwater gebied is. De meeste biogeochemische reacties die optreden als zoet water met zout water in contact komt treden al op bij een lage saliniteit, lager dan 1‰. Dit geldt bv. voor het uitvlokken van fijn organisch en anorganisch materiaal dat van de rivierafvoer komt. Ook het vrijkomen van oplosbaar en particulier organisch materiaal, waarmee dit beschikbaar komt voor bacteriële groei, vindt dan reeds plaats. Zooplankton, met name copepoden

Eurytemora, profiteert hiervan en wordt abundant gevonden bij een saliniteit kleiner dan 5‰. Een saliniteit van 5‰ markeert de bovenste grens voor zoete soorten en de onderste grens voor zoute soorten. Hierdoor wordt (in het algemeen) bij een saliniteit tussen de 5 en 8‰ een lage soortdiversiteit gevonden (McLusky, 1993), zoals reeds opgemerkt door Remane (1934), die bij 5‰ een minimum vond. Omdat een estuarium zowel typisch zoete, brakke als zoute soorten kent is de totale biodiversiteit in estuaria wel groot.

De curve van Remane als functie van de chloriniteit (=saliniteit/1,8) is vereenvoudigd weergegeven door Figuur 20. Hierin is de relatieve soortenrijkdom weergegeven door de zone met het laagste aantal soorten op 1 te definiëren. In het zoute water zitten dus 8x zoveel soorten als in het brakke soortenminimum.

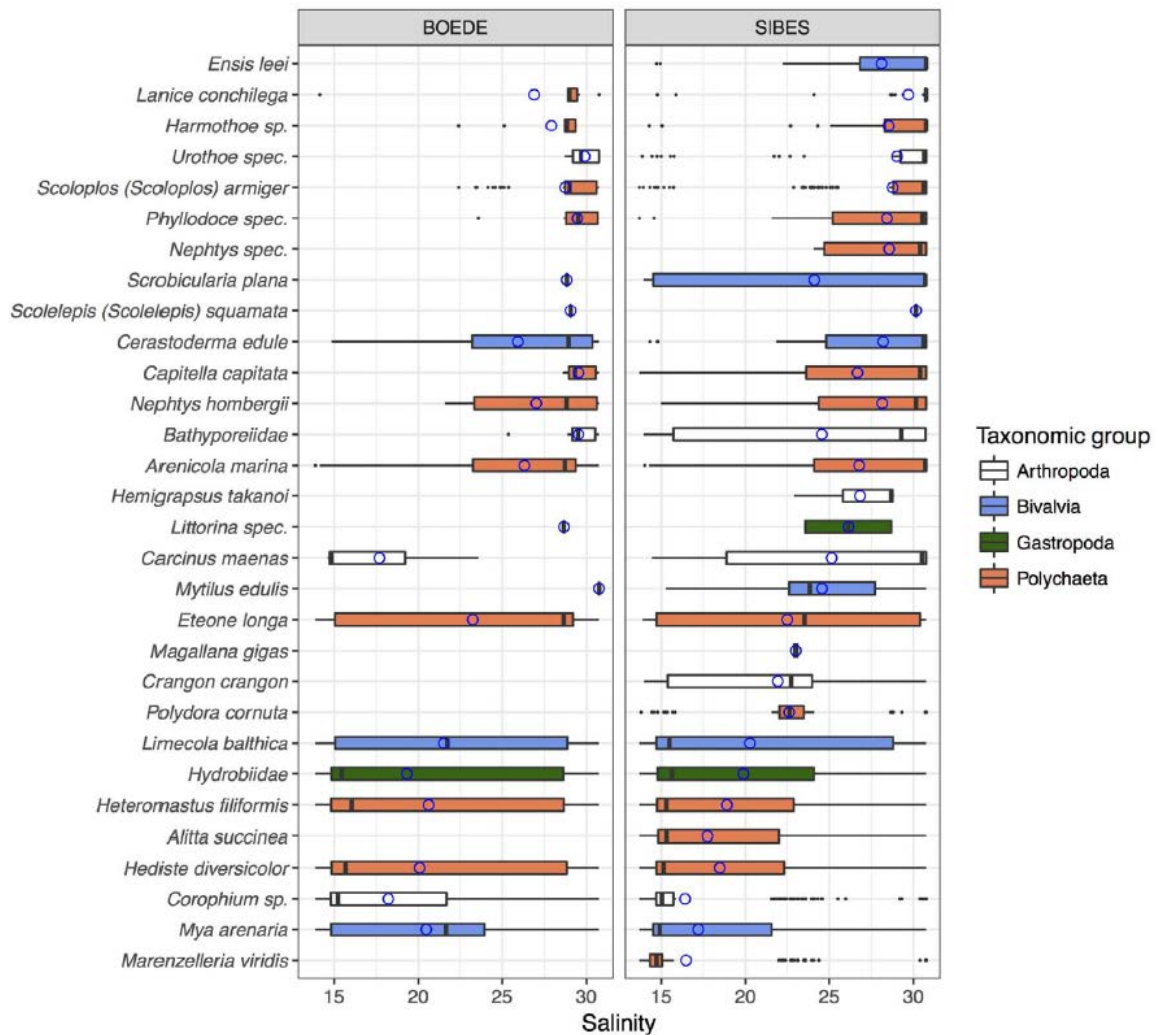


Figuur 20. Relatieve soortenrijkdom als functie van de chloriniteit naar Remane (1934).

In de Dollard lijkt de soortenrijkdom aan benthische soorten inderdaad lager in vergelijking met de andere delen van het Eems-Dollard estuarium. In het deelgebied Dollard werden in de SIBES survey 28 soorten aangetroffen op een totaal van 37 soorten in het gehele estuarium (Compton et al., 2017). Compton et al. (2017) geven geen "species accumulation curve" (zie Figuur 4 in Compton et al. 2017) voor de aparte deelgebieden, maar aangenomen kan worden dat voor het aantal monsterpunten in de Dollard (N=188) de regionale species accumulation curve verzadigd is. Dit zou dus betekenen dat wanneer er meer monsters worden genomen in de Dollard er niet meer soorten worden aangetroffen.

Recente inzichten over de zouttolerantie van benthische soorten worden gegeven in Compton et al. (2017) en zijn weergegeven in Figuur 21.

Voor alle zes maatregelrichtingen blijft de Dollard een brak gebied met een relatief lage soortenrijkdom.



Figuur 21. Boxplots voor het voorkomen van benthische soorten als functie van de saliniteit (PSU) aan de bodem van het Eems-Dollard estuarium in de BOEDE (1974-1975 & 1979-1981) en SIBES (2009-2014) surveys. Uit Compton et al. (2017).

2.2.6 Grote aantallen van nonnetje, bot, steur, zwarte ruiter en kluut in Dollard

In het streefbeeld wordt gesteld dat soorten die zich thuis voelen in de Dollard er in grote aantallen zijn. Als voorbeelden worden gegeven schelpdieren als het nonnetje, vissen als bot en steur en vogels als zwarte ruiter en kluut.

In Bijlagen 3 & 4 is te zien dat de Paling, Bot en Tong in relatief hoge dichtheden voorkomen in de brakke Dollard. Bot is dus inderdaad een soort die zich thuis voelt in de Dollard. Steur is een soort die op dit moment niet in voldoende grote hoeveelheden wordt gevangen voor analyse. Er zijn slechts enkele terugmeldingen van gemerkte Steuren in Nederlandse wateren.

De biomassa van de meeste bodemdieren is lager in de brakke Dollard dan elders in het Eems estuarium. Uit de data volgt dat het Nonnetje niet in hoge dichtheden in de Dollard voorkomt (zie Bijlage 1 & 2), hoewel deze soort een lage saliniteit aan kan. De slijkgarnalen hebben juist in de Dollard een hogere biomassa vergeleken met de rest van het Eems estuarium. En ook de Gewone groenworm en de Groengele wadworm hebben relatief hoge biomassa's in de Dollard. Wadvogels die deze soorten als dieet hebben zouden zich dus in grotere aantallen in de Dollard kunnen ophouden. Dit geldt inderdaad voor de Zwarte Ruiter die een dieet heeft dat voor meer dan de helft uit slijkgarnalen bestaat (zie Tabel 5). De Kluut heeft zeeduizendpoot als stapelvoedsel, en deze komt in hoge biomassa voor in brakke supralitorale ecotopen, waarmee de Dollard ook voor de Kluut een geschikt foerageerhabitat is. Daarnaast zal de Kluut waarschijnlijk ook kunnen foerageren op slijkgarnalen en andere wormen van brakke milieus zoals Groengele wadworm en Gewone groenworm.

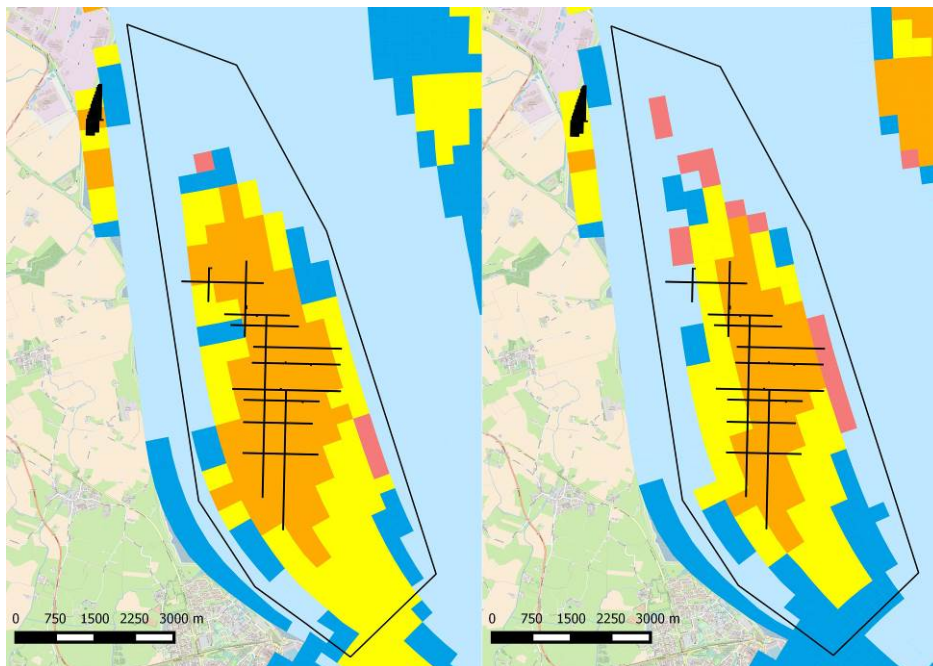
De zeeduizendpoot bereikt een hoge biomassa in de Dollard op de hoogstgelegen delen langs de kwelders. Dit is een bekend verspreidingspatroon zoals ook gevonden in de delta door Wolff (1973) en hieruit zijn ook verklaringen te vinden voor de lage biomassa in de overige delen: "In the intertidal zone *N. diversicolor* inhabits the mudflats along the marine parts of the estuaries in fairly large numbers, especially the upper parts. *N. diversicolor* is absent from soft black muds probably owing to the impossibility to maintain its burrows in such muds. Therefore, it is concluded that the distribution pattern observed is determined by competition. The most probable competitors appear to be the closely related species *Nereis virens* and *N. succinea*". Waarschijnlijk heeft *N. diversicolor* last van competitie met de relatieve nieuwkomer *M. viridens* (ook wel Oostzeezager genoemd): op plekken waar deze afwezig is, is er juist een hoge biomassa zeeduizendpoot.

In paragraaf 2.1.1 en 2.1.2 is uitgewerkt welke gevolgen de maatregelrichtingen hebben voor de in dit onderdeel van het streefbeeld genoemde bodemdieren, vogels en vissen. Er treden tegengestelde effecten op omdat het veranderen van litorale gebieden in sublitorale gebieden gunstig is voor vis en ongunstig voor bodemdieren en wadvogels.

2.2.7 Hydromorfologisch gunstig voor zeegras en mosselen op Hond-Paap

In het streefbeeld komen zeegrasvelden en mosselbanken tot ontwikkeling in het middendeel (Hond-Paap) als natuurlijke hydromorfologische processen daar gunstige condities voor bieden. Het criterium is de habitatgeschiktheid als functie van de hydromorfologische processen. In deze studie is geen habitatgeschiktheidsmodel toegepast, maar wordt de aanwezigheid van laagdynamische midlitorale ecotopen op Hond-Paap beoordeeld als maat voor de geschiktheid omdat mosselen en met name zeegras in dit ecotoop de grootste bedekking hadden (Jager and Kolbe, 2013).

Een omhullende polygoon voor het gebied Hond-Paap is getekend en de ecotopensamenstelling hierbinnen is geanalyseerd.



Figuur 22. Ecotopenkaarten voor gebiedsselectie Hond-Paap voor de huidige situatie 2014 (linkerpaneel) en maatregelrichting M3 (rechterpaneel). Afgebeeld zijn ook de monsterraaien voor zeegras zoals door RWS wordt gebruikt.

De resultaten van de analyse van ecotopenoppervlaktes van de Hond-Paap zijn weergegeven in Tabel 22. Vergelijken met de huidige situatie neemt het areaal aan laagdynamisch middenlitoraal met enkele vierkante kilometers af als gevolg van de autonome ontwikkeling met zeespiegelstijging. Dit maakt de hydromorfologische omstandigheden voor mosselen en met name zeegras, ongunstiger. In maatregelrichting M3 is het oppervlakte aan middenlitoraal ecotoop het kleinst geworden. Het grootste

oppervlakte wordt behouden voor maatregelrichting M6, gevolgd door maatregelrichting M4. Kennelijk heeft het aanleggen van strekdammen in de Dollard positieve gevolgen voor het op hoogte houden van de plaat van de Hond-Paap.

Tabel 22. Oppervlakte aan ecotopen (km²) in deelgebied Hond-Paap, voor de huidige situatie (2014), de autonome ontwikkeling (M0) en de maatregelrichtingen M1 t/m M6.

Ecotoop	2014	M0	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Hoogdynamisch sublitoraal	11.64	12.89	12.78	13.84	13.75	12.66	12.36	13.74
Laagdynamisch sublitoraal	3.40	5.53	5.53	4.36	4.81	5.62	6.26	4.24
Hoogdynamisch litoraal	0.51	1.66	1.92	2.77	1.90	1.27	1.88	1.92
Laagdynamisch laaglitoraal	9.03	7.52	7.37	7.03	8.11	7.44	7.33	6.44
Laagdynamisch middenlitoraal	10.57	7.55	7.55	7.16	6.57	8.15	7.30	8.81
Totaal	35.14	35.14	35.14	35.14	35.14	35.14	35.14	35.14

2.2.8 Verdubbeling van het kwelderareaal van circa 5% naar 10%

Het areaal natuurlijke kwelders ('supralitoraal gebied' dat niet overstroomt bij gemiddeld hoogwater) neemt in het streefbeeld toe. Een verdubbeling van het kwelderareaal van circa 5% van het totale estuariumoppervlak nu tot circa 10% in 2050 wordt nagestreefd. Verder mag de uitbreiding van het kwelderareaal niet ten koste gaan van het areaal slikken en platen.

Het criterium hiervoor is het areaal aan supralitorale, slibrijke en laag-dynamische delen waar kwelderontwikkeling kan plaatsvinden. Dit areaal moet worden verdubbeld onder de randvoorwaarde dat het areaal aan slikken en platen in het streefbeeld circa 50% van het totale oppervlak blijft bedragen.

De oppervlakte aan supralitorale ecotopen is gegeven in Tabel 23 en de onderlinge verhouding in Tabel 24. Volgens de ecotopenuitvoer van de Deltares berekeningen is het aandeel supralitorale ecotopen in de huidige situatie (2014) slechts 3,3 km² ofwel 0,6% van het totale oppervlakte. Dit lage oppervlakte is te wijten aan de gebrekkige modeluitvoer voor supralitorale delen. Opvallend is de toename aan supralitoraal ecotoop in de maatregelrichtingen M2 en M3. Deze ecotopen ontstaan voornamelijk voor de Duitse kust. Echter, deze supralitorale ecotopen ontstaan ten koste van litorale ecotopen en dat is in dit criterium niet de bedoeling. Alleen in maatregelrichting M5 ontstaat daadwerkelijk uitbreiding van supralitoraal, zonder dat dit ten koste gaat van het litoraal.

Tabel 23. Oppervlakte sublitorale, litorale en supralitorale ecotopen in de Eems-Dollard (km²), voor de huidige situatie (2014), de autonome ontwikkeling (M0) en de maatregelrichtingen M1 t/m M6.

Ecotoop	2014	M0	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Sublitoraal	293.8	324.8	325.2	318.9	305.8	324.8	329.8	336.7
Litoraal	238.5	206.2	205.7	208.9	222.8	206.0	211.7	193.5
Supralitoraal	3.3	4.6	4.6	7.8	7.0	4.7	9.0	5.4
Totaal	535.6	535.6	535.6	535.6	535.6	535.6	550.6	535.6

Tabel 24. Verhouding aan sublitorale, litorale en supralitorale ecotopen in de Eems-Dollard voor de huidige situatie (2014), de autonome ontwikkeling (M0) en de maatregelrichtingen M1 t/m M6.

Ecotoop	2014	M0	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Sublitoraal	54.9%	60.6%	60.7%	59.5%	57.1%	60.6%	59.9%	62.9%
Litoraal	44.5%	38.5%	38.4%	39.0%	41.6%	38.5%	38.5%	36.1%
Supralitoraal	0.6%	0.9%	0.9%	1.5%	1.3%	0.9%	1.6%	1.0%
Totaal	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

2.2.9 Uitbreiding brakke kwelders in Dollard en zijrivieren

In het streefbeeld liggen langs het hele estuarium meer kwelders, maar vanwege de zeldzaamheid van brakke kwelders met name ten zuiden van Delfzijl, langs de Dollard en ook langs de benedenloop van zijrivieren. Het te beoordelen criterium is de omvang en locatie van brakke supralitorale kwelders.

In Tabel 20 en Tabel 21 is het areaal aan brakke supralitorale ecotopen gegeven. Maatregelrichting M5 draagt aanzienlijk bij aan de vergroting van het areaal brakke kwelders, gevolgd door M4 en M6. Opvallend is dat maatregelrichting M3 leidt tot de grootste afname van brak supralitoraal.

2.2.10 Kwelders gevarieerd, extensief begraasd

In het streefbeeld hebben de kwelders een gevarieerde, natuurlijke begroeiing. Waar begrazing plaatsvindt, is deze extensief. Op brakke kwelders groeien planten als riet, fioringras, zulte en zeebies.

Met de modeluitvoer van de Hydromorfologische Verkenning kan dit niet beoordeeld worden.

2.3 Geleidelijke overgangen

In het streefbeeld worden de volgende elementen genoemd:

- Geleidelijke overgangen tussen de zijwateren en het estuarium
- Geen onnatuurlijk sterke schommelingen in zoutgehalte

2.3.1 Geleidelijke overgangen tussen de zijwateren en het estuarium

In het streefbeeld zijn natuurlijke overgangen tussen de zijwateren en het estuarium, van de bron van de zijwateren tot de monding in het estuarium. In Nederland gaat het met name om Westerwoldse Aa, Termunterzijldiep en Groote Tjariet. Een criterium hiervoor is de aanwezigheid van zoet-zout overgangen tussen het estuarium en de zijrivieren.

Met de modeluitvoer van de Hydromorfologische Verkenning kan dit criterium niet beoordeeld worden, maar de voorgestelde maatregelrichtingen hebben er waarschijnlijk weinig invloed op.

2.3.2 Geen onnatuurlijk sterke schommelingen in zoutgehalte

In het streefbeeld hebben schelpdieren en vissen geen last van onnatuurlijk sterke schommelingen in zoutgehalte. Hiermee wordt met name bedoeld dat de overgangen met de zijrivieren piekafvoeren dempen.

Met de modeluitvoer van de Hydromorfologische Verkenning kan dit niet beoordeeld worden.

2.4 Natuurlijk troebel

In het streefbeeld worden de volgende elementen genoemd:

- Troebelheid in middendeel is aanzienlijk minder dan nu
- Laaggelegen gebieden waar slib kan bezinken
- Minder hoge vloedstroomsnelheid de rivier op
- Troebelheidsmaximum is lager en minder langgerekt

2.4.1 Troebelheid in middendeel is aanzienlijk minder dan nu

In het streefbeeld is het water van de Eems-Dollard aanzienlijk helderder dan nu, met name in het middendeel (tussen Hond-Paap en Dollard).

De resultaten voor dit criterium zijn door Deltares berekend. De grootste berekende realistische reductie in de sedimentconcentratie wordt gerealiseerd in maatregelrichting M1. Maatregelen waarbij zandig materiaal (gebaggerd uit vaargeulen) gebruikt wordt voor het creëren van intergetijdengebieden (maatregelrichting M3) of storting in luwe gebieden (maatregelrichting M2) leiden op termijn tot een toename van de slibconcentraties. Het creëren van een sedimentatiegebied voor slib via een verlengde punt van Reide (maatregelrichting M4) of het creëren van een overstromingsgebied (maatregelrichting M5) leiden initieel tot een sterke verlaging van de sedimentconcentratie maar op de langere termijn neemt de effectiviteit af. De gevolgen voor de slibconcentratie voor maatregelrichting M6 konden niet betrouwbaar worden berekend (Van Maren et al., 2017).

2.4.2 Laaggelegen gebieden waar slib kan bezinken

In het streefbeeld blijft de troebelheid beperkt doordat veel slib kan bezinken op uitgestrekte laaggelegen gebieden langs de randen van het estuarium. Deze gebieden ontstaan door 'een natuurlijke reset' waarbij een flinke storm bestaande slikken en kwelders wegslaat en door overstromingen gebieden langs de randen toevoegt.

In dit criterium gaat het over laagdynamische laaglitorale delen langs de randen. Tabel 13 en Tabel 14 geven de randgelegen ecotopen weer. Het aandeel laagdynamisch laaglitoraal neemt in de autonome ontwikkeling enigszins toe, maar varieert slechts weinig tussen de maatregelrichtingen. Met zo'n 8% is hun aandeel beperkt. In de Hydromorfologische Modelling is geen rekening gehouden met extreme gebeurtenissen zoals zware stormen. Dit criterium kan niet goed beoordeeld worden.

2.4.3 Minder hoge vloedstroomsnelheid de rivier op

In het streefbeeld is de zoetwatergetijdenrivier van de Eems niet langer hypertroebel, waardoor de bodem ruwer wordt, zodat de vloedstroom minder snel de rivier op trekt. Een criterium hiervoor is de vloedstroomsnelheid in het Emders fahrwasser. Dit kan met een ecotopenaanpak niet beoordeeld worden.

2.4.4 Troebelheidsmaximum is lager en minder langgerekt

In het streefbeeld doet zich een natuurlijke piek in de troebelheid voor in de Eems rivier (het troebelheidsmaximum), maar deze piek is lager en minder langgerekt dan nu. Hierdoor neemt ook de troebelheid in de Eems-Dollard af. Een criterium hiervoor is dat er geen troebelheidszone bestaat vanuit de rivier via het Emders fahrwasser de Eems-Dollard in. Dit kan met een ecotopenaanpak niet beoordeeld worden.

2.5 Voldoende voedsel aan de basis

In het streefbeeld worden de volgende elementen genoemd:

- De hoeveelheid bodemalgen op de platen blijft min of meer gelijk
- De productie van zwevende algen in het water neemt toe

2.5.1 De hoeveelheid bodemalgen op de platen blijft min of meer gelijk

In het streefbeeld blijft de hoeveelheid bodemalgen op de platen min of meer gelijk. Een criterium hiervoor in een ecotopenaanpak is het areaal slikkige laagdynamische litorale ecotopen. Voor ieder van de doorgerekende maatregelen kan beoordeeld worden of dit areaal gelijk blijft. In het streefbeeld is dit met name belangrijk voor de Dollard.

In Tabel 20 en Tabel 21 is het areaal aan brakke laagdynamische litorale ecotopen gegeven voor de Dollard. In maatregelrichting M5 is er uitbreiding van deze ecotopen. Ook scoort maatregelrichting M3

heel goed vergeleken met de huidige situatie. In maatregelrichting M6 gaat veel slibrijk laagdynamisch areaal verloren. Maatregelrichting M4 scoort ook relatief slecht op dit criterium.

2.5.2 De productie van zwevende algen in het water neemt toe

De productie van zwevende algen in het water is in het streefbeeld groter. De toename vindt met name plaats in het middendeel van het estuarium, globaal tussen Hond en Paap en de Dollard. Hier neemt de productie van zwevende algen in het ecologisch streefbeeld toe met zo'n 20-50% doordat het water minder troebel wordt. Dit kan met het ecosysteemmodel van Bert Brinkman (in concept) berekend worden, niet via een ecotopenaanpak.

3 Conclusies en aanbevelingen

3.1 Conclusies

In deze studie zijn modelresultaten van Deltares met betrekking tot de morfologische toestand van het Eems estuarium in 2050 als gevolg van zes verschillende hydromorfologische maatregelrichtingen geïnterpreteerd door middel van een ecotopenanalyse. De resultaten van de ecotopenanalyse zijn vergeleken met het opgestelde streefbeeld uit het Programma Eems-Dollard 2050. Niet alle elementen van het streefbeeld kunnen met een ecotopenanalyse geïnterpreteerd worden, dus het is niet mogelijk een algemeen oordeel te geven over de mate waarin het ecologisch streefbeeld bij de verschillende maatregelrichtingen kan worden bereikt. De maatregelrichtingen zijn ontworpen om het slibgehalte in de Eems-Dollard omlaag te brengen en de daarmee samenhangende mogelijk negatieve ecologische consequenties van een te hoog slibgehalte te mitigeren. De positieve ecologische effecten op de productiviteit van het systeem maakt geen deel uit van de beoordeling die hier is uitgevoerd en wordt apart bestudeerd.

De resultaten uit deze studie wijzen erop dat zeespiegelstijging een groot ecologisch probleem is voor de Eems-Dollard. De modellering houdt rekening met een zeespiegelstijging van 0,67 cm/jaar tot aan 2050 resulterend in 40 cm zeespiegelstijging in 2050 ten opzichte van 1990. De resultaten laten zien dat het verdrinken van getijdengebieden als gevolg van zeespiegelstijging een grote invloed heeft op de totale biomassa van bodemdieren en hiermee op de draagkracht voor vogels. De draagkracht voor wadvogels neemt met zo'n 9 - 13% af in 2050 ten opzichte van 2014. Het meest te lijden heeft de Kluut die een afname van de draagkracht van 13% laat zien. Kluut heeft zeeduizendpoot als stapelvoedsel en deze heeft van de wormachtigen een relatief grote afname als gevolg van zeespiegelstijging. Ook de kokkel-eter Scholekster laat een relatief grote afname zien omdat de kokkel sterk afneemt door zeespiegelstijging. Als derde gevoelige soort komt de Bontbekplevier naar voren, omdat voor deze soort de draagkracht wordt bepaald door de beschikbaarheid van zeeduizendpoot en wadslakjes en die doen het allebei slecht bij zeespiegelstijging. Het minst gevoelig voor zeespiegelstijging is de Rosse Grutto, met een afname van 'slechts' 9%. Dit komt met name doordat Gewone zandzager en Wapenworm een belangrijk aandeel in de draagkracht hebben en deze soorten zijn niet erg gevoelig voor zeespiegelstijging. Dit geldt ook voor de Tureluur. Als derde beste komt Kanoet naar voren, een schelpdiereter die voornamelijk Nonnetje in het dieet heeft en deze tweekleppige is ook relatief ongevoelig voor zeespiegelstijging. De gevolgen van zeespiegelstijging op bodemdieren en vogels zijn groter dan de gevolgen van de individuele maatregelrichtingen. De zeespiegelstijging heeft waarschijnlijk ook een negatieve invloed op de primaire productie van voedsel voor bodemdieren in het systeem, omdat het aandeel laagdynamische litorale ecotopen kleiner wordt terwijl dit belangrijke gebieden zijn voor de groei en productie van bentische algen.

Disclaimer: de resultaten van de onderliggende modelstudie van Deltares m.b.t. zeespiegelstijging zullen worden herzien. Het model liet namelijk onvoldoende vermogen zien om mee te groeien met de zeespiegelstijging. Het is mogelijk dat de gevolgen van zeespiegelstijging minder groot zijn dan berekend met het huidige model.

In maatregelrichting M1 wordt sediment dat bezinkt in slibrijke gebieden, zoals havens, niet teruggestort binnen het estuarium maar onttrokken aan het systeem. Deze maatregelrichting heeft nauwelijks invloed op de ecotopensamenstelling in 2050 in vergelijking met de autonome ontwikkeling.

In maatregelrichting M2 wordt gebaggerd sediment verspreid in het gebied Blindes Randzelgat ten zuidoosten van Borkum. Omdat het merendeel van het verspreide sediment door de stroming zal worden vervoerd richting de Oostereems is er een geringe morfologische respons, leidend tot een relatief grote toename van het areaal supralitoraal voor de Duitse kust ten opzichte van de autonome ontwikkeling.

In maatregelrichting M3 wordt ondiep plaatareaal gecreëerd door gebaggerd sediment te verspreiden in het gebied Rysumer Nacken ten oosten van Eemshaven in het Duitse gedeelte van de Eems-Dollard. Dit is gunstig voor bodemdieren en wadvogels omdat dit de verwachte zeespiegelstijging lokaal compenseert. Echter, op andere criteria scoort deze maatregel slecht; het is minder gunstig voor het areaal aan vishabitat, het tast het natuurlijke morfologische evenwicht aan, en het leidt tot afname van geschikt zeegras-ecotoop op de Hond-Paap. Wanneer er wordt overwogen om te compenseren voor zeespiegelstijging door verondieping is het de moeite waard om te zoeken naar een of meerdere verspreidingslocaties die beter passen in het streefbeeld.

In maatregelrichting M4 wordt sedimentatie in de Dollard bevorderd door middel van een strekdam van ongeveer 5 km lengte vanaf de Punt van Reide. In het streefbeeld voor de Eems-Dollard wordt de morfodynamiek niet beperkt door ingrepen als afdamming, insluiting of insnoering. Aangezien de dam de bestaande graduele overgangen tussen ecotopen in de Dollard doorbreekt en bovendien harde overgangen creëert, beweegt M4 zich op dit aspect van het streefbeeld af. De dam leidt tot grote ruimtelijke veranderingen in de ecotopensamenstelling van de Dollard waardoor hoogdynamische litorale ecotopen toenemen, terwijl in dit systeem laagdynamische ecotopen prevaleren. Anderzijds heeft deze maatregelrichting een positief effect op het instandhouden van areaal aan laagdynamisch middenlitoraal op de Hond-Paap, hetgeen potentieel gunstig is voor zeegras.

In maatregelrichting M5 wordt een binnendijks gebied van 15 km² gelegen tussen Delfzijl en Termunterzijl onder invloed van getij gebracht. Deze ingreep zorgt voor een toename van kwelders en laagdynamische getijdengebied, zonder dat dit ten koste gaat van andere zoute ecotopen en dit scoort hoog in het streefbeeld. Immers, het streefbeeld streeft naar een verdubbeling van het kwelderareaal van circa 5% van het totale estuariumoppervlak nu tot circa 10% in 2050. Verder mag de uitbreiding van het kwelderareaal niet ten koste gaan van het areaal slikken en platen. De uitbreiding in M5 biedt geschikt leefgebied voor wadvogels, met name voor Kluut en Zwarte Ruiter, maar niet voor schelpdieretende vogels.

In maatregelrichting M6 wordt een meanderbocht in de Dollard gegraven en in stand gehouden met een sluis bij Emden en een T-vormige strekdam in de Dollard. Hierdoor wordt de natuurlijke hydromorfodynamiek belemmerd, ontstaan er extra harde overgangen tussen land en zee en nemen leefgebieden voor bodemdieren en vogels af. In M6 gaan er relatief veel waardevolle litorale ecotopen verloren in de Dollard, maar dit is volgens het streefbeeld potentieel gunstig voor het leefgebied van vissen.

3.2 Aanbevelingen

De in deze studie gehanteerde methode is om de veranderingen in arealen aan ecotopen te vertalen in habitatgeschiktheid voor bodemdieren, vogels en vissen. Het is aan te bevelen om na te gaan in hoeverre de aantallen van de verschillende (doel)soorten (bodemdieren, vissen en vogels) daadwerkelijk beperkt worden door de beschikbaarheid van habitats binnen het systeem. De toegepaste modellering is gebaseerd op de aanname dat alle soorten aan de maximale draagkracht van het systeem zitten en dat deze is bepaald door het ecotopenoppervlakte. Dit is niet per se het geval. Soorten die onder deze maximale draagkracht zitten en door andere factoren zijn beperkt, zullen niet meteen leiden onder verlies aan ecotopen. Ook is het van groot belang te beseffen dat de aantallen dieren in de Eems-Dollard niet alleen door de lokale omstandigheden worden bepaald. Ontwikkelingen elders zijn medebepalend, waardoor er in de toekomst een faunasamenstelling kan ontstaan, die sterk afwijkt van de huidige, of van die zoals voorspeld op basis van de hier gepresenteerde modeluitkomsten. Dit is bijvoorbeeld voor de aantallen migrerende trekvogels zeer relevant, omdat deze ook worden beïnvloed door broedsucces in de toendra's of mortaliteit door jacht in het trekseizoen. En voor bodemdieren liet de studie van Compton et al. (2017) zien dat er over een periode van decennia grote veranderingen in de soortensamenstelling van benthos zijn opgetreden die niet verband houden met ecotoopveranderingen, maar andere oorzaken hebben zoals het arriveren van invasieve soorten, het optreden van temperatuurveranderingen en gerelateerde fysiologische effecten, en veranderingen in nutriëntentoevoer of troebelheid.

Voor een toekomstige ecotopenanalyse, wellicht op basis van nieuwe resultaten van Deltares, is het aan te bevelen om de veranderingen in het zoutgehalte in meer detail mee te nemen omdat dit een zeer bepalende factor is voor de soortensamenstelling en –biomassa van flora en fauna in een estuarium. Het is verder aan te bevelen om verbeterde modelvoorspellingen te maken voor kwelderontwikkeling, met name in de Dollard. Hierbij moet ook het slibgehalte in het water worden betrokken omdat dit een belangrijke variabele is voor de opslibbingssnelheid.

Omdat uit deze studie blijkt dat zeespiegelstijging kan leiden tot grote veranderingen in de ecotopensamenstelling en daarmee mogelijk gevolgen heeft op de primaire productie van benthische algen is het aan te bevelen de gevolgen van zeespiegelstijging nader te onderzoeken. Het is aan te bevelen te onderzoeken wat de cumulatieve gevolgen zijn van een autonoom toenemend slibgehalte in combinatie met zeespiegelstijging op de primaire productie van zwevende algen en op de bodem levende algen, en welke maatregelen deze gevolgen kunnen mitigeren.

Deze studie laat zien dat het ecologische streefbeeld zoals beschreven in het adaptieve Programma Eems-Dollard 2050 een nadere uitwerking behoeft. Het is aan te bevelen te bezien in hoeverre het ecologisch streefbeeld een heroverweging behoeft gelet op de resultaten van deze studie in combinatie met de resultaten van de andere studies in het programma en gelet op de instandhoudingsdoelstellingen van Natura 2000-gebied Eems-Dollard.

4 Kwaliteitsborging

Wageningen Marine Research beschikt over een ISO 9001:2008 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem (certificaatnummer: 187378-2015-AQ-NLD-RvA). Dit certificaat is geldig tot 15 september 2018. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV Certification B.V.

Literatuur

- BAPTIST, M. J., VAN DER WAL, J. T., DE GROOT, A. V. & YSEBAERT, T. J. W. 2016. Ecotopenkaart Waddenzee volgens de ZES.1 typologie. Wageningen University & Research, Wageningen Marine Research rapport C103/16.
- COMPTON, T. J., HOLTHUIJSEN, S., MULDER, M., VAN ARKEL, M., SCHAARS, L. K., KOOLHAAS, A., DEKINGA, A., TEN HORN, J., LUTTIKHUIZEN, P. C. & VAN DER MEER, J. 2017. Shifting baselines in the Ems Dollard estuary: A comparison across three decades reveals changing benthic communities. *Journal of Sea Research*.
- DANKERS, P., VAN MAREN, B. & SCHMIDT, C. 2016. Plan van Aanpak Hydromorfologische Verbetering Eems Dollard Estuarium. Provincie Groningen & Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
- ED2050 2016. Programma Eems-Dollard 2050; Meerjarig adaptief programma voor ecologische verbetering. Provincie Groningen & Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
- EERTMAN, R. & SMAAL, A. C. 1997. De ecologische functies van geleidelijke zoet-zoutovergangen in estuaria en kustwateren. Middelburg/Yerseke: RIKZ/NIOO-CEMO.
- ENS, B. J., KERSTEN, M., KROL, J., VAN DER MEER, J., WIJSMAN, J., SCHEKKERMAN, H., SMIT, C. J. & RAPPOLDT, K. 2016. Monitoring van het voor vogels oogstbare voedselaanbod in de kombergingen van het Pinkegat en Zoutkamperlaag - rapportage tot en met monitoringjaar 2015. Sovon-rapport 2016/15. Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.
- ENS, B. J. E., KROL, J., VAN DER MEER, J., PIENING, H., WIJSMAN, J., SCHEKKERMAN, H. & RAPPOLDT, K. 2015. Monitoring van het voor vogels oogstbare voedselaanbod in de kombergingen van het Pinkegat en Zoutkamperlaag. Sovon-rapport 2015.15. Sovon Vogelonderzoek Nederland, Nijmegen.
- FISCHER, H. B., LIST, E. J., KOH, R. C. Y., IMBERGER, J. & BROOKS, N. H. 1979. *Mixing in inland and coastal waters*, New York, Academic Press.
- FOLMER, E. O., OLFF, H. & PIERSMA, T. 2010. How well do food distributions predict spatial distributions of shorebirds with different degrees of self-organization? *Journal of Animal Ecology*, 79, 747-756.
- JAGER, Z. & KOLBE, K. 2013. Wax and wane of *Zostera marina* on the tidal flat Hond-Paap / Hund-Paapsand in the Ems estuary ; examinations of existing data. ZiltWater Report 201302 & NLWKN.
- JANSSEN, G. 2000. Herstel van estuariene gradiënten in het waddengebied. Haren: RIKZ.
- LEEuw, C. C. D. & BACKX, J. J. G. M. 2001. Naar een herstel van estuariene gradiënten in Nederland; Een literatuurstudie naar de algemene ecologische principes van estuariene gradiënten, ten behoeve van herstelmaatregelen langs de Nederlandse kust. Den Haag, Lelystad: RIKZ, RIZA.
- LEOPOLD, M. F., SMIT, C. J., GOEDHART, P. W., VAN ROOMEN, M., VAN WINDEN, E. & CAN TURNHOUT, C. 2004. Langjarige trends in aantallen wadvogels, in relatie tot de kokkelvisserij en het gevoerde beleid in deze; Eindverslag EVA II (Evaluatie Schelpdiervisserij tweede fase) Deelproject C2.: Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 954. 165 blz. 52 fig.; 5 tab.; 184 ref.
- MCLUSKY, D. S. 1993. Marine and estuarine gradients; An overview. *Netherlands journal of aquatic ecology*, 27, 489-493.
- REMANE, A. 1934. Die Brackwasserfauna. *Verh. Deutsch. Zool. Ges.*, 36, 34-74.
- SAVENIJE, H. H. G. 2005. *Salinity and Tides in Alluvial Estuaries*, Amsterdam, Elsevier BV.
- STEENBERGEN, J. 2004. Het effect van sterk wisselende zoutgehalten op het benthos in de Westerschelde en de Haringvlietmonding. Yerseke: RIVO.
- VAN MAREN, B., SCHRIJVERSHOF, R., SMITS, B., CRONIN, K. & VAN DER WEGEN, M. 2017. Hydromorfologische verbetering 2050; Eerste beoordeling maatregelrichtingen. Delft, Deltares rapport 11200116-000-ZKS-0004.
- WOLFF, W. J. 1973. The estuary as a habitat; an analysis of data on the soft-bottom macrofauna of the estuarine area of the rivers Rhine, Meuse, and Scheldt. Leiden: Rijksmuseum van Natuurlijke Historie.
- YSEBAERT, T. J. W., VAN DER WAL, J. T., TANGELDER, M., DE GROOT, A. V. & BAPTIST, M. J. 2015. Ecotopenkaart voor het Eems-Dollard estuarium. IMARES Rapport C059/15.

Verantwoording

Rapport C087/17

Projectnummer: 4318100124

Dit rapport is met grote zorgvuldigheid tot stand gekomen. De wetenschappelijke kwaliteit is intern getoetst door een collega-onderzoeker en het verantwoordelijk lid van het managementteam van Wageningen Marine Research

Akkoord: Dr. M.F. Leopold
Onderzoeker

Handtekening:



Datum: 1 december 2017

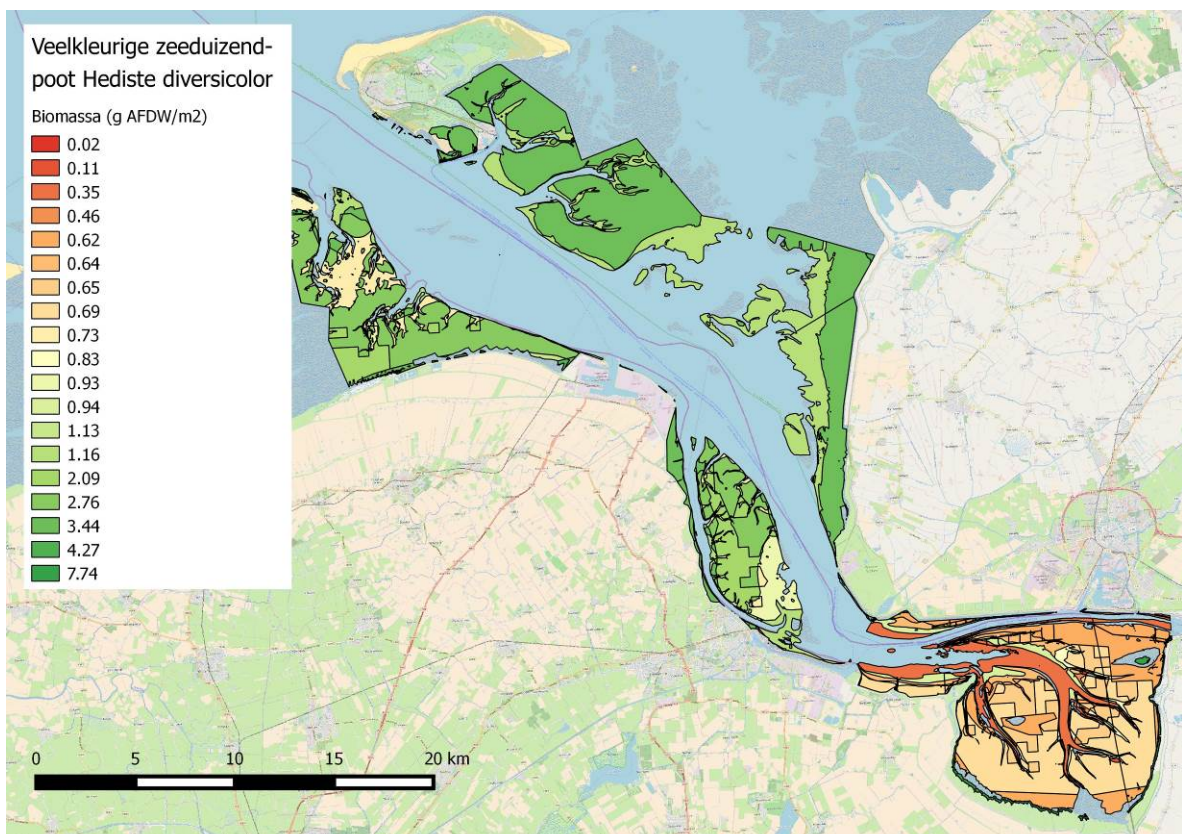
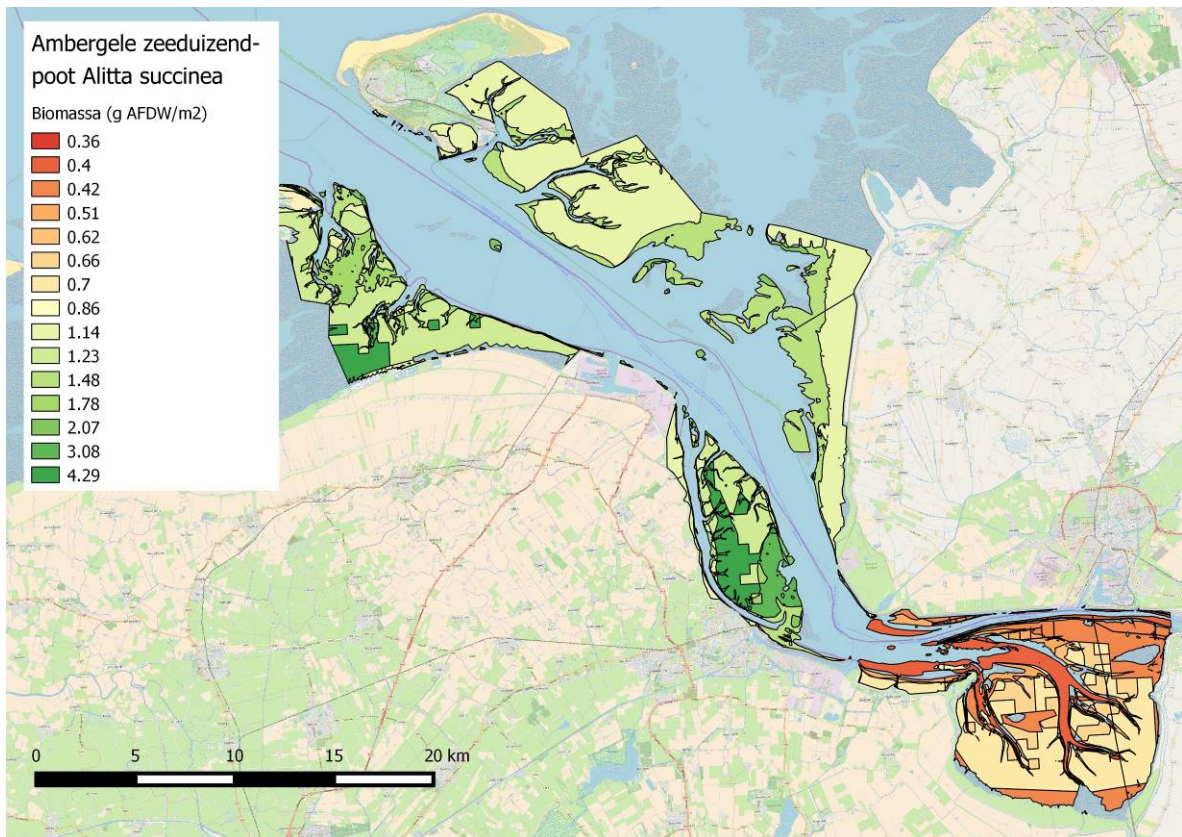
Akkoord: Drs. J. Asjes
Manager Integratie

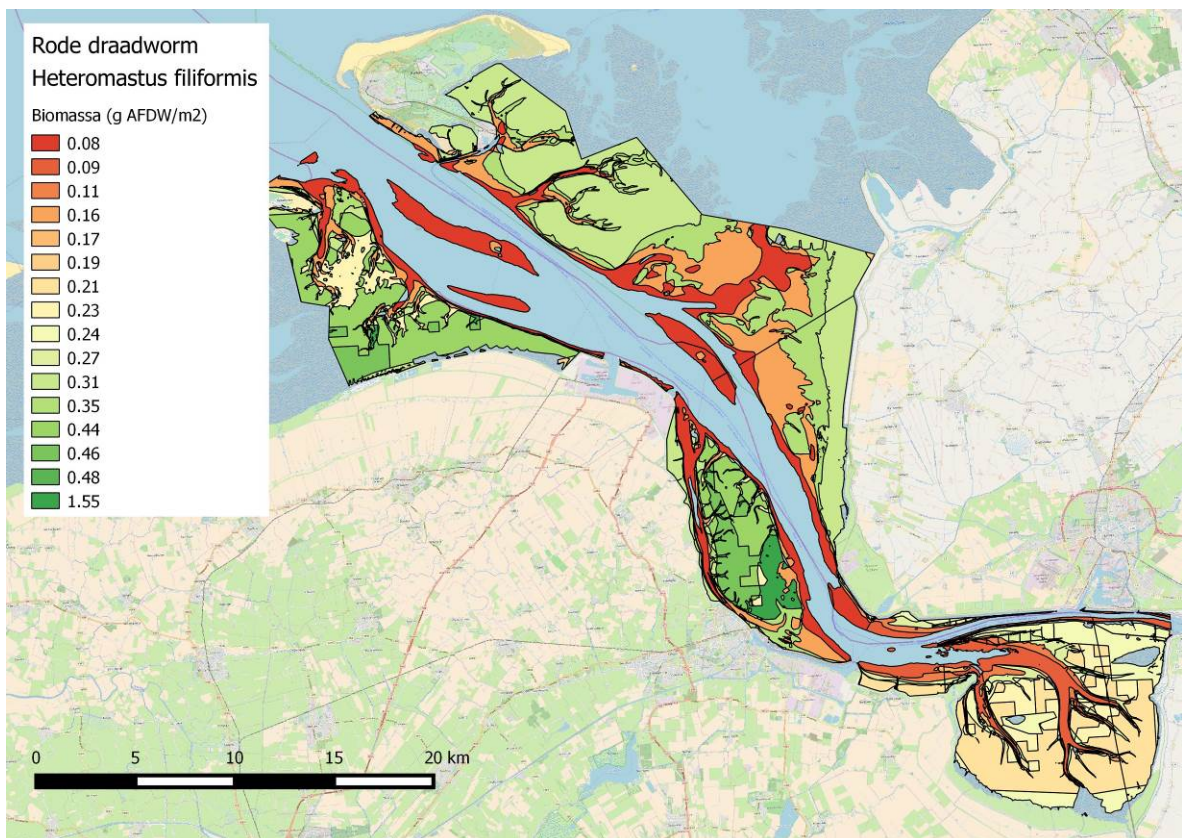
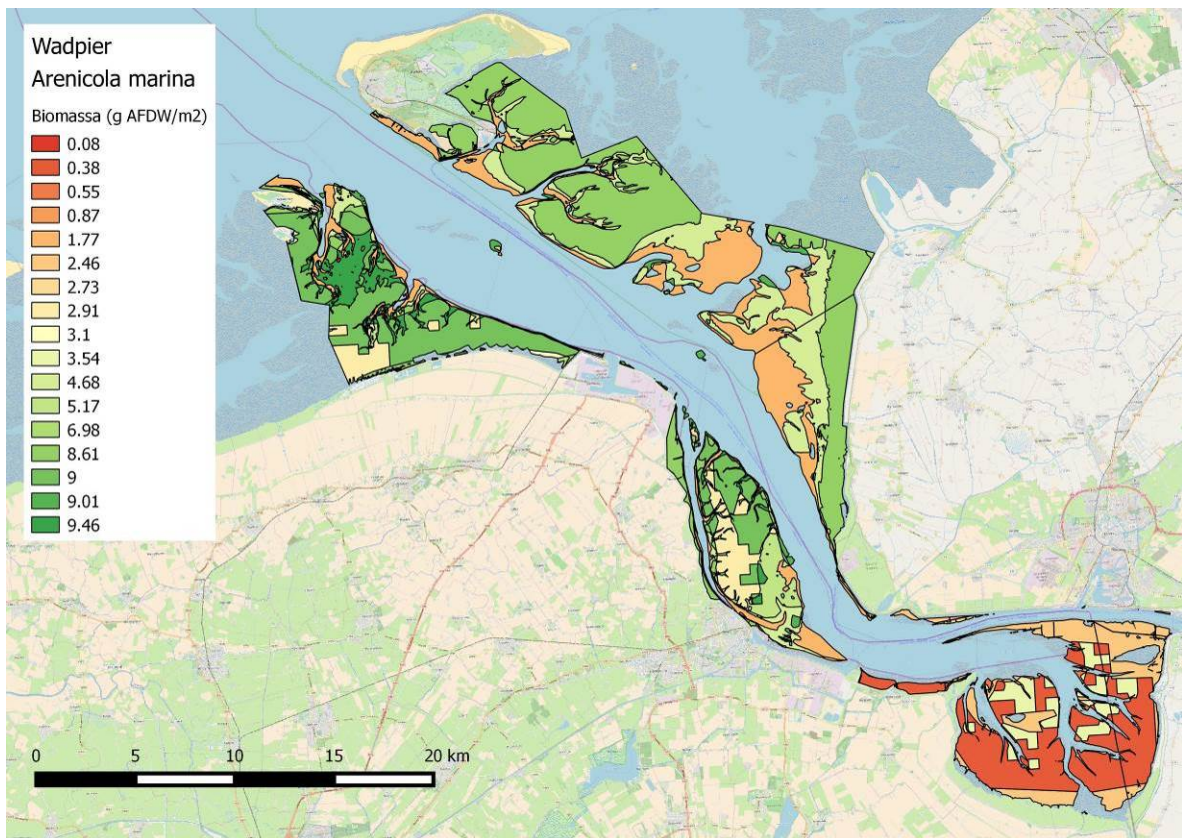
Handtekening:

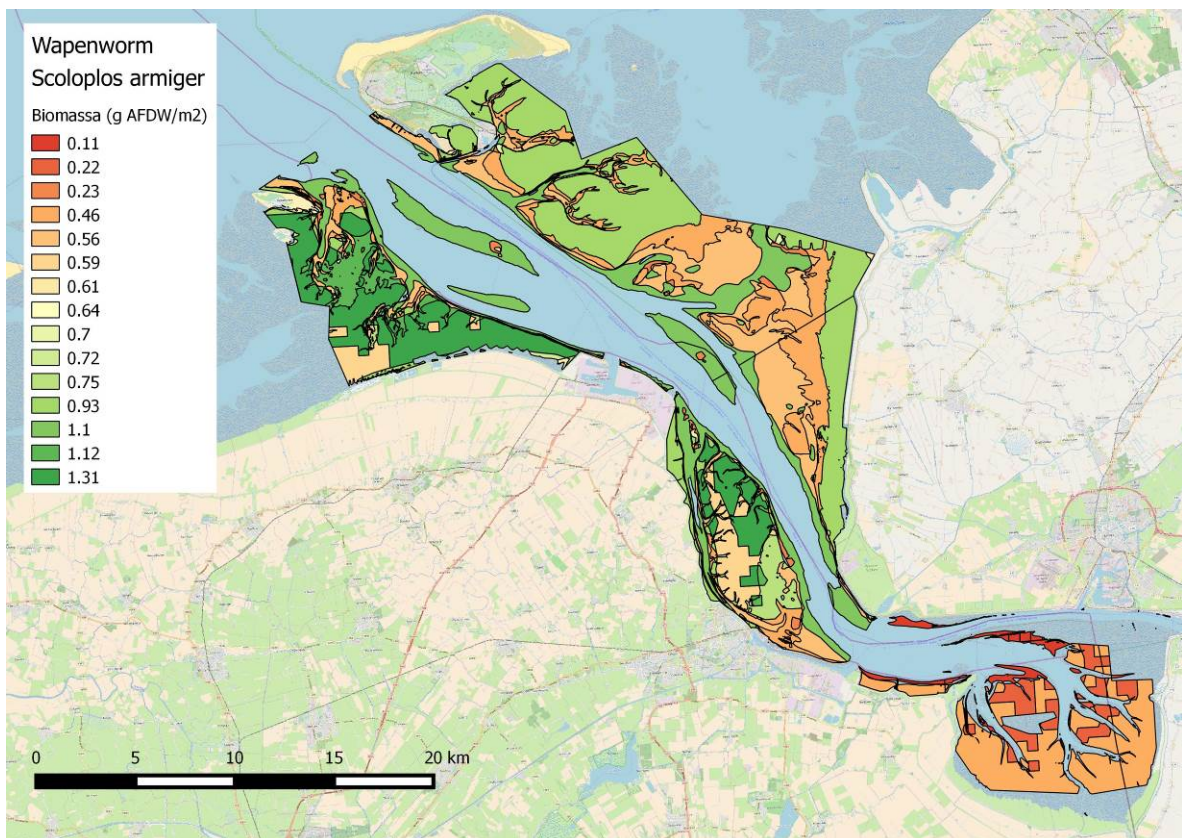
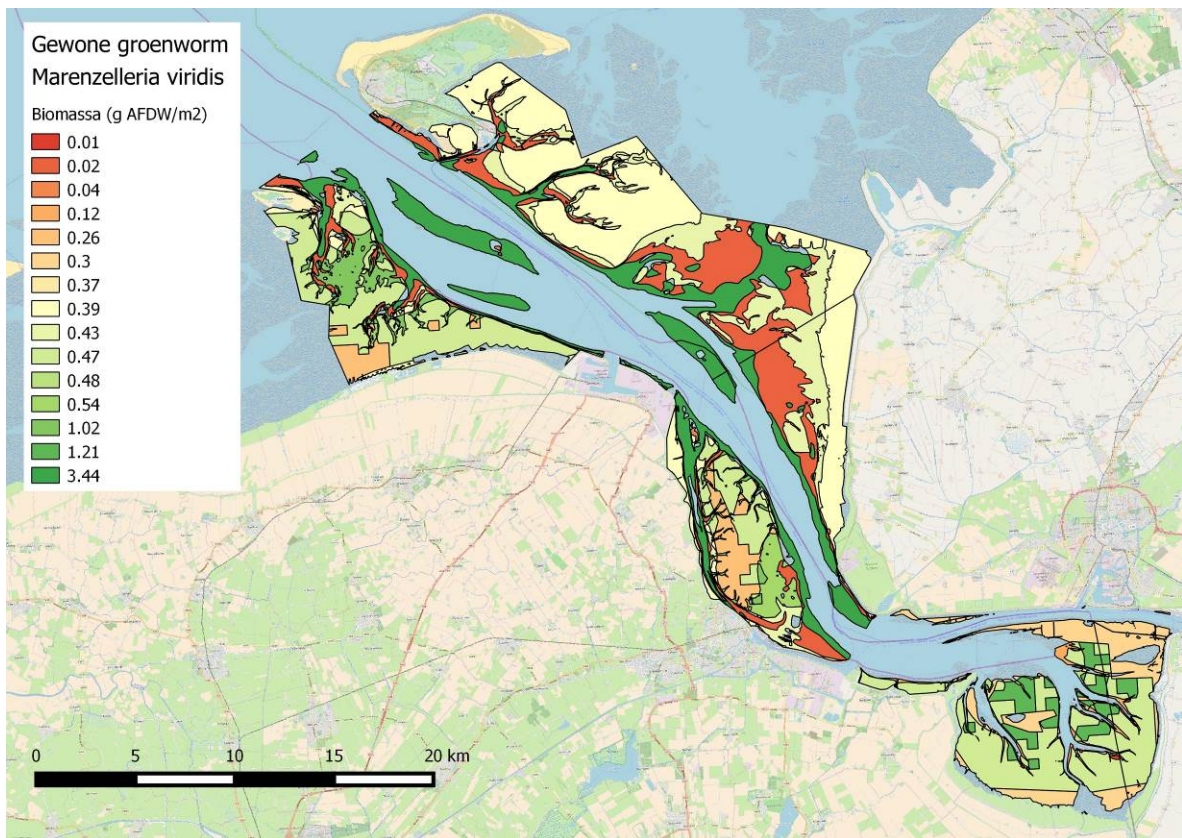


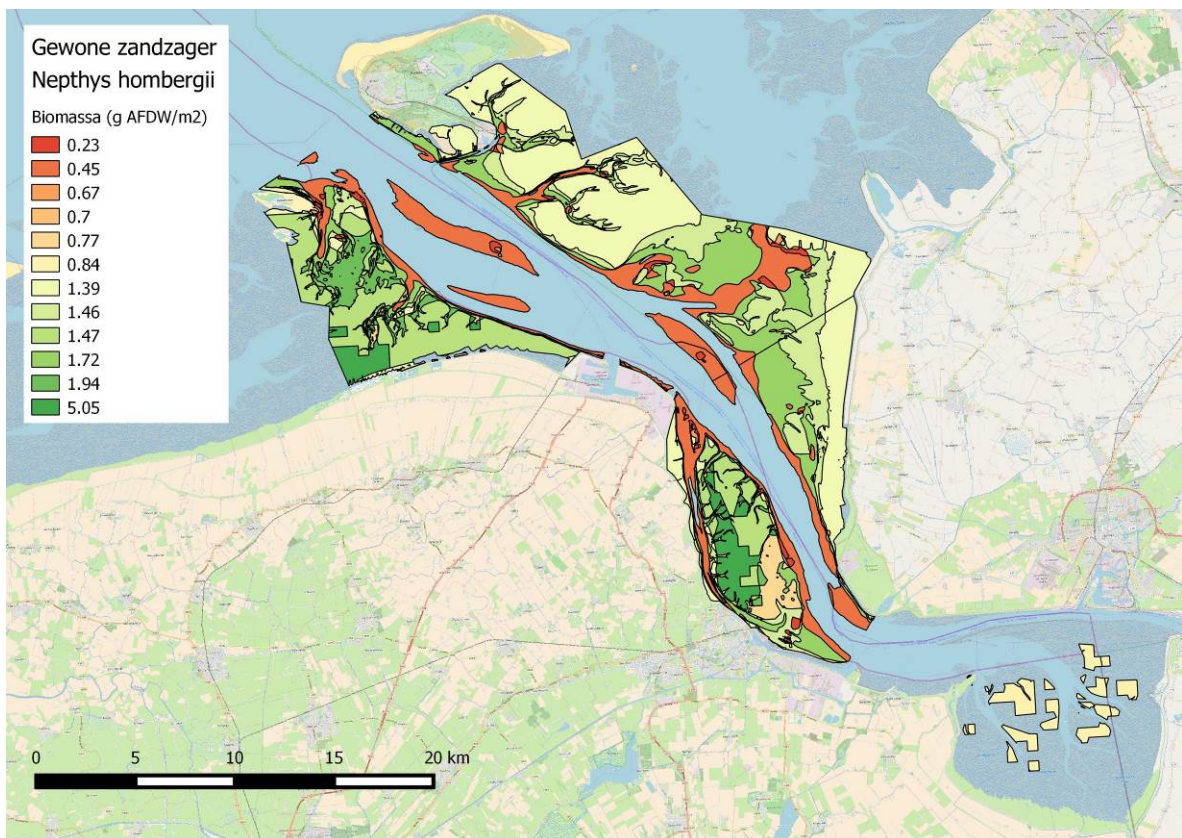
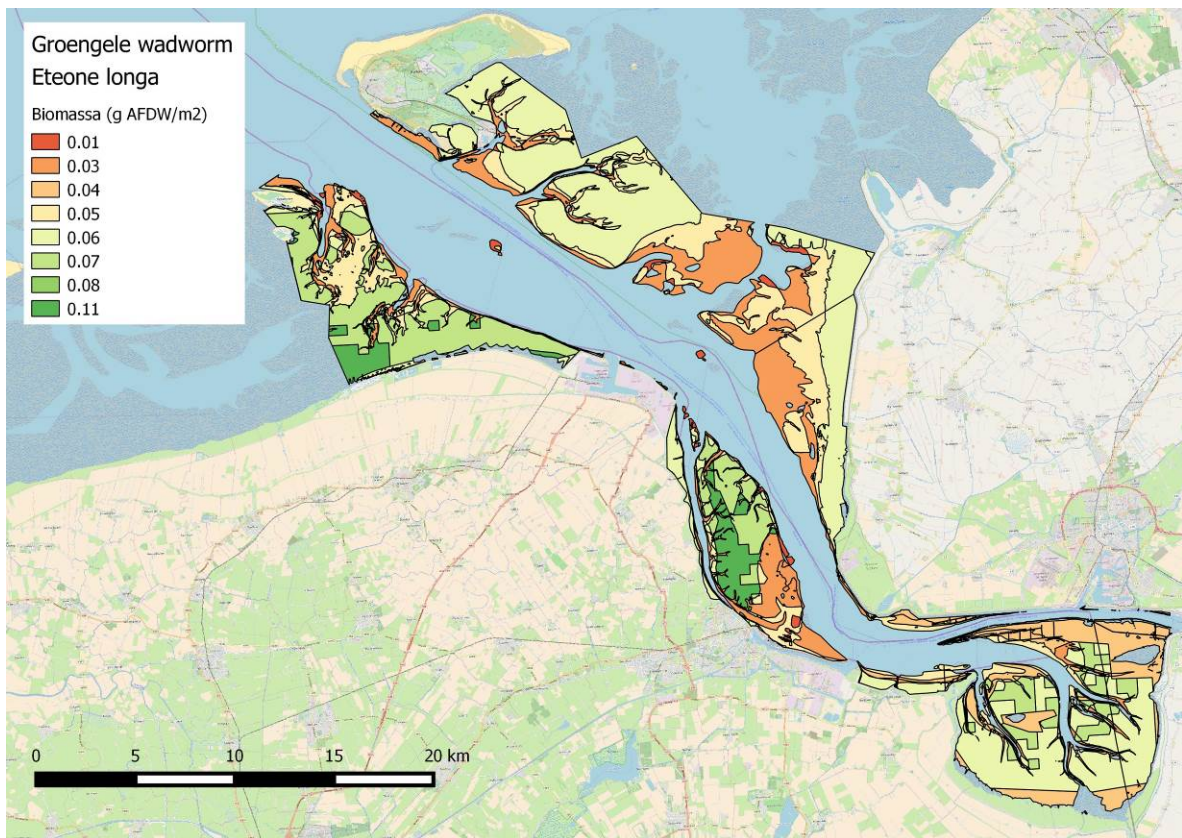
Datum: 1 december 2017

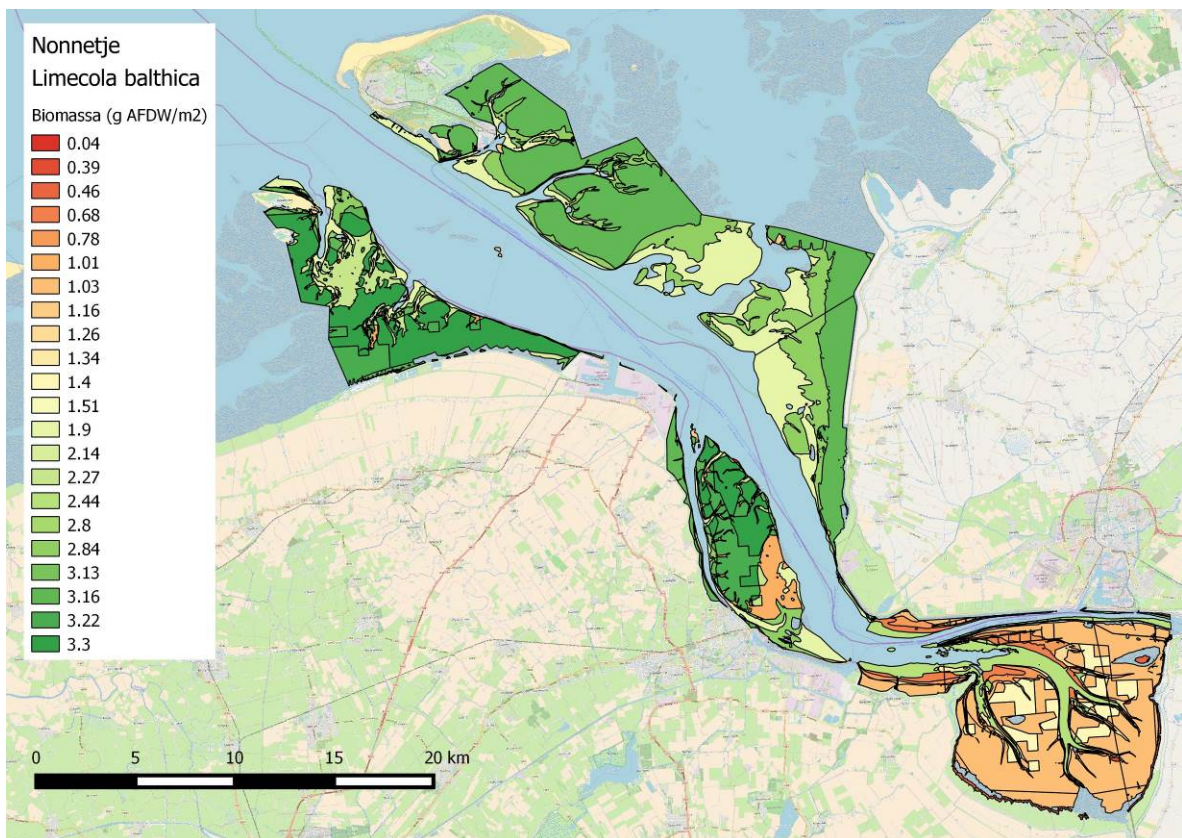
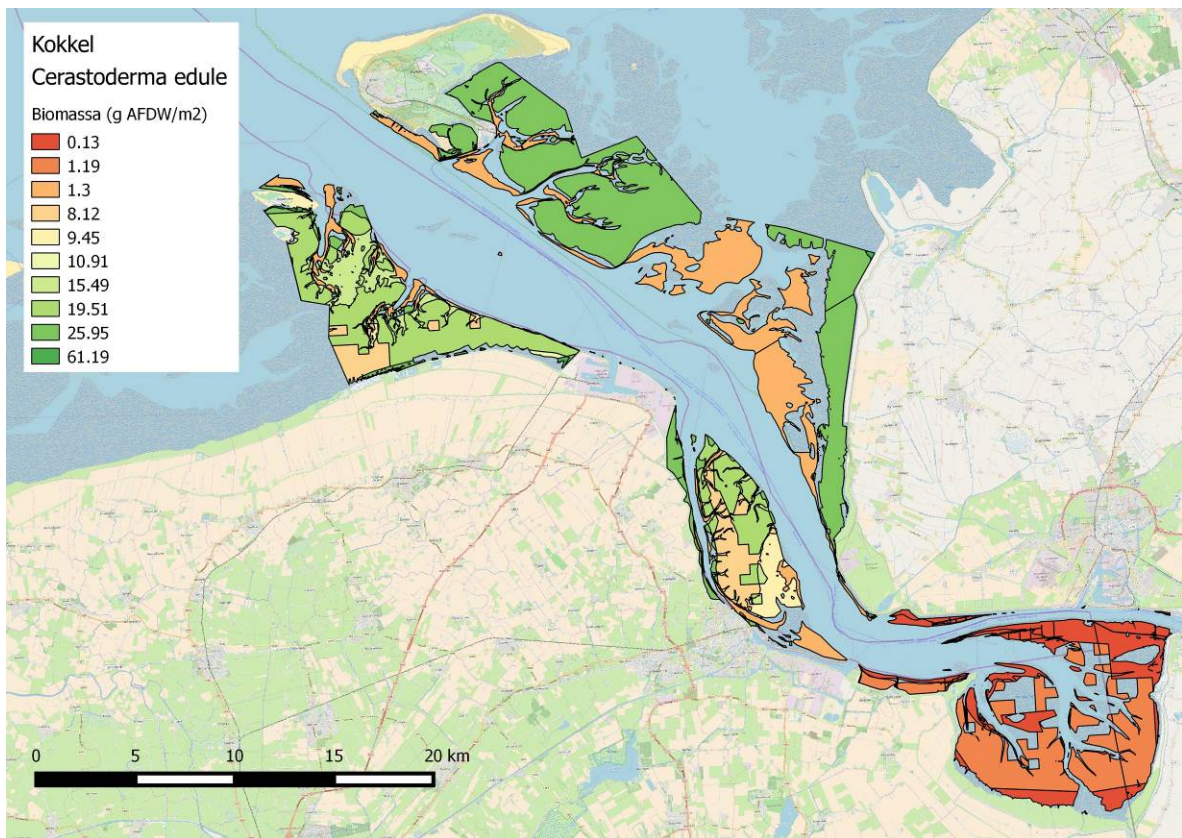
Bijlage 1 Biomassa bodemdieren per ZES.1 ecotooptype

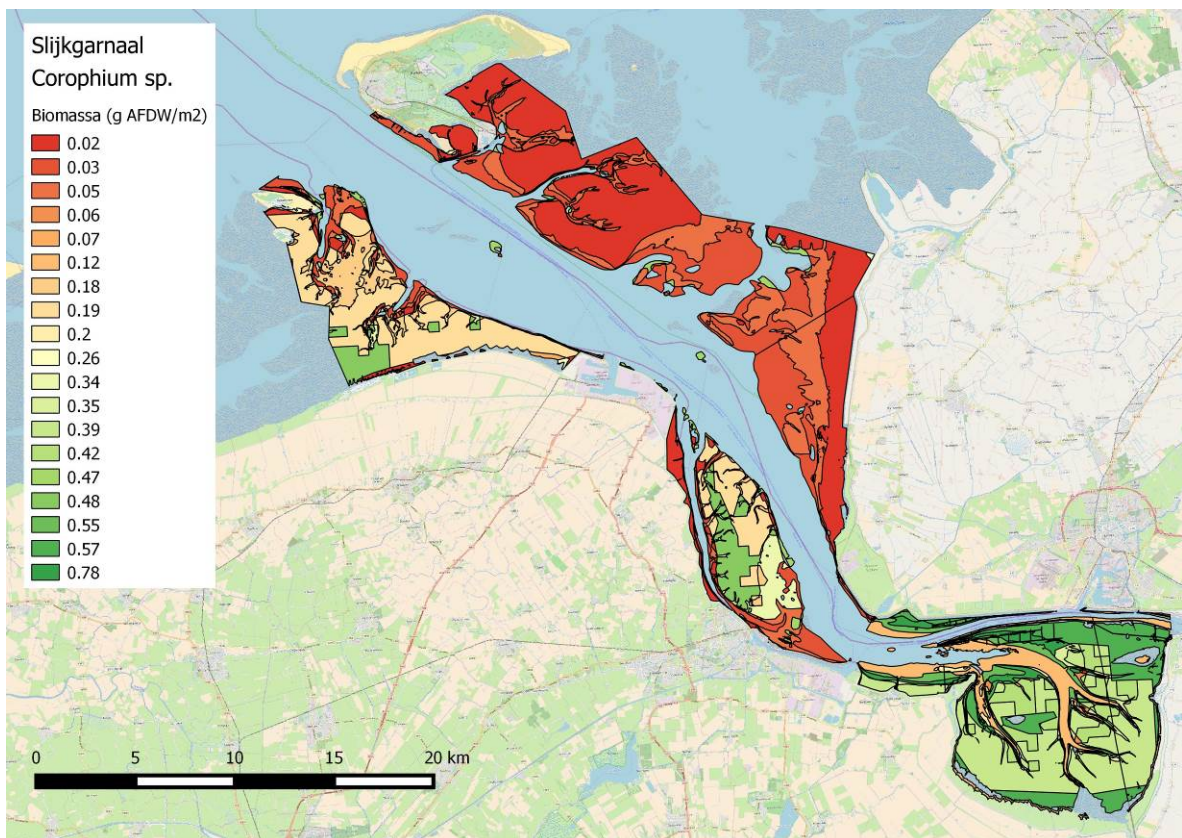
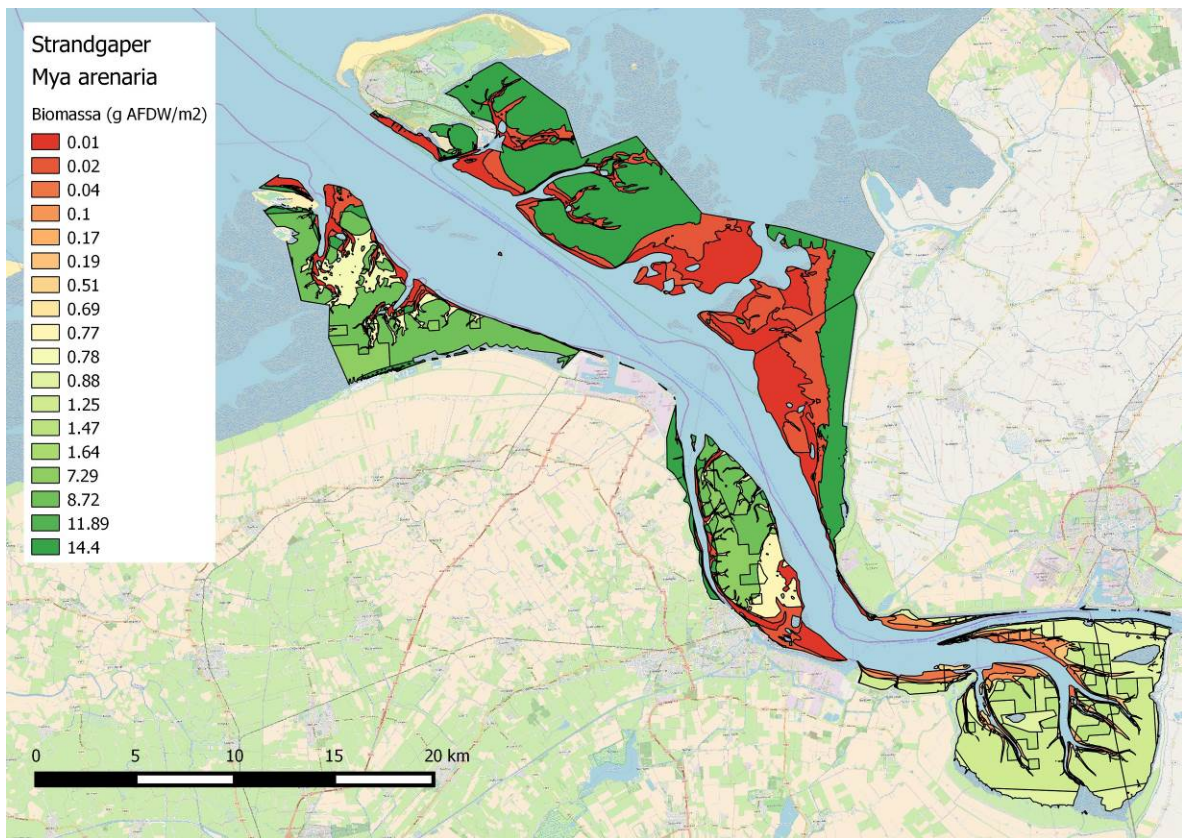


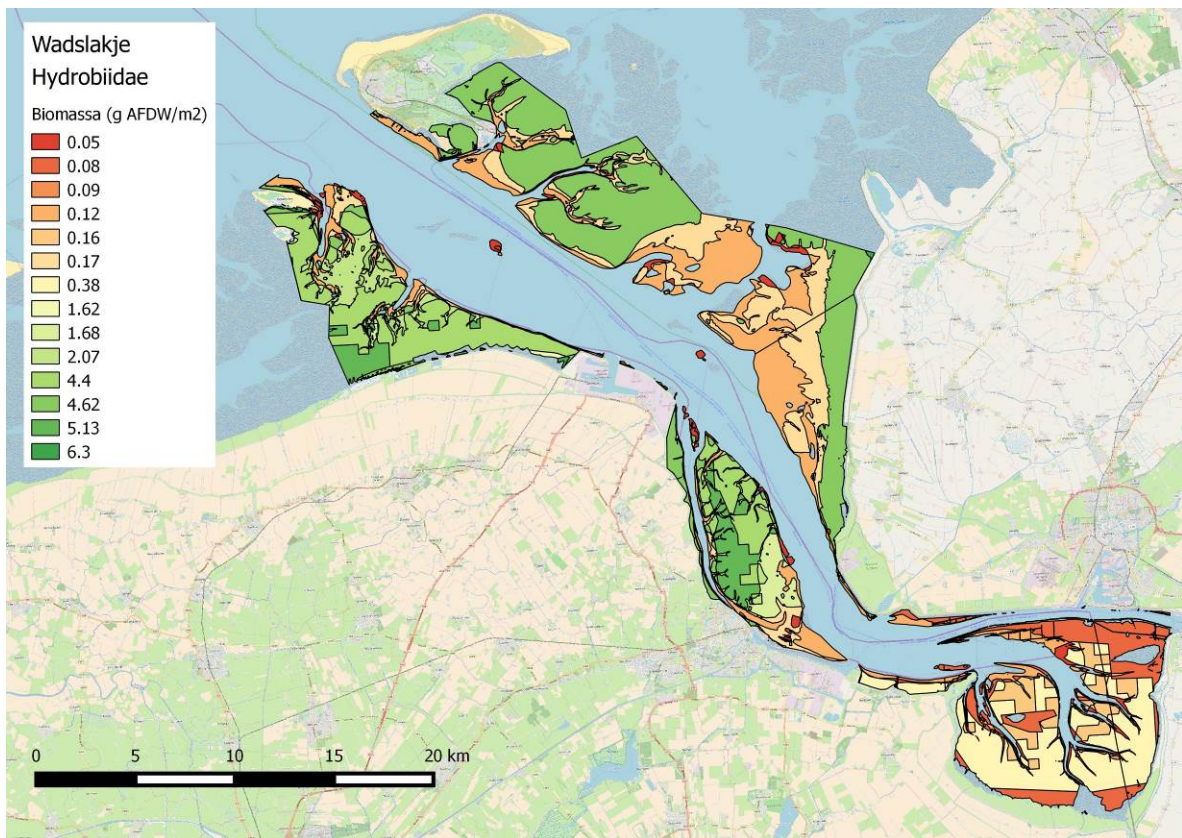






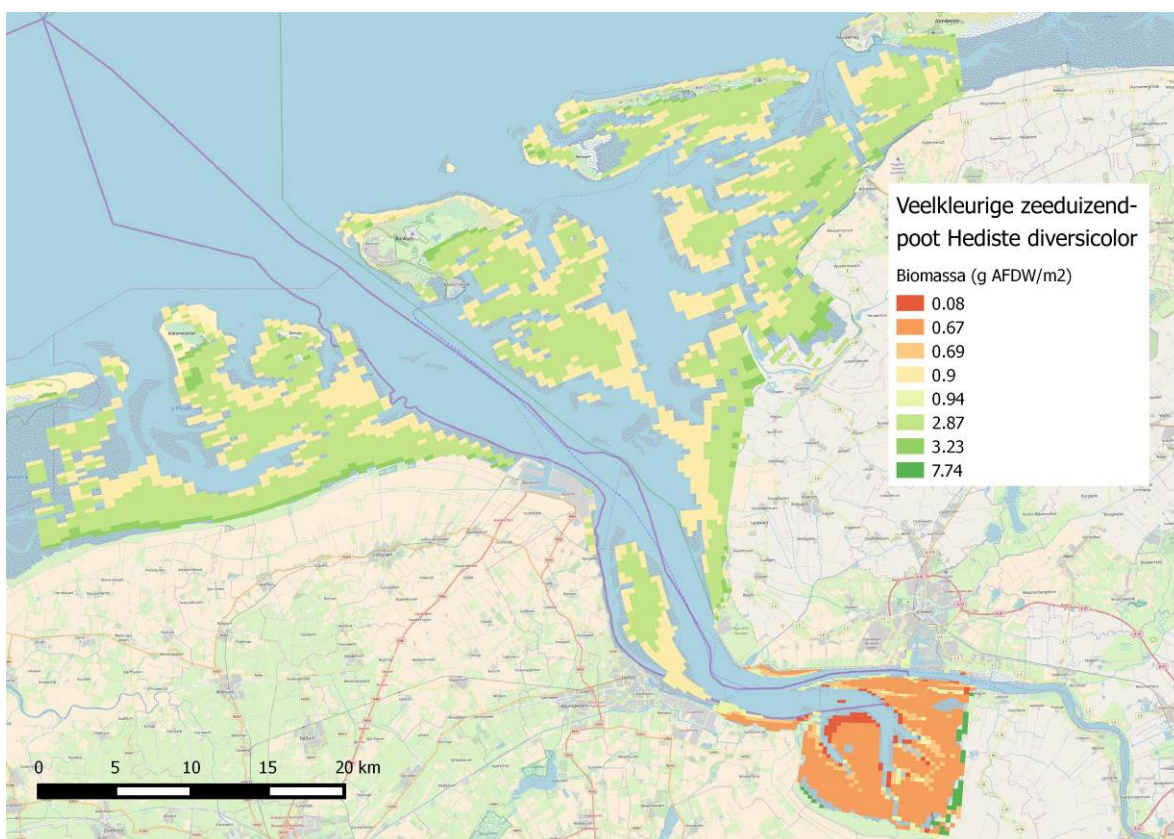
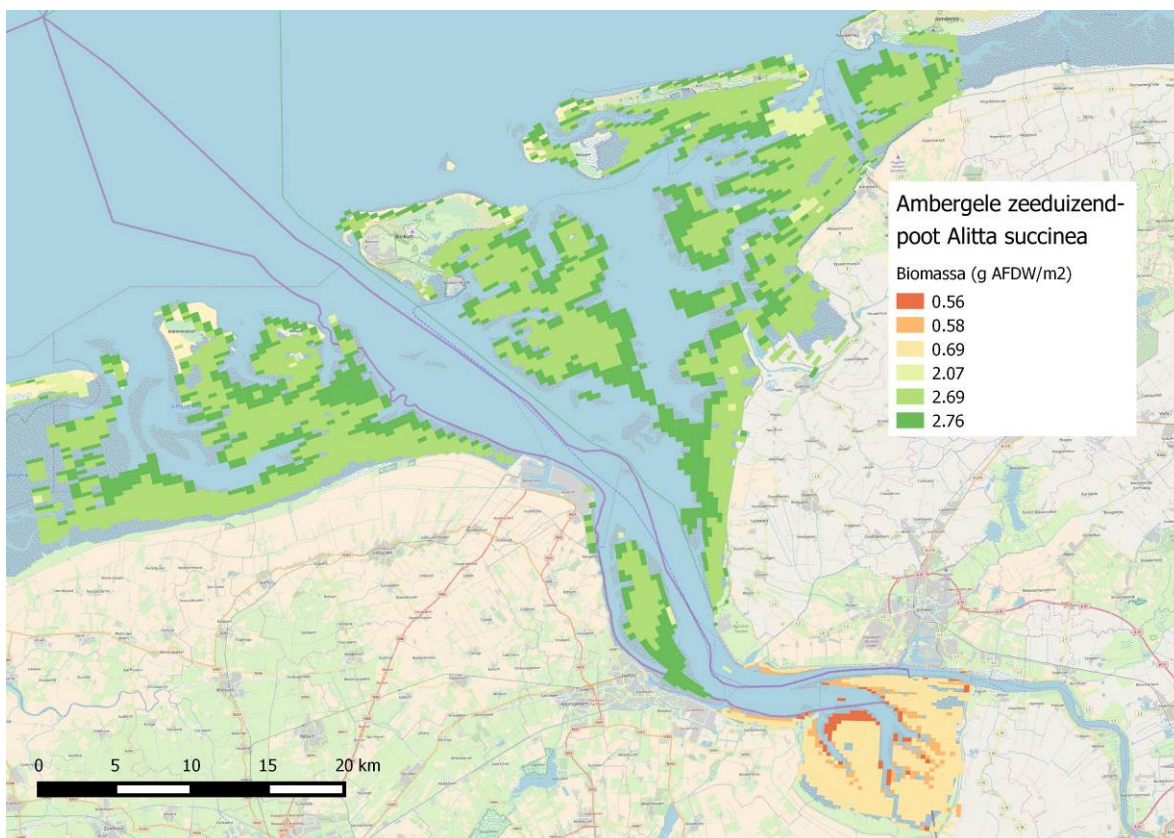


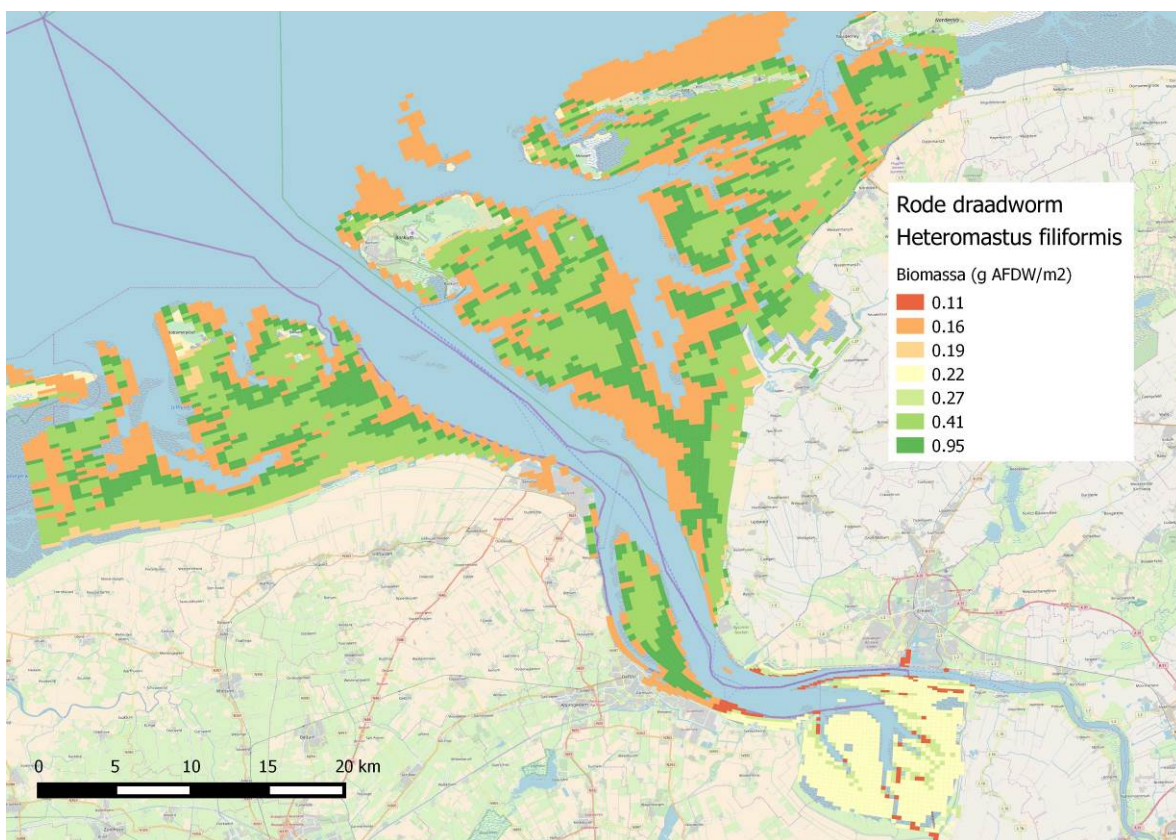
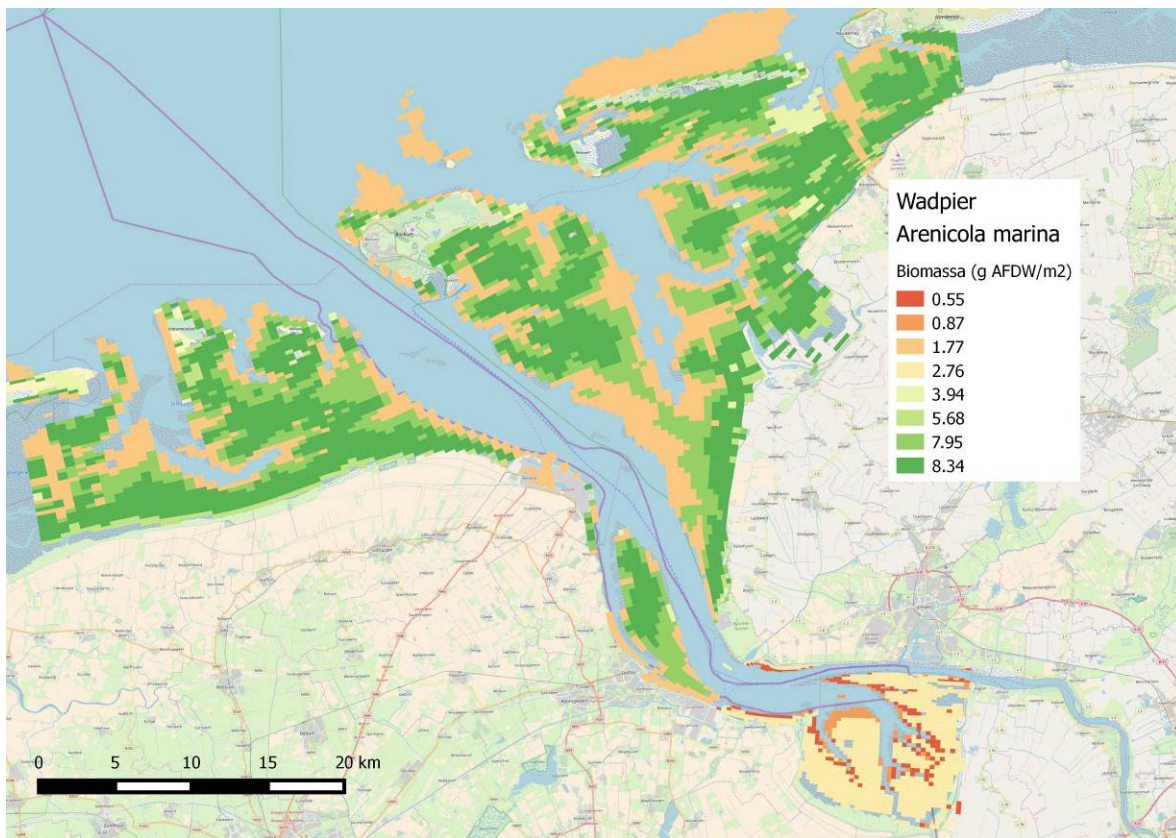


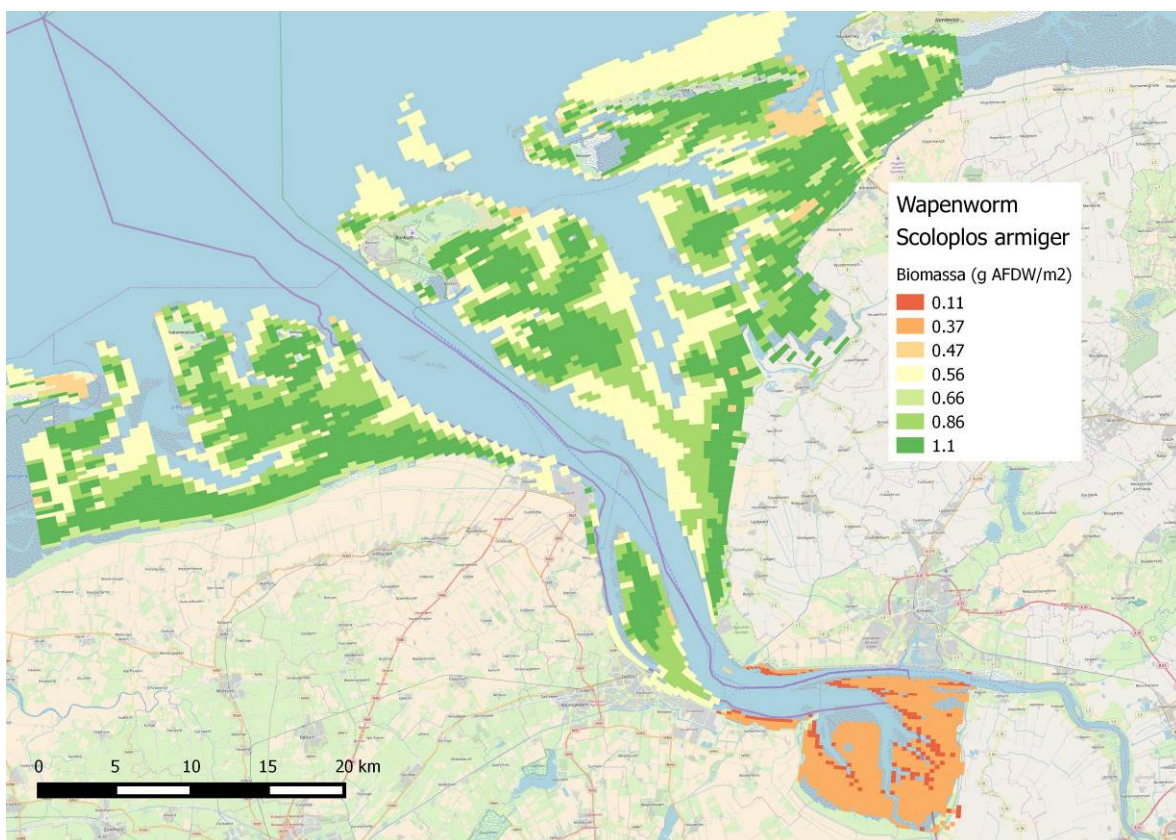
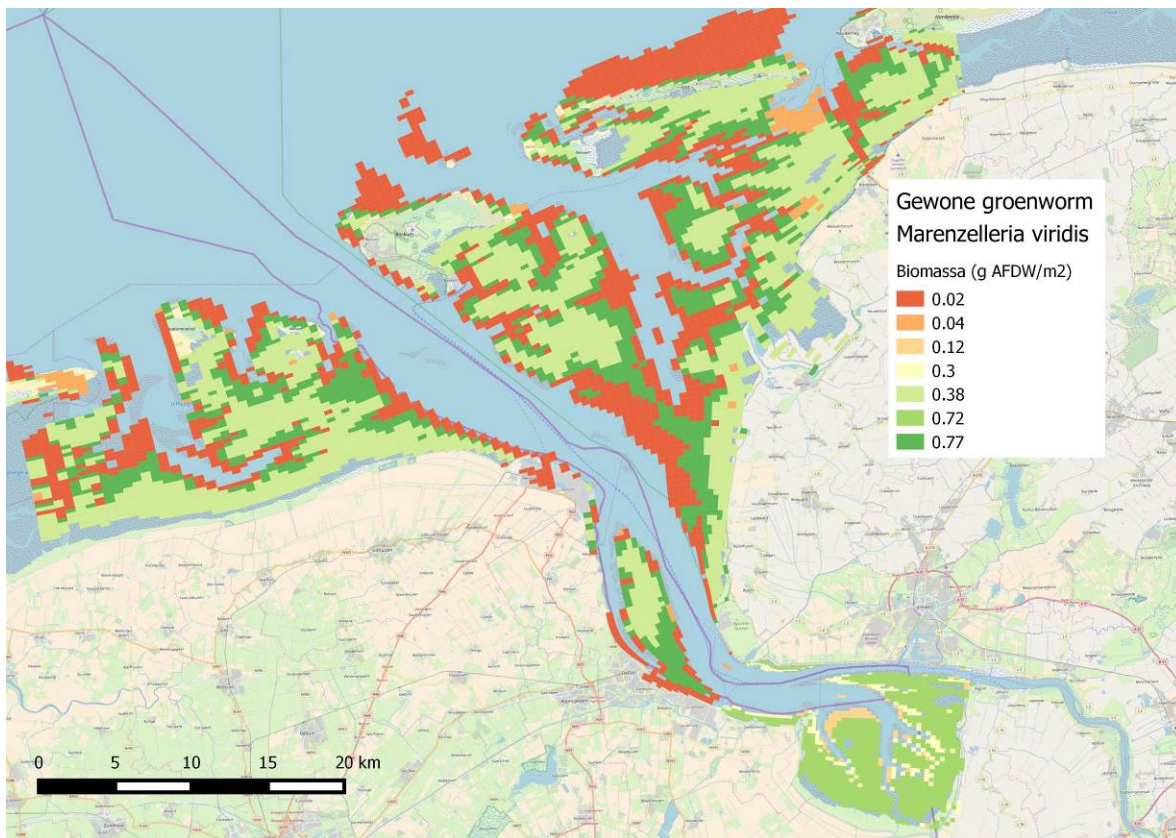


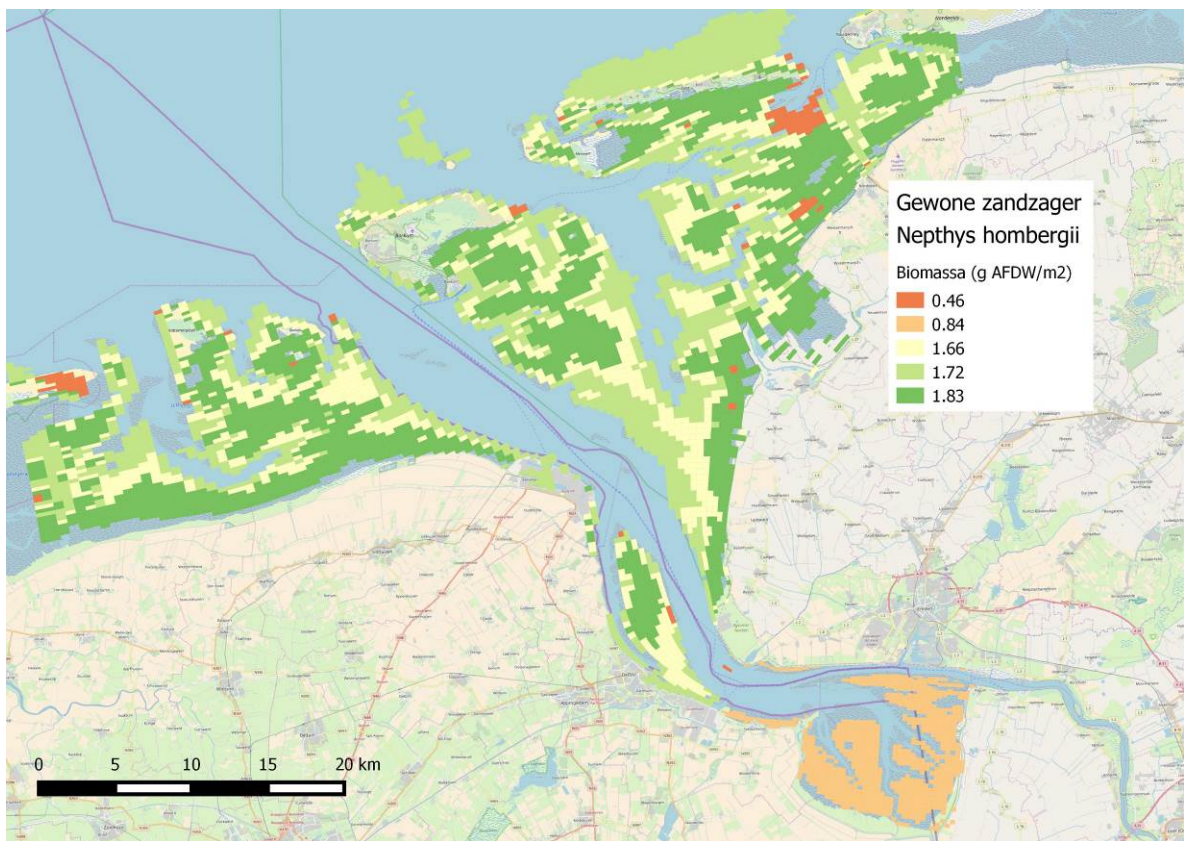
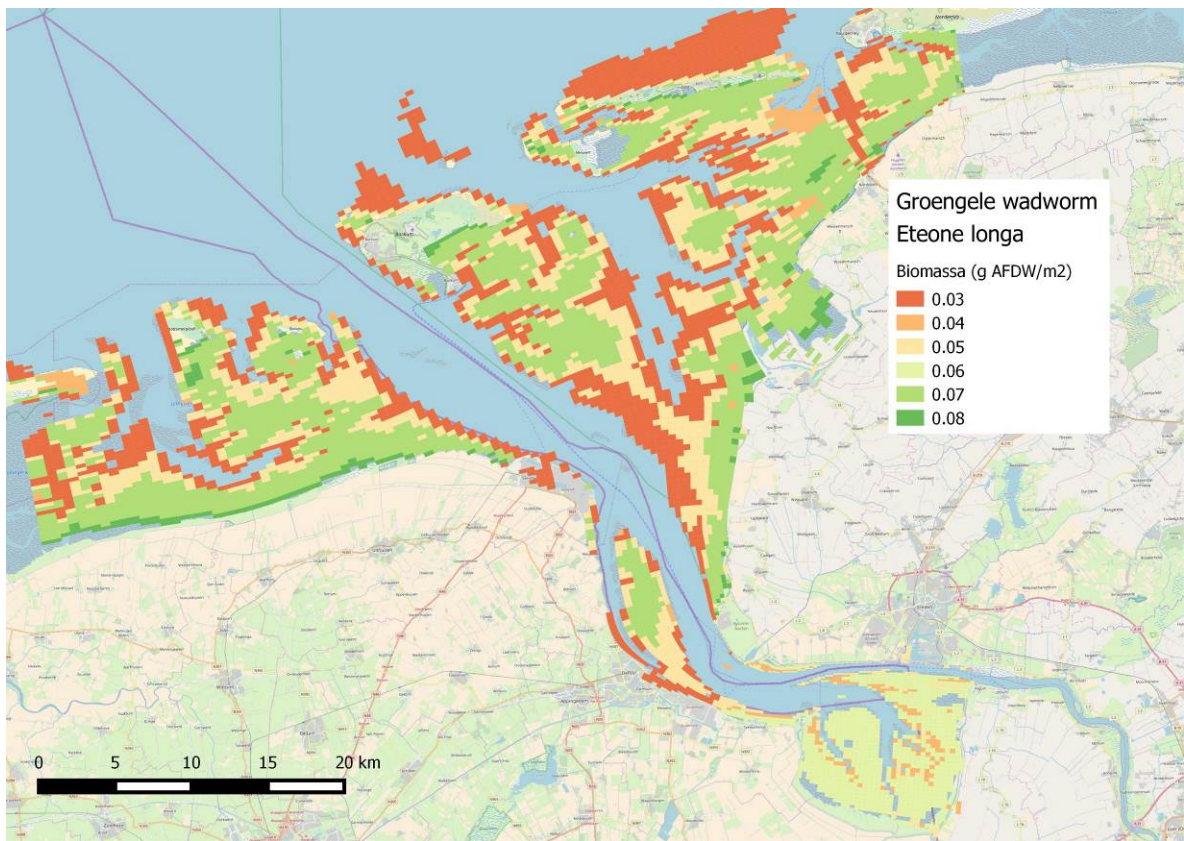


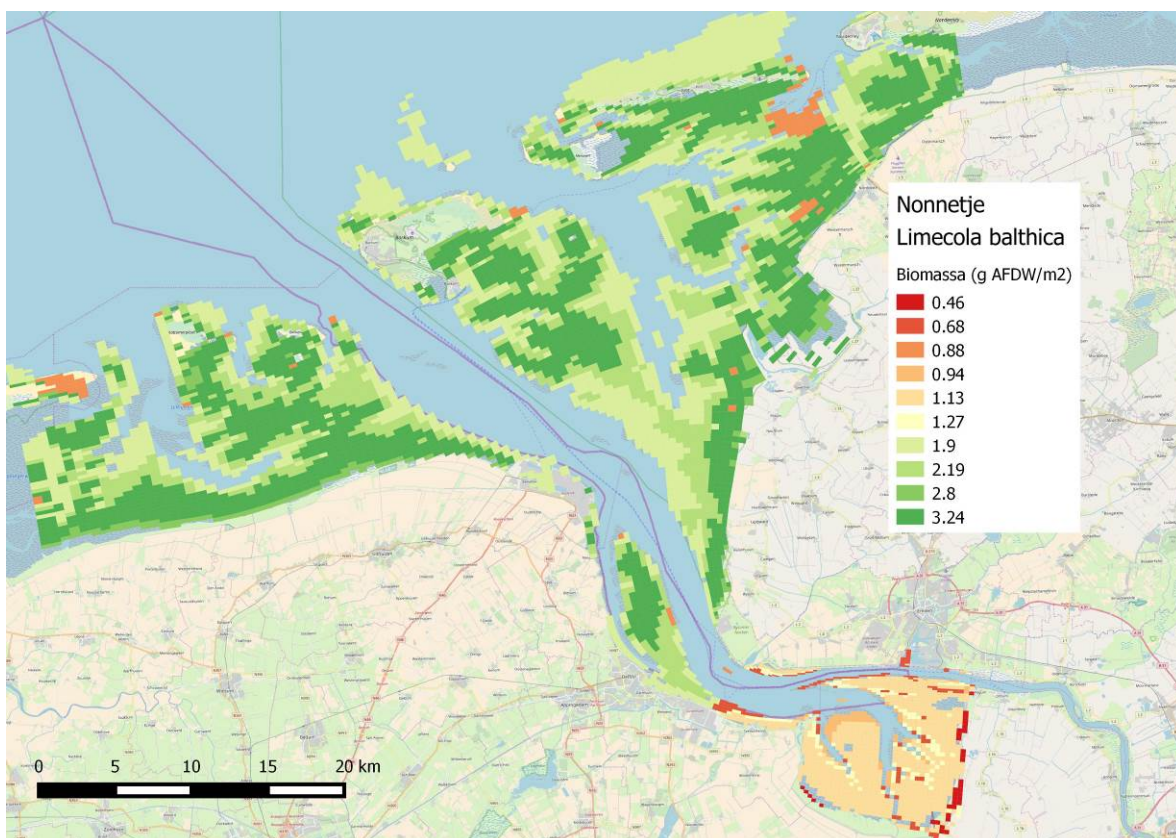
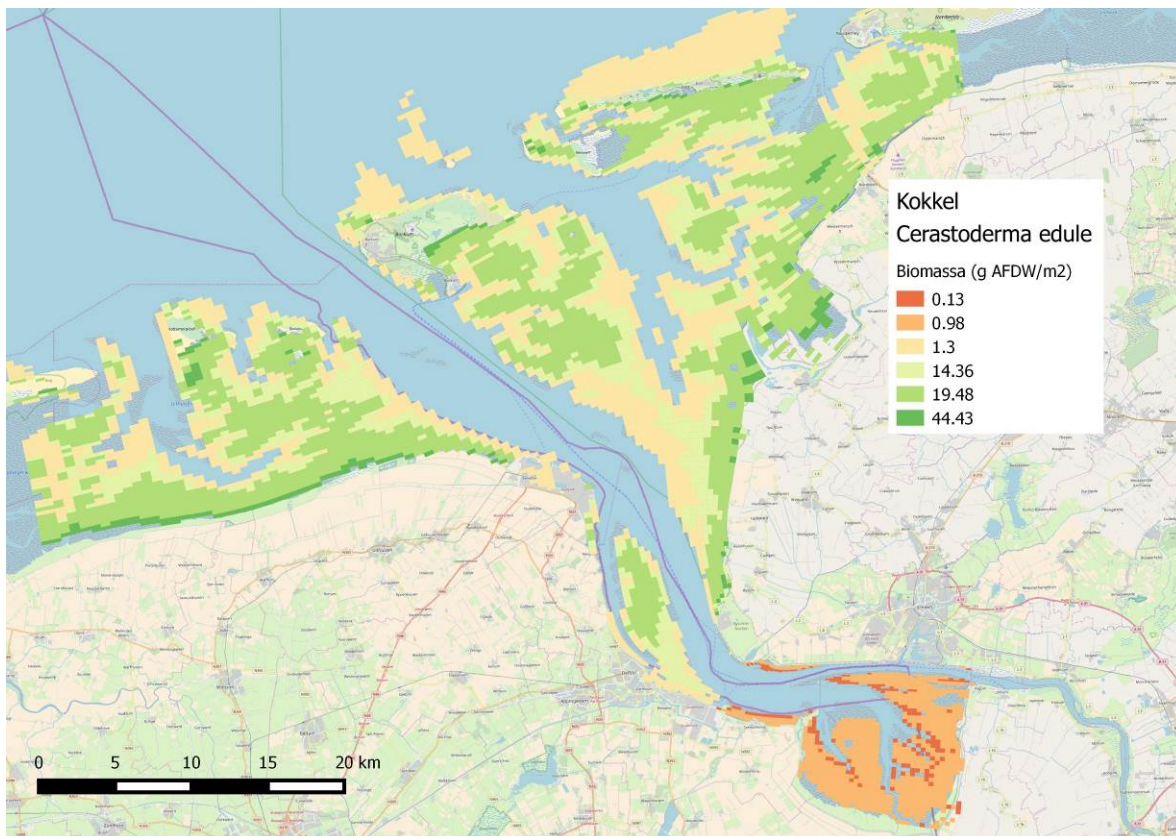
Bijlage 2 Biomassa bodemdieren per vereenvoudigd ecotooptype in 2014

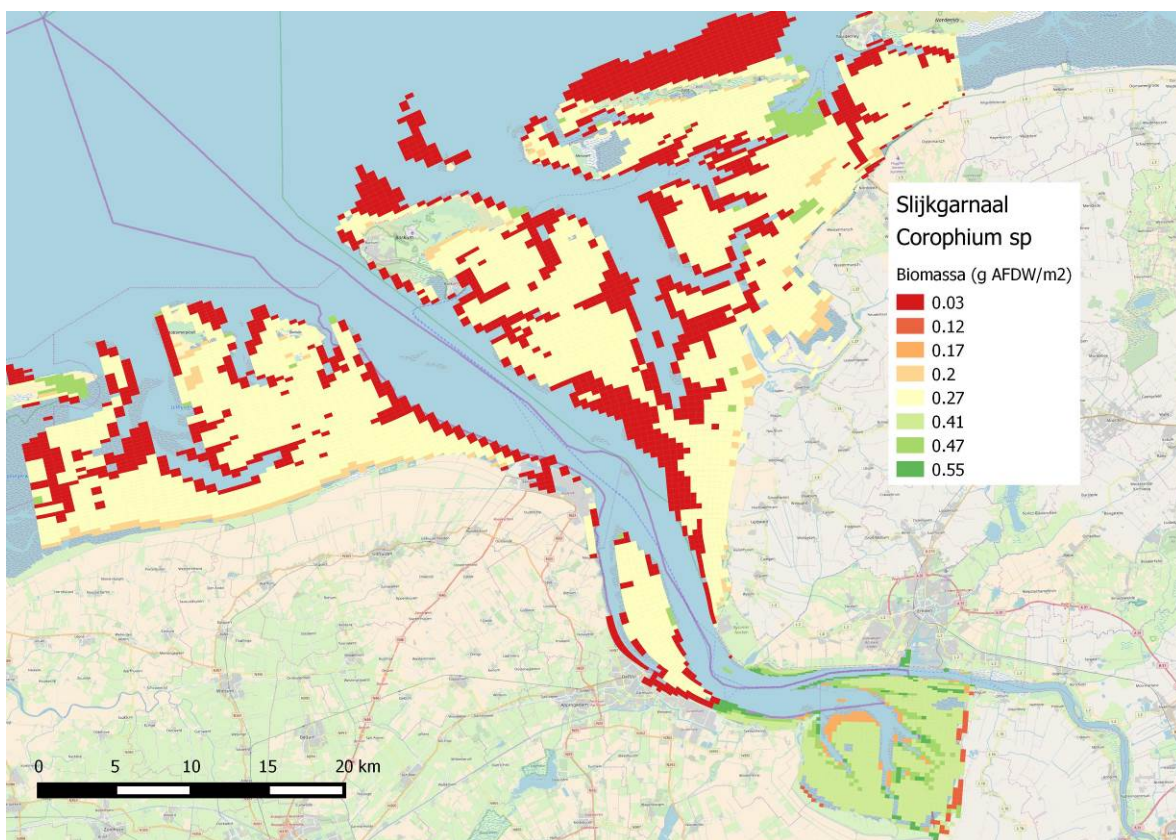
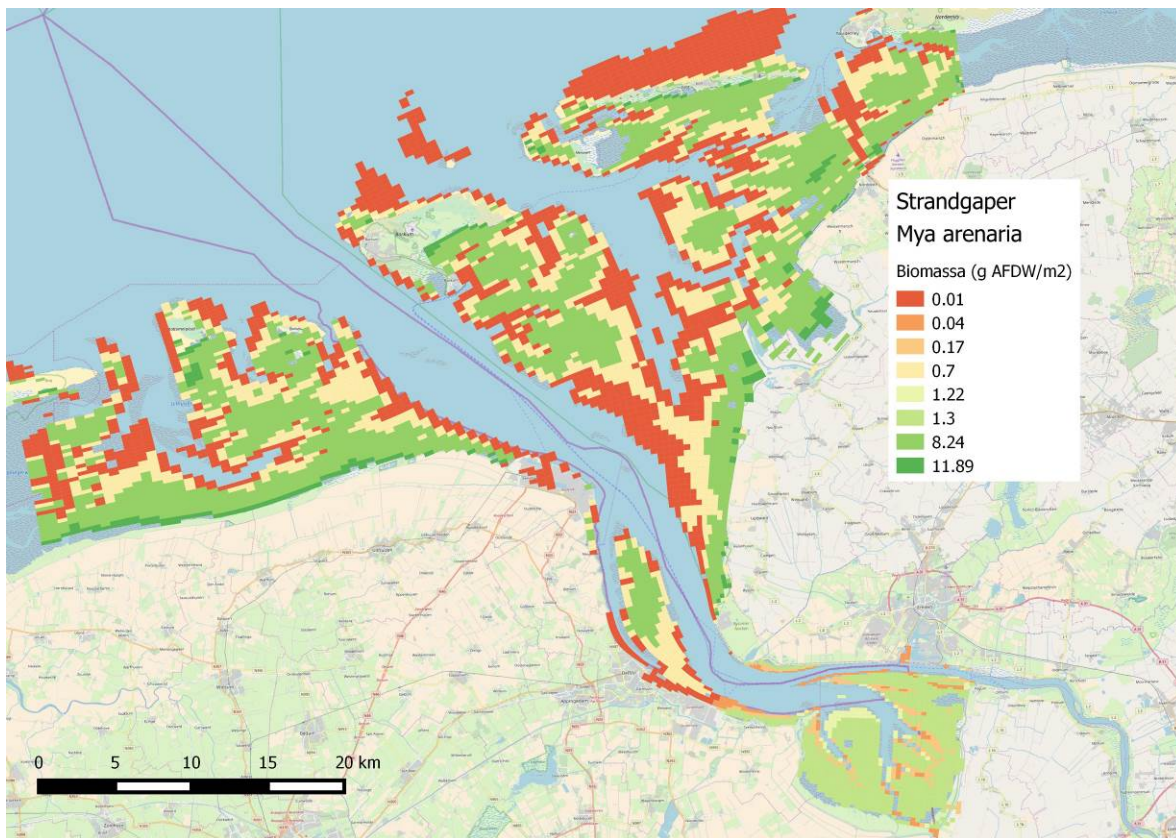




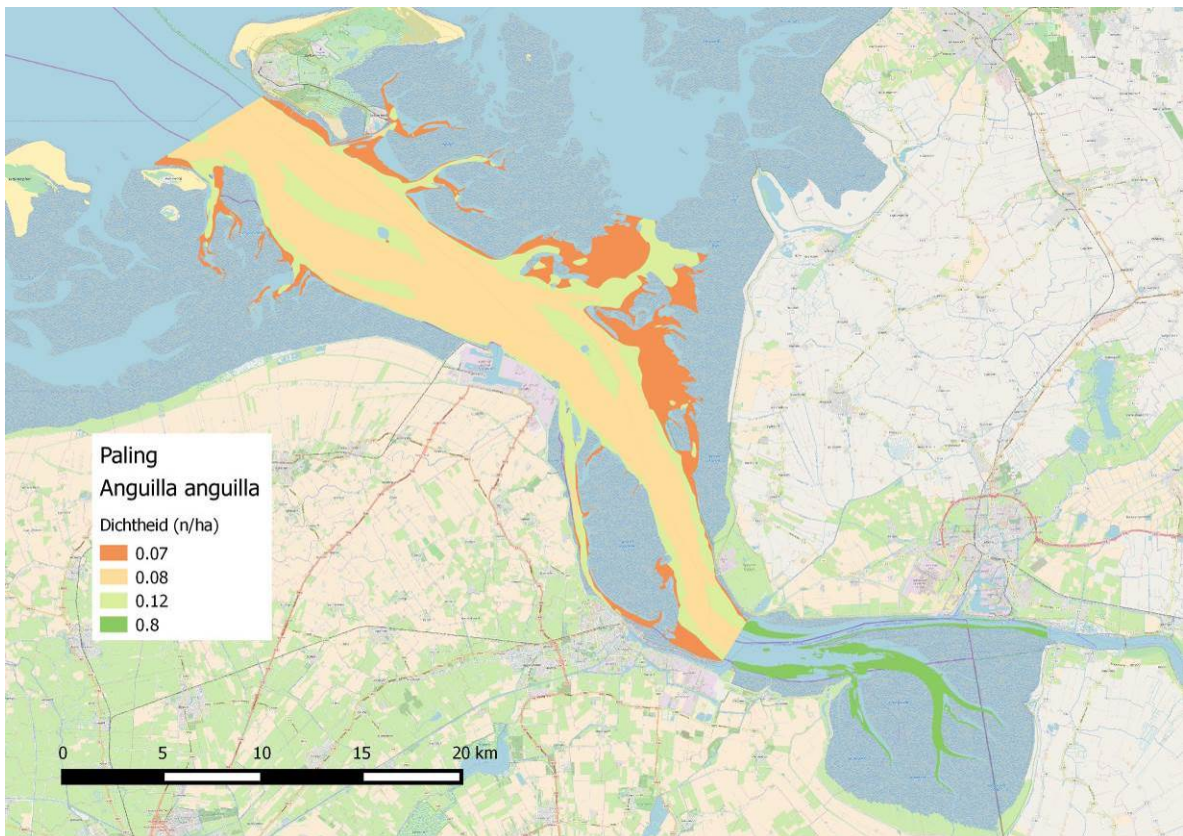
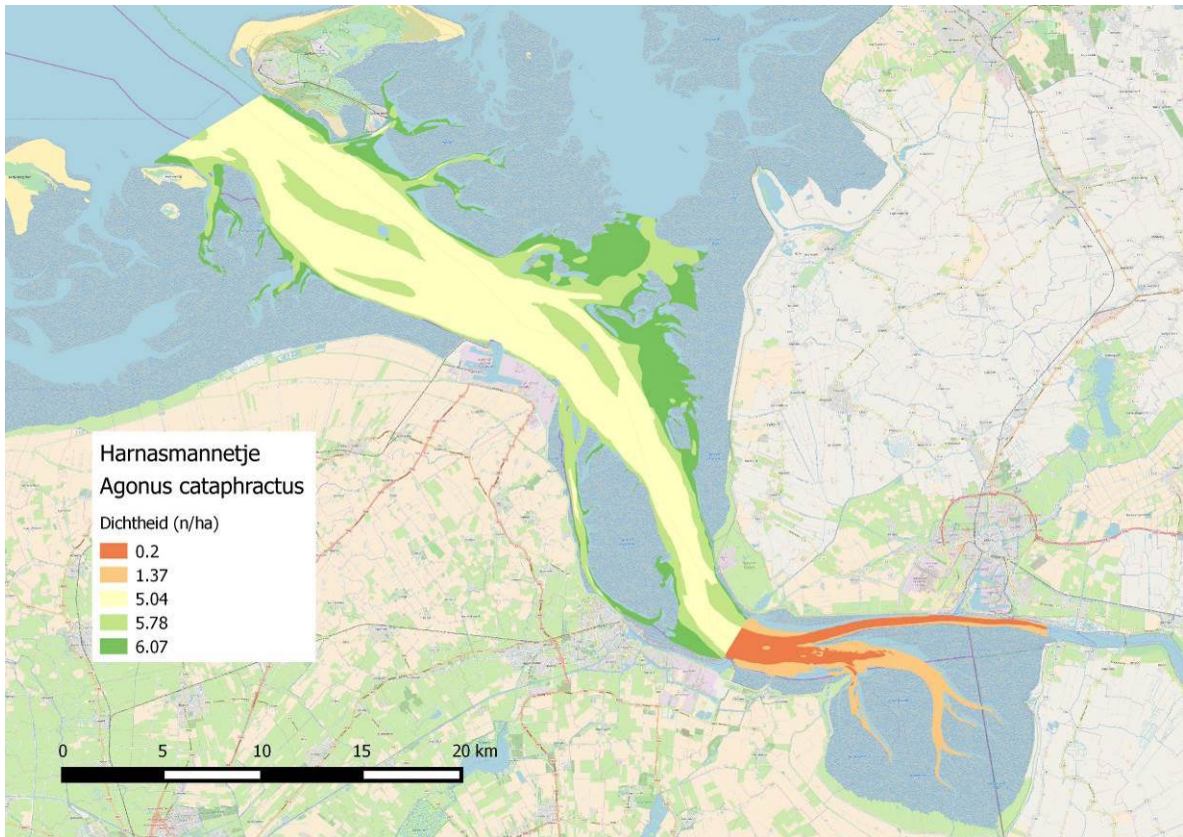


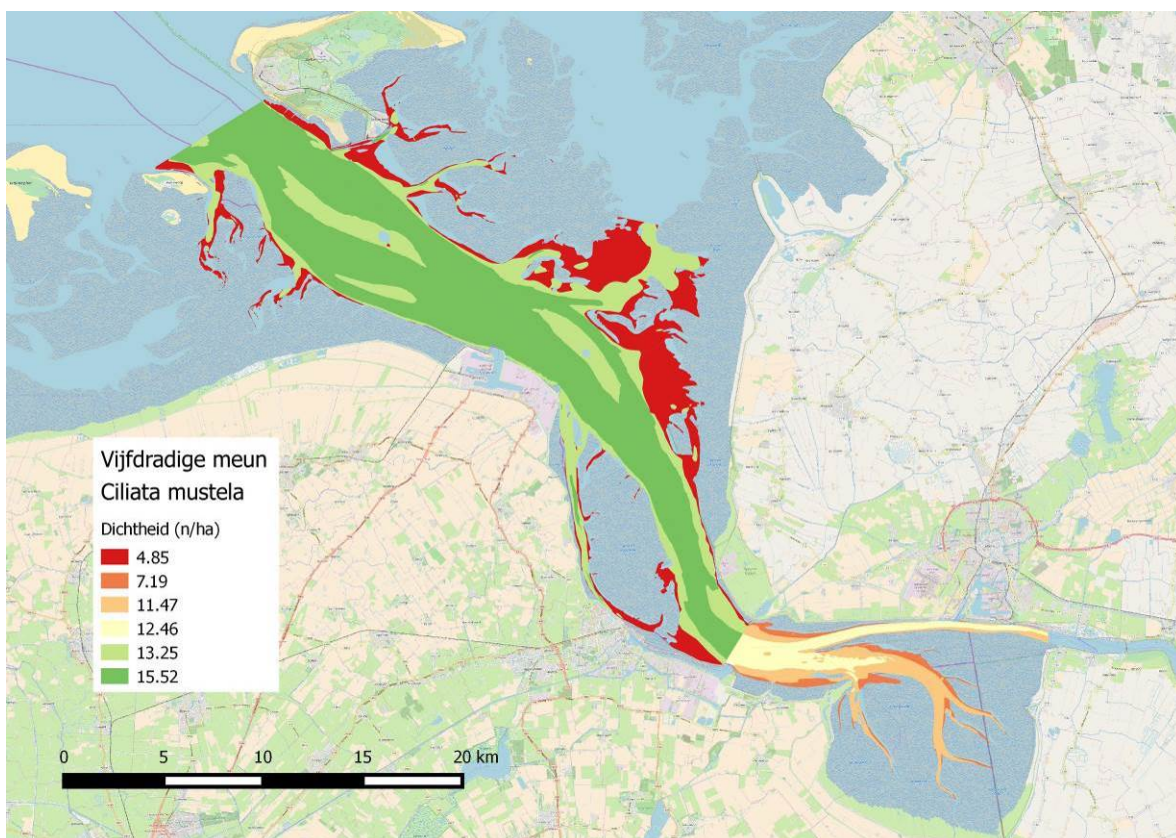
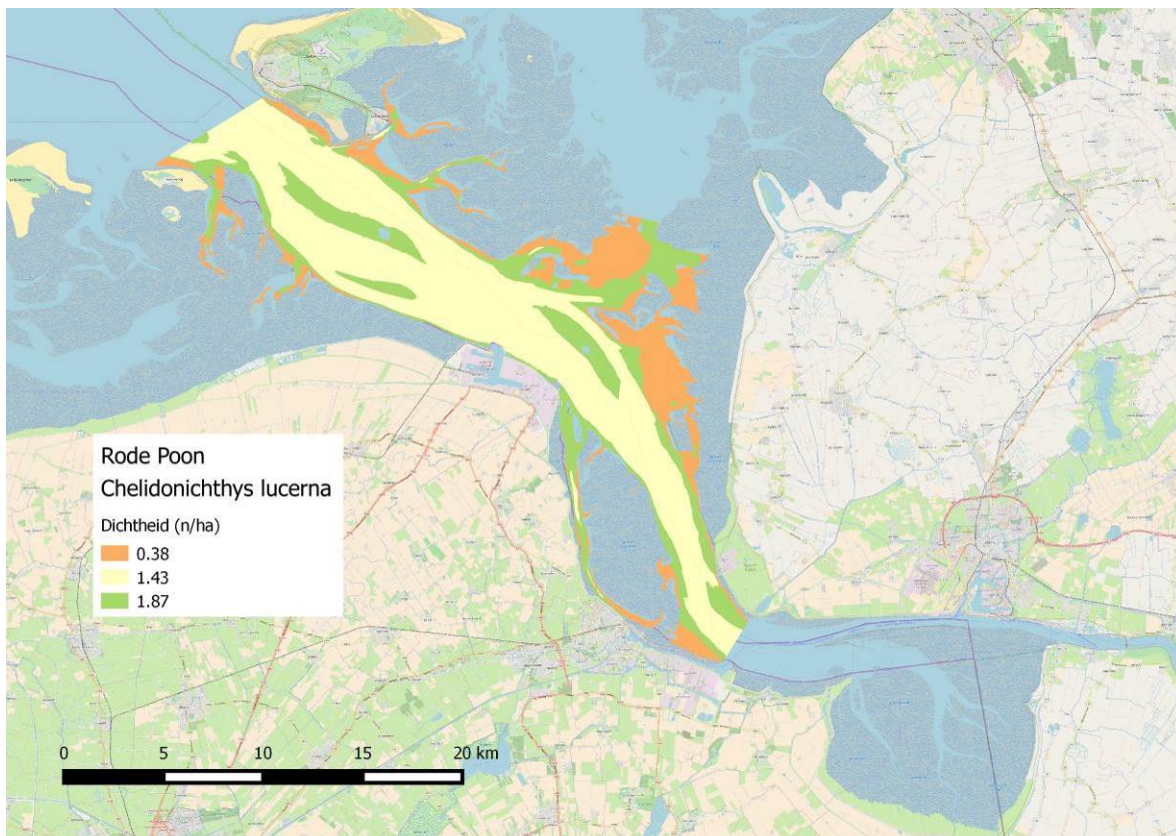


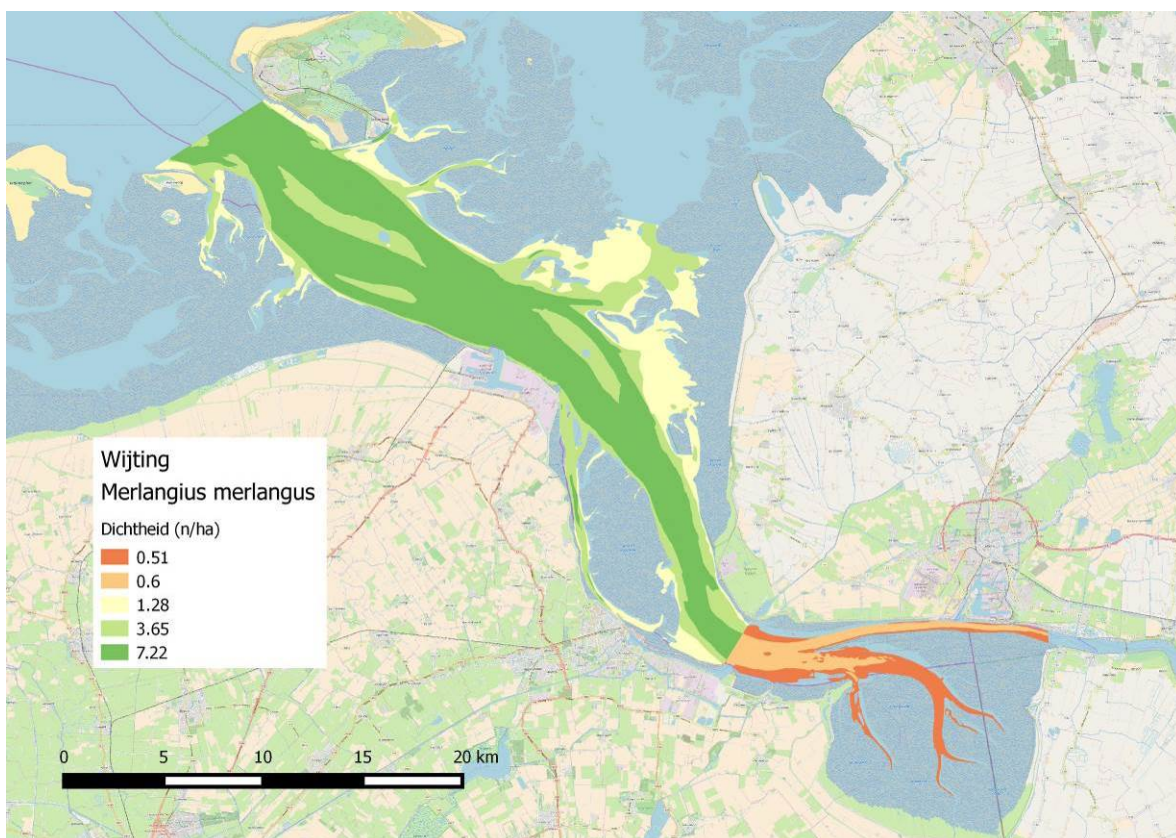
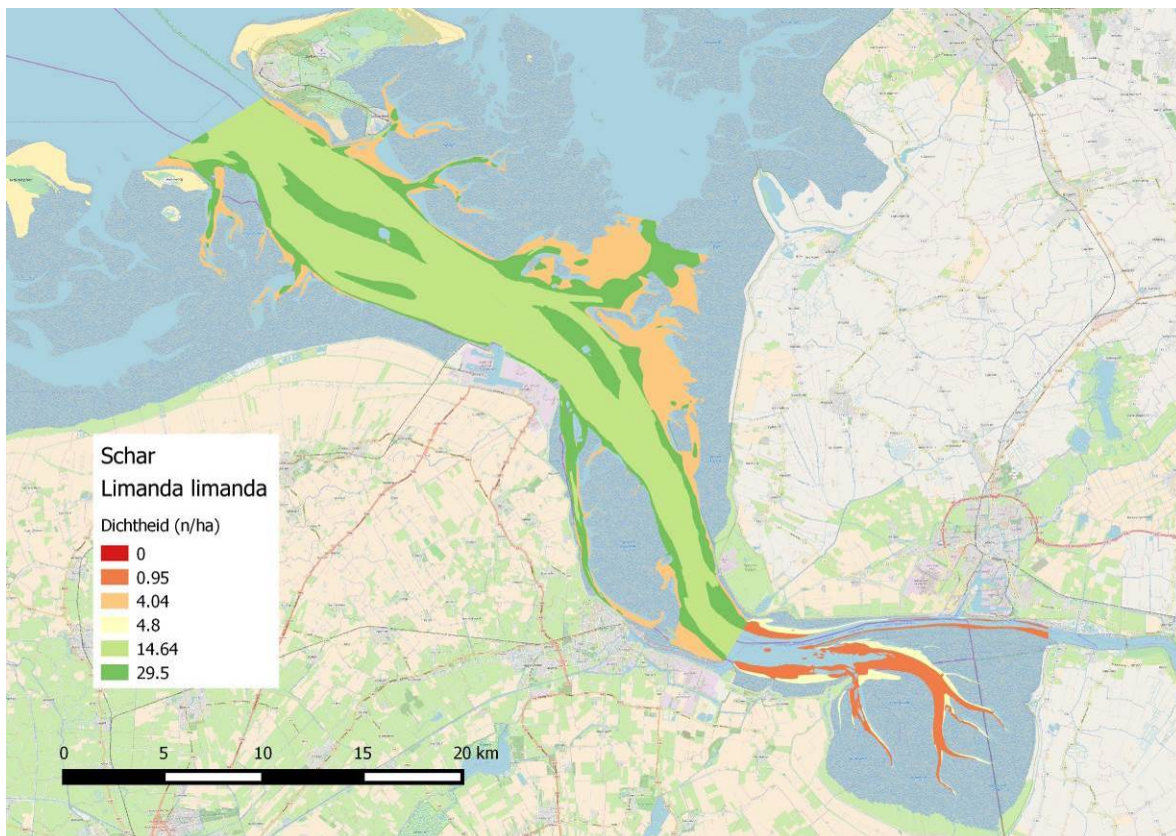


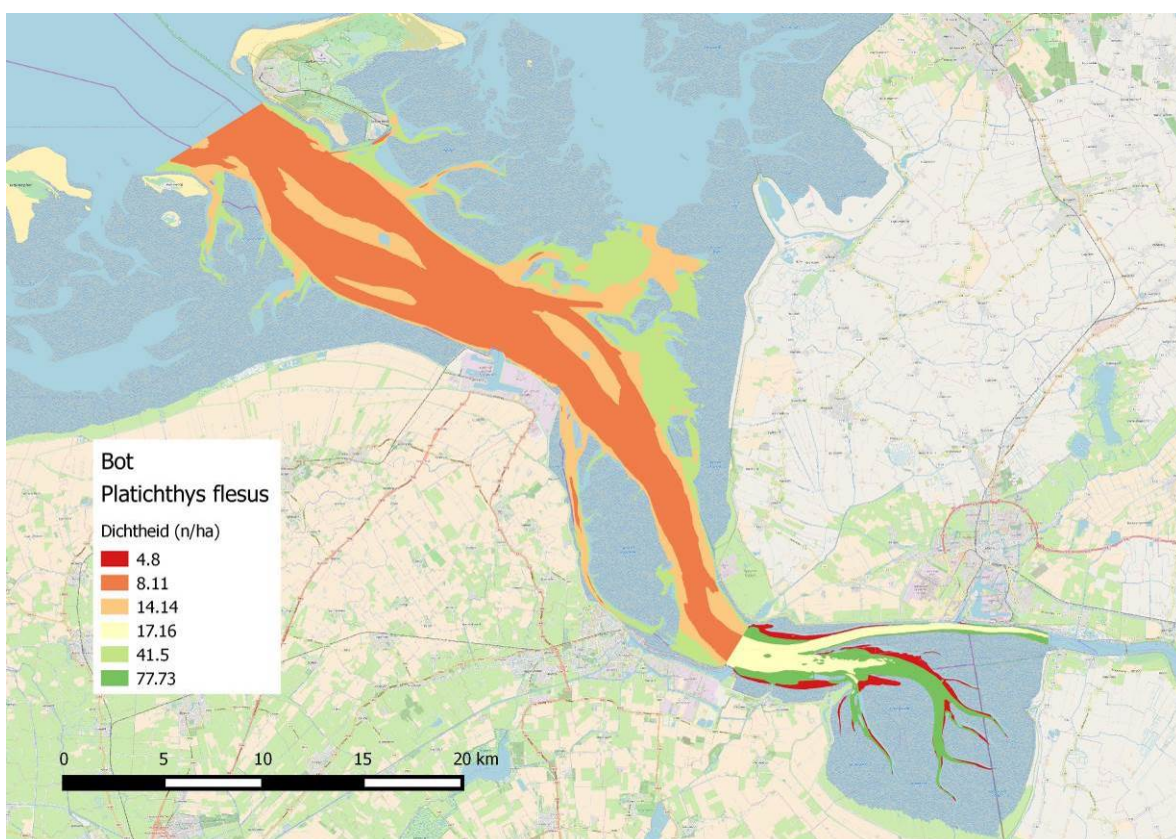
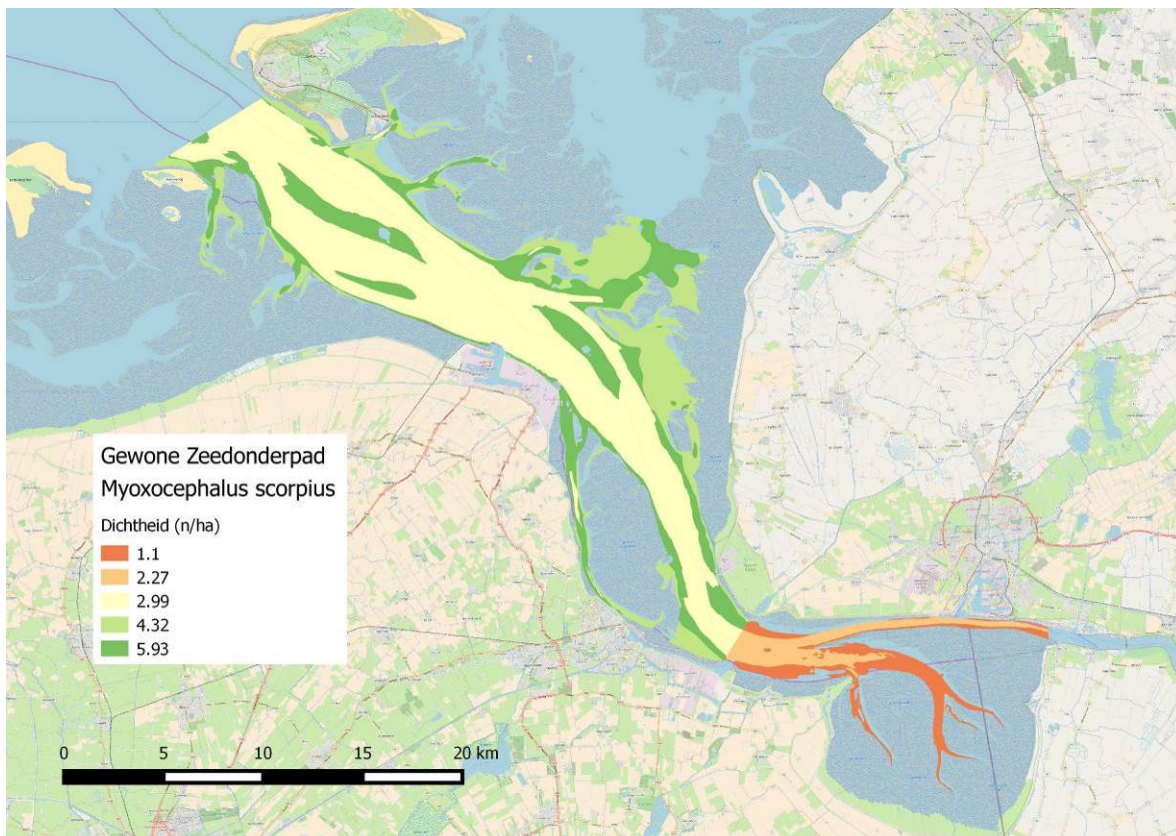


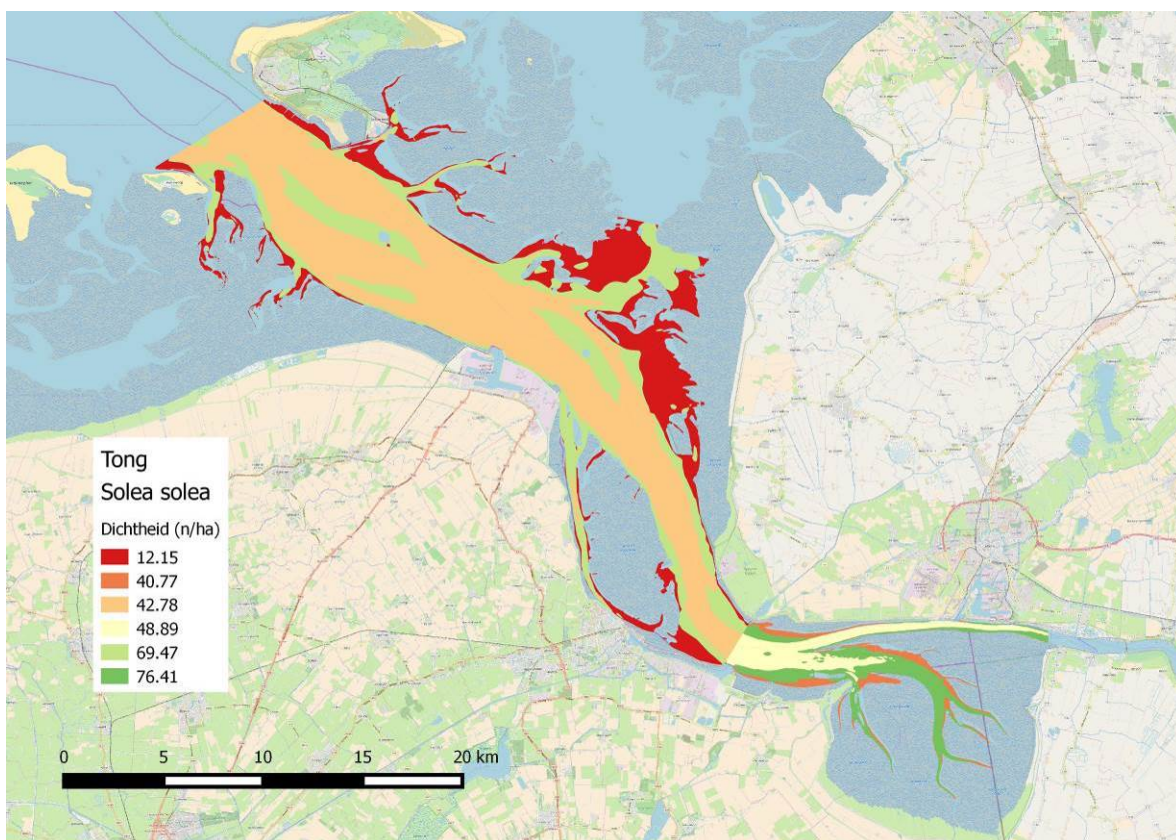
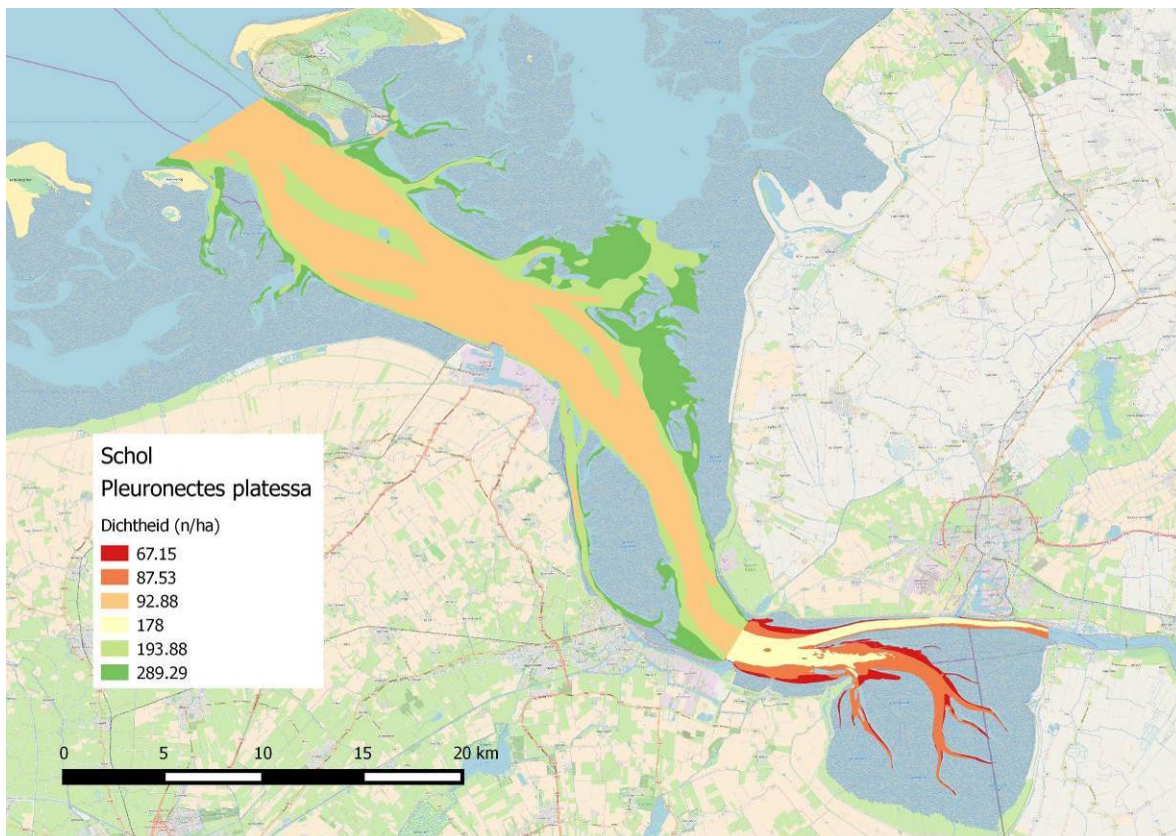
Bijlage 3 Dichtheid vissen per ZES.1 ecotooptype

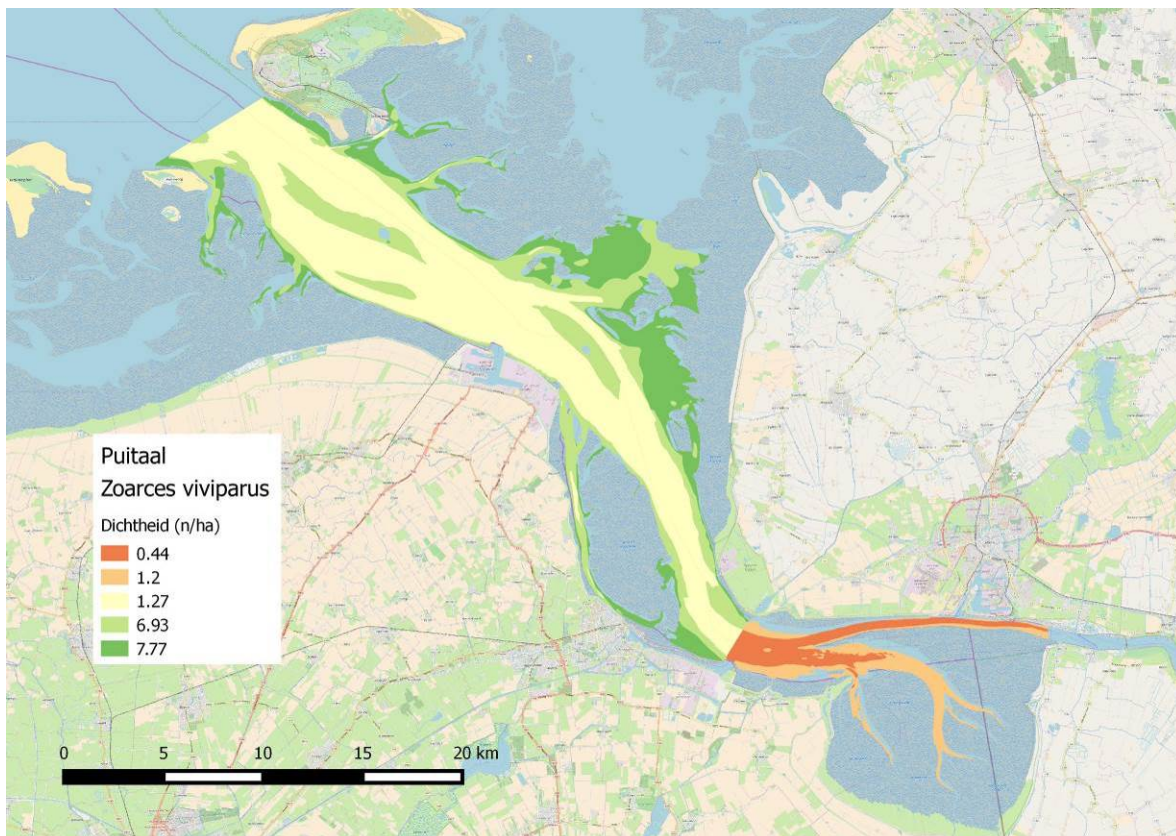




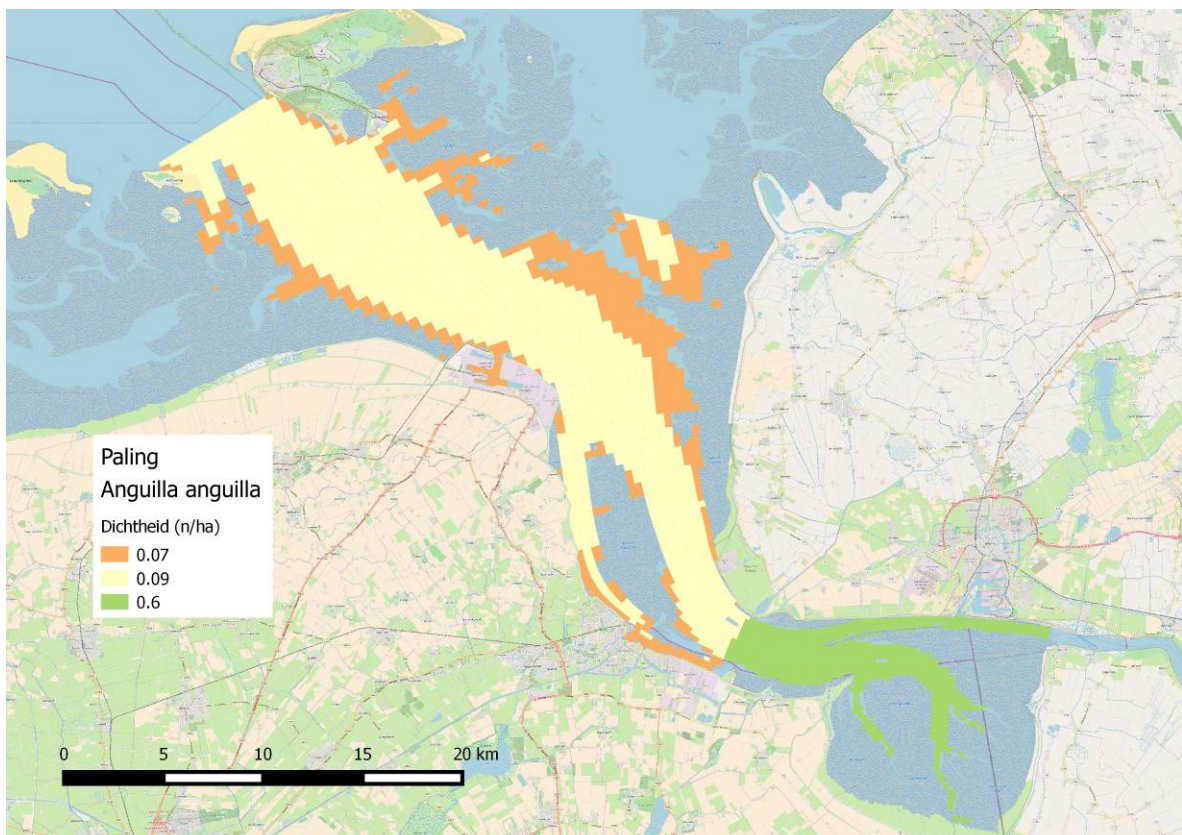


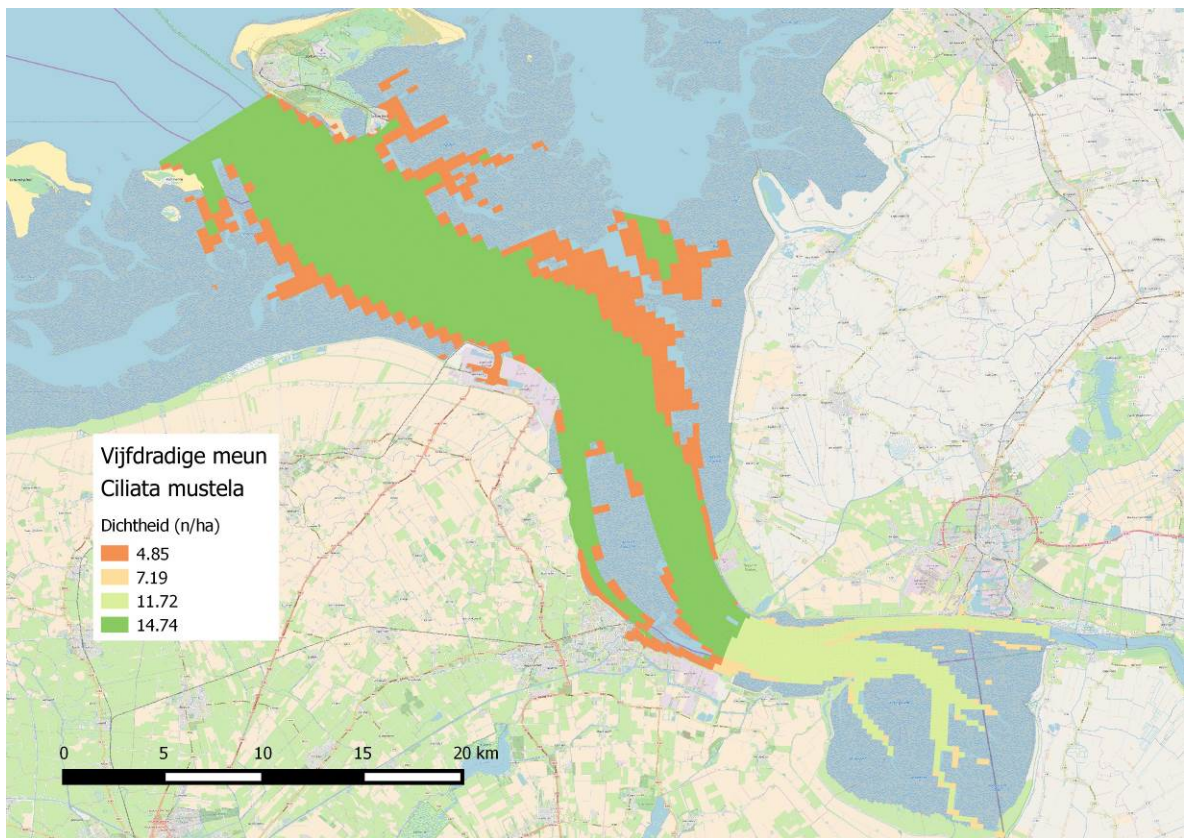
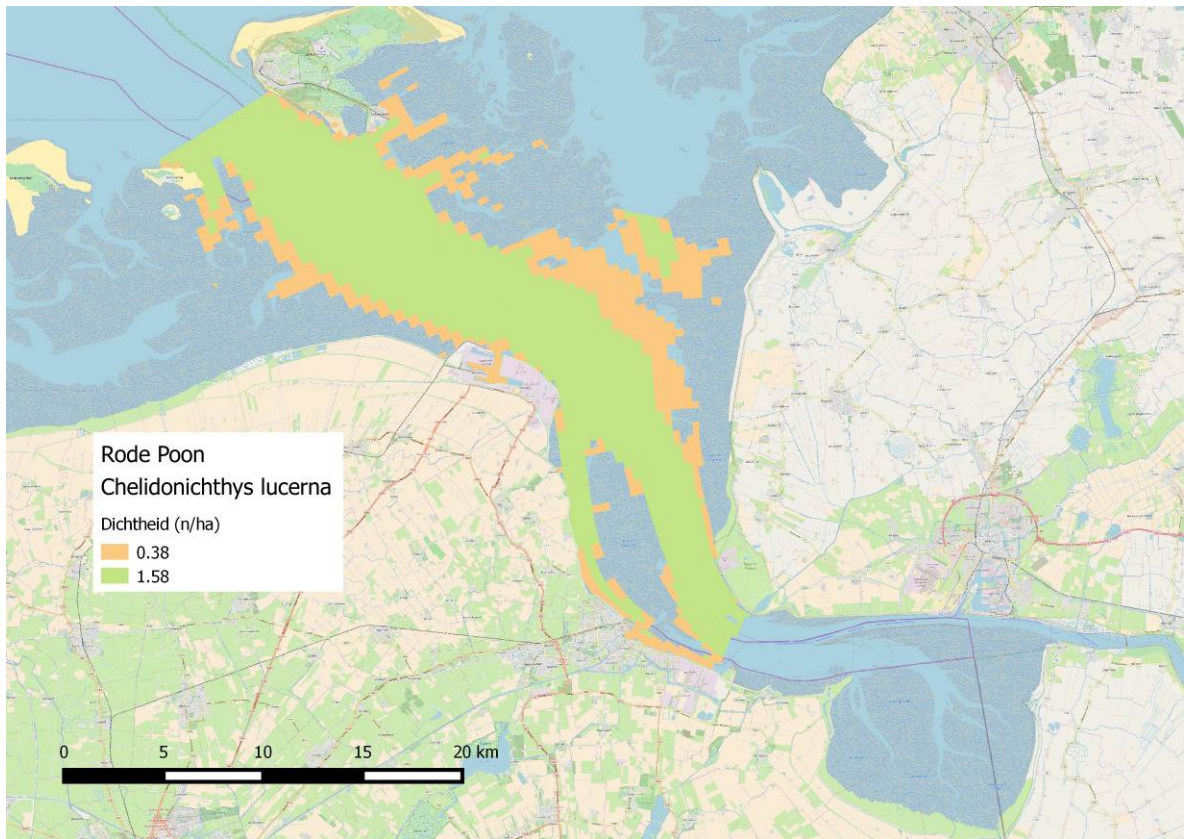


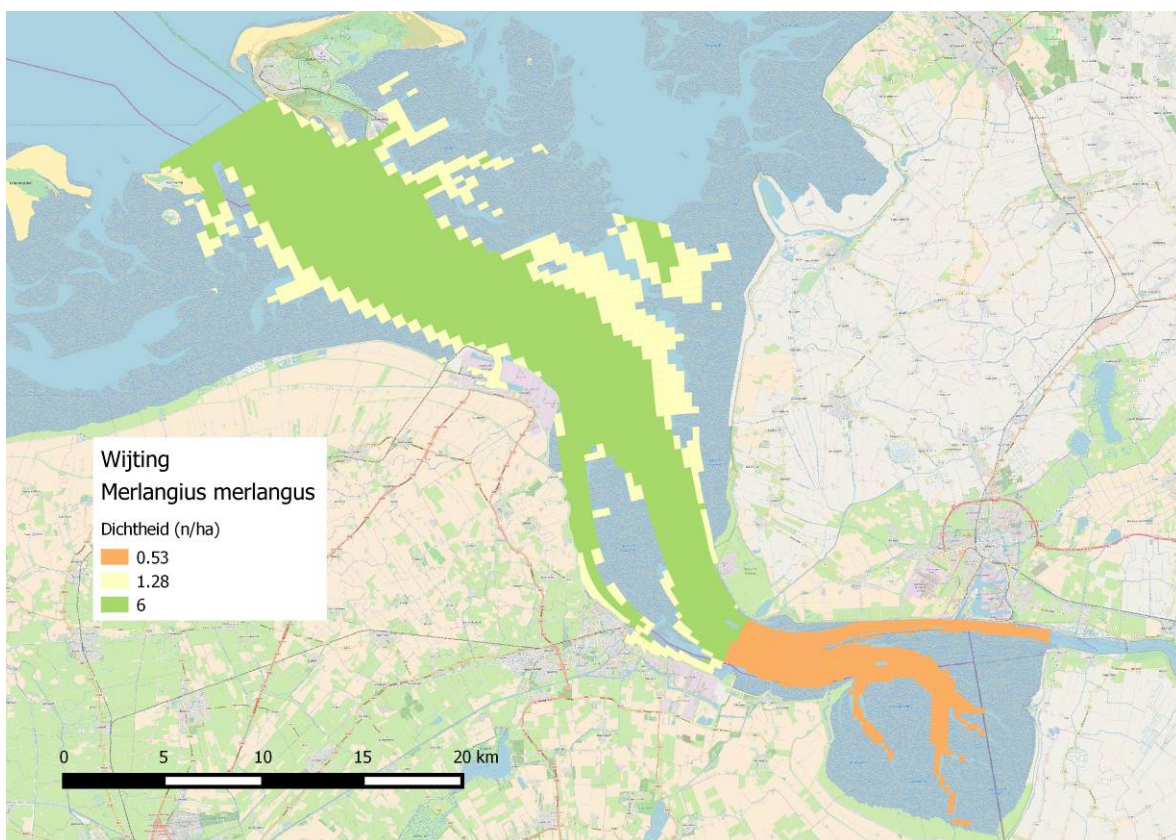


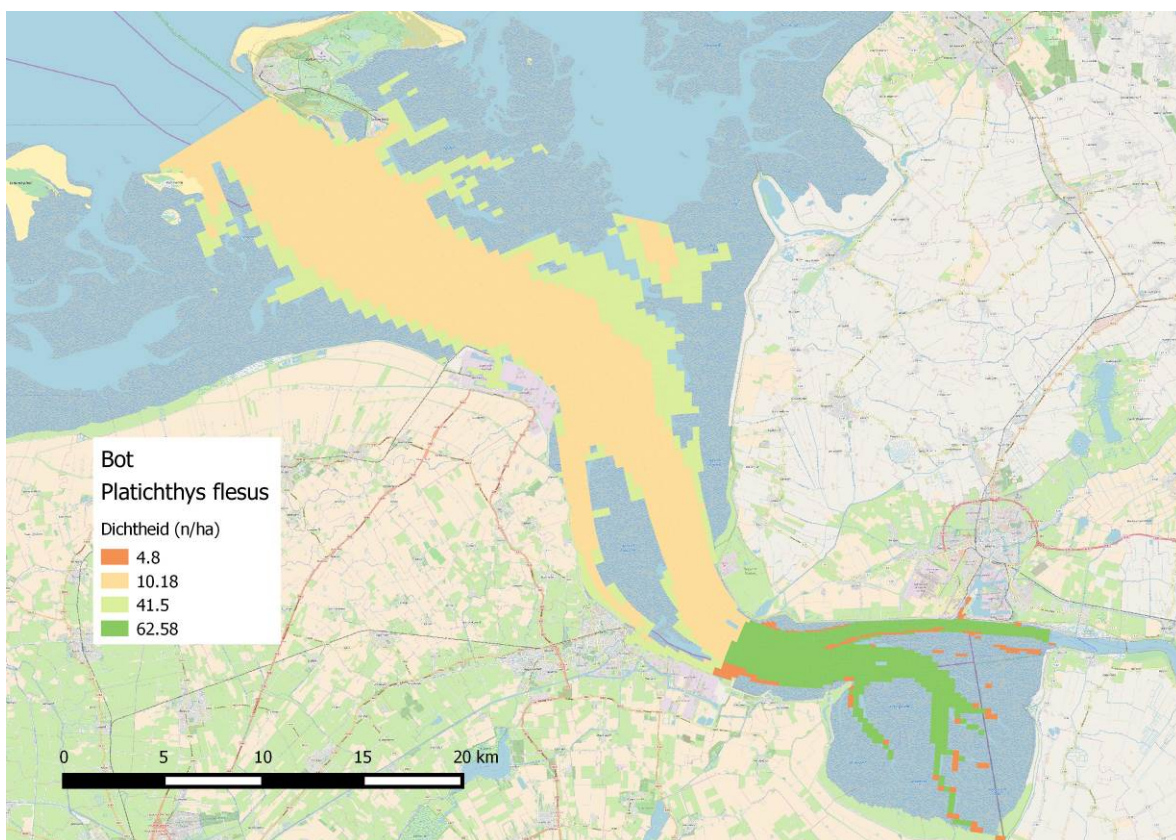


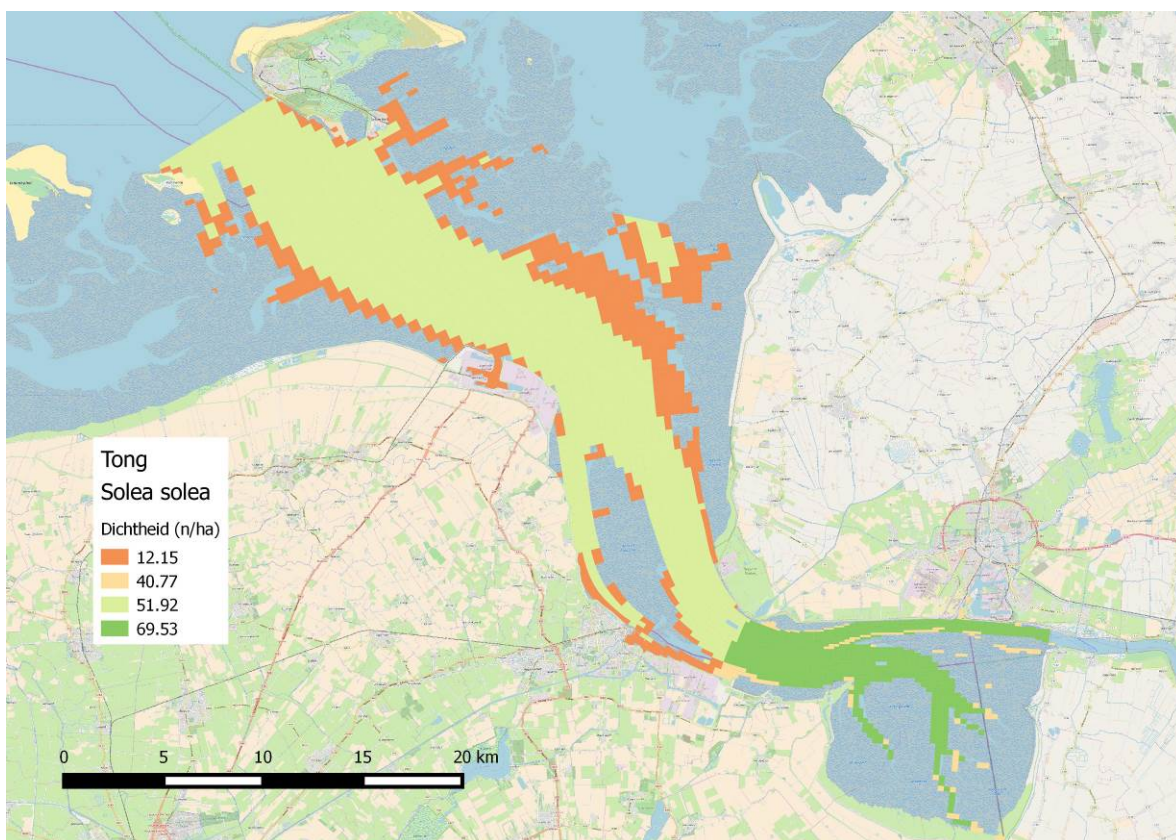
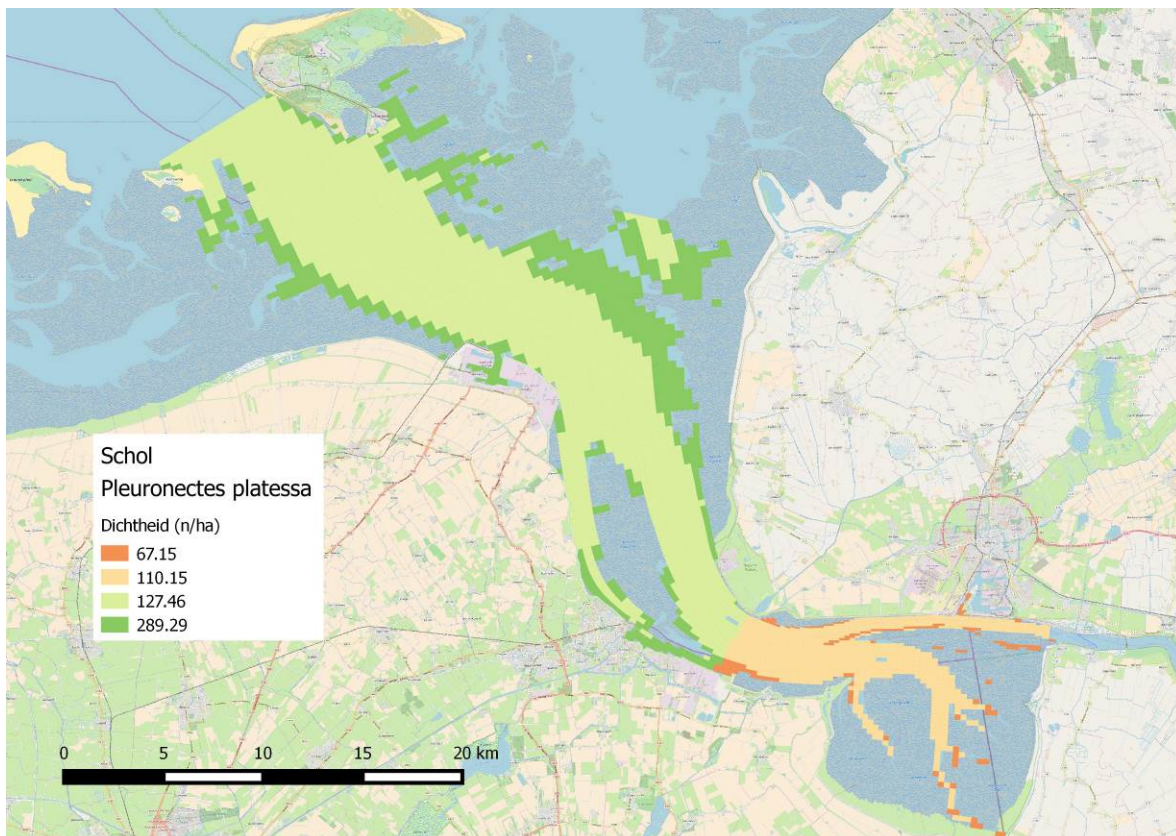
Bijlage 4 Dichtheid vissen per vereenvoudigd ecotooptype













Bijlage 5 Totale biomassa macrozoobenthos per maatregelrichting

Tabel 25. Totale biomassa in g AFDW van 13 macrozoobenthossoorten in ieder ecotooptype voor de huidige situatie (2014), autonome ontwikkeling (2050_M0) en zes maatregelrichtingen (2050_M1 t/m 2050_M6).

2014													
Ecotoop	Alisuc	Heddiv	Arema	Hetfil	Marvir	Scoarm	Etelon	Nephom	Ceredu	Macbal	Myaare	Corosp	Hydulv
Laag dynamisch sublitoraal brak		6.11E+06		7.15E+05			3.25E+05			4.42E+06	2.60E+05	3.57E+06	
Hoog dynamisch litoraal brak	2.84E+06	4.06E+05	4.42E+06	1.12E+06	6.09E+05		3.05E+05			4.77E+06	6.19E+06	8.63E+05	4.06E+05
Laag dynamisch laaglitoraal brak	5.68E+06	6.76E+06	5.39E+06	2.64E+06	2.94E+06	1.08E+06	3.92E+05		1.27E+06	1.24E+07	1.66E+06	4.60E+06	6.85E+05
Laag dynamisch middenlitoraal brak	4.02E+07	3.91E+07	1.61E+08	1.28E+07	4.20E+07	2.16E+07	3.50E+06	4.90E+07	5.71E+07	6.59E+07	7.58E+07	2.39E+07	1.92E+07
Supralitoraal brak		2.48E+07								1.48E+06		3.85E+05	
Laag dynamisch sublitoraal zout			4.58E+08	4.14E+07	5.17E+06	1.45E+08	7.76E+06	4.45E+08	3.36E+08	4.91E+08	2.59E+06	7.76E+06	3.10E+07
Hoog dynamisch litoraal zout	3.14E+07		5.98E+07	2.43E+06	6.07E+05	7.13E+06	6.07E+05	6.98E+06		1.34E+07		7.13E+06	7.59E+05
Laag dynamisch laaglitoraal zout	5.13E+08	1.67E+08	1.48E+09	1.76E+08	1.43E+08	1.60E+08	9.28E+06	3.08E+08	2.67E+09	4.07E+08	1.30E+08	5.01E+07	3.29E+08
Laag dynamisch middenlitoraal zout	8.20E+08	8.75E+08	2.54E+09	1.25E+08	1.16E+08	3.35E+08	2.13E+07	5.58E+08	5.94E+09	9.87E+08	2.51E+09	8.23E+07	1.41E+09
Laag dynamisch hooglitoraal zout		7.81E+07	1.37E+08	4.59E+06		1.60E+07	1.93E+06		1.07E+09	6.77E+07	2.87E+08	4.83E+06	1.15E+08
Totale biomassa	1.41E+09	1.20E+09	4.84E+09	3.67E+08	3.10E+08	6.85E+08	4.54E+07	1.37E+09	1.01E+10	2.06E+09	3.01E+09	1.85E+08	1.90E+09

2050_MO

Ecotoop	Alisuc	Heddiv	Arema	Hetfil	Marvir	Scoarm	Etelon	Nephom	Ceredu	Macbal	Myaare	Corosp	Hydulv
Laag dynamisch sublitoraal brak		9.04E+06		1.06E+06			4.81E+05			6.54E+06	3.85E+05	5.29E+06	
Hoog dynamisch litoraal brak	2.80E+06	4.00E+05	4.35E+06	1.10E+06	6.00E+05		3.00E+05			4.70E+06	6.10E+06	8.50E+05	4.00E+05
Laag dynamisch laaglitoraal brak	6.07E+06	7.22E+06	5.75E+06	2.82E+06	3.14E+06	1.15E+06	4.18E+05		1.36E+06	1.33E+07	1.78E+06	4.92E+06	7.32E+05
Laag dynamisch middenlitoraal brak	3.79E+07	3.68E+07	1.52E+08	1.21E+07	3.95E+07	2.03E+07	3.30E+06	4.61E+07	5.38E+07	6.21E+07	7.14E+07	2.25E+07	1.81E+07
Supralitoraal brak		2.12E+07								1.26E+06		3.29E+05	
Laag dynamisch sublitoraal zout			5.39E+08	4.87E+07	6.09E+06	1.71E+08	9.14E+06	5.24E+08	3.96E+08	5.79E+08	3.05E+06	9.14E+06	3.66E+07
Hoog dynamisch litoraal zout	4.40E+07		8.37E+07	3.40E+06	8.50E+05	9.99E+06	8.50E+05	9.77E+06		1.87E+07		9.99E+06	1.06E+06
Laag dynamisch laaglitoraal zout	4.41E+08	1.44E+08	1.27E+09	1.52E+08	1.23E+08	1.37E+08	7.99E+06	2.65E+08	2.30E+09	3.50E+08	1.12E+08	4.32E+07	2.83E+08
Laag dynamisch middenlitoraal zout	6.98E+08	7.45E+08	2.16E+09	1.06E+08	9.86E+07	2.85E+08	1.82E+07	4.75E+08	5.05E+09	8.41E+08	2.14E+09	7.01E+07	1.20E+09
Laag dynamisch hooglitoraal zout		7.18E+07	1.26E+08	4.22E+06		1.47E+07	1.78E+06		9.87E+08	6.22E+07	2.64E+08	4.44E+06	1.05E+08
Totale biomassa	1.23E+09	1.04E+09	4.35E+09	3.32E+08	2.72E+08	6.40E+08	4.24E+07	1.32E+09	8.79E+09	1.94E+09	2.60E+09	1.71E+08	1.64E+09

2050_M1

Ecotoop	Alisuc	Heddiv	Arema	Hetfil	Marvir	Scoarm	Etelon	Nephom	Ceredu	Macbal	Myaare	Corosp	Hydulv
Laag dynamisch sublitoraal brak		9.01E+06		1.05E+06			4.79E+05			6.52E+06	3.84E+05	5.27E+06	
Hoog dynamisch litoraal brak	2.64E+06	3.78E+05	4.11E+06	1.04E+06	5.67E+05		2.83E+05			4.44E+06	5.76E+06	8.03E+05	3.78E+05
Laag dynamisch laaglitoraal brak	6.06E+06	7.21E+06	5.75E+06	2.82E+06	3.14E+06	1.15E+06	4.18E+05		1.36E+06	1.33E+07	1.78E+06	4.91E+06	7.32E+05
Laag dynamisch middenlitoraal brak	3.80E+07	3.69E+07	1.52E+08	1.21E+07	3.97E+07	2.04E+07	3.30E+06	4.63E+07	5.40E+07	6.22E+07	7.16E+07	2.26E+07	1.82E+07
Supralitoraal brak		2.12E+07								1.26E+06		3.29E+05	
Laag dynamisch sublitoraal zout			5.39E+08	4.87E+07	6.09E+06	1.71E+08	9.14E+06	5.24E+08	3.96E+08	5.79E+08	3.05E+06	9.14E+06	3.65E+07
Hoog dynamisch litoraal zout	4.43E+07		8.44E+07	3.43E+06	8.56E+05	1.01E+07	8.56E+05	9.85E+06		1.88E+07		1.01E+07	1.07E+06
Laag dynamisch laaglitoraal zout	4.41E+08	1.44E+08	1.27E+09	1.52E+08	1.23E+08	1.37E+08	7.98E+06	2.65E+08	2.29E+09	3.50E+08	1.12E+08	4.31E+07	2.83E+08
Laag dynamisch middenlitoraal zout	6.97E+08	7.44E+08	2.16E+09	1.06E+08	9.85E+07	2.85E+08	1.81E+07	4.74E+08	5.05E+09	8.40E+08	2.14E+09	7.00E+07	1.20E+09
Laag dynamisch hooglitoraal zout		7.18E+07	1.26E+08	4.22E+06		1.47E+07	1.78E+06		9.87E+08	6.22E+07	2.64E+08	4.44E+06	1.05E+08
Totale biomassa	1.23E+09	1.03E+09	4.34E+09	3.31E+08	2.72E+08	6.39E+08	4.24E+07	1.32E+09	8.78E+09	1.94E+09	2.59E+09	1.71E+08	1.64E+09

2050_M2

Ecotoop	Alisuc	Heddiv	Arema	Hetfil	Marvir	Scoarm	Etelon	Nephom	Ceredu	Macbal	Myaare	Corosp	Hydulv
Laag dynamisch sublitoraal brak		7.80E+06		9.13E+05			4.15E+05			5.64E+06	3.32E+05	4.56E+06	
Hoog dynamisch litoraal brak	2.92E+06	4.17E+05	4.54E+06	1.15E+06	6.26E+05		3.13E+05			4.90E+06	6.36E+06	8.86E+05	4.17E+05
Laag dynamisch laaglitoraal brak	6.24E+06	7.42E+06	5.92E+06	2.91E+06	3.23E+06	1.18E+06	4.30E+05		1.40E+06	1.37E+07	1.83E+06	5.06E+06	7.53E+05
Laag dynamisch middenlitoraal brak	3.82E+07	3.71E+07	1.53E+08	1.22E+07	3.98E+07	2.05E+07	3.32E+06	4.65E+07	5.42E+07	6.25E+07	7.19E+07	2.27E+07	1.83E+07
Supralitoraal brak		2.10E+07								1.25E+06		3.25E+05	
Laag dynamisch sublitoraal zout			5.40E+08	4.88E+07	6.10E+06	1.71E+08	9.15E+06	5.25E+08	3.96E+08	5.79E+08	3.05E+06	9.15E+06	3.66E+07
Hoog dynamisch litoraal zout	4.62E+07		8.78E+07	3.57E+06	8.92E+05	1.05E+07	8.92E+05	1.03E+07		1.96E+07		1.05E+07	1.11E+06
Laag dynamisch laaglitoraal zout	4.44E+08	1.45E+08	1.28E+09	1.53E+08	1.24E+08	1.38E+08	8.05E+06	2.67E+08	2.31E+09	3.52E+08	1.13E+08	4.34E+07	2.85E+08
Laag dynamisch middenlitoraal zout	6.84E+08	7.29E+08	2.12E+09	1.04E+08	9.66E+07	2.80E+08	1.78E+07	4.65E+08	4.95E+09	8.24E+08	2.09E+09	6.86E+07	1.17E+09
Laag dynamisch hooglitoraal zout		8.36E+07	1.47E+08	4.92E+06		1.71E+07	2.07E+06		1.15E+09	7.25E+07	3.08E+08	5.18E+06	1.23E+08
Totale biomassa	1.22E+09	1.03E+09	4.34E+09	3.32E+08	2.71E+08	6.38E+08	4.24E+07	1.31E+09	8.86E+09	1.94E+09	2.60E+09	1.70E+08	1.64E+09

2050_M3

Ecotoop	Alisuc	Heddiv	Arema	Hetfil	Marvir	Scoarm	Etelon	Nephom	Ceredu	Macbal	Myaare	Corosp	Hydulv
Laag dynamisch sublitoraal brak		8.22E+06		9.61E+05			4.37E+05			5.94E+06	3.50E+05	4.81E+06	
Hoog dynamisch litoraal brak	2.51E+06	3.59E+05	3.91E+06	9.88E+05	5.39E+05		2.69E+05			4.22E+06	5.48E+06	7.63E+05	3.59E+05
Laag dynamisch laaglitoraal brak	6.55E+06	7.80E+06	6.22E+06	3.05E+06	3.39E+06	1.24E+06	4.52E+05		1.47E+06	1.44E+07	1.92E+06	5.31E+06	7.91E+05
Laag dynamisch middenlitoraal brak	3.84E+07	3.73E+07	1.54E+08	1.23E+07	4.01E+07	2.06E+07	3.34E+06	4.68E+07	5.46E+07	6.29E+07	7.24E+07	2.28E+07	1.84E+07
Supralitoraal brak		1.74E+07								1.03E+06		2.70E+05	
Laag dynamisch sublitoraal zout			5.18E+08	4.68E+07	5.85E+06	1.64E+08	8.77E+06	5.03E+08	3.80E+08	5.56E+08	2.92E+06	8.77E+06	3.51E+07
Hoog dynamisch litoraal zout	4.77E+07		9.09E+07	3.69E+06	9.23E+05	1.08E+07	9.23E+05	1.06E+07		2.03E+07		1.08E+07	1.15E+06
Laag dynamisch laaglitoraal zout	4.30E+08	1.40E+08	1.24E+09	1.48E+08	1.20E+08	1.34E+08	7.79E+06	2.59E+08	2.24E+09	3.41E+08	1.09E+08	4.21E+07	2.76E+08
Laag dynamisch middenlitoraal zout	7.35E+08	7.84E+08	2.28E+09	1.12E+08	1.04E+08	3.01E+08	1.91E+07	5.00E+08	5.32E+09	8.86E+08	2.25E+09	7.38E+07	1.26E+09
Laag dynamisch hooglitoraal zout		8.66E+07	1.52E+08	5.09E+06		1.77E+07	2.14E+06		1.19E+09	7.50E+07	3.19E+08	5.36E+06	1.27E+08
Totale biomassa	1.26E+09	1.08E+09	4.44E+09	3.33E+08	2.75E+08	6.49E+08	4.33E+07	1.32E+09	9.19E+09	1.97E+09	2.76E+09	1.75E+08	1.72E+09

2050_M4

Ecotoop	Alisuc	Heddiv	Arema	Hetfil	Marvir	Scoarm	Etelon	Nephom	Ceredu	Macbal	Myaare	Corosp	Hydulv
Laag dynamisch sublitoraal brak		8.43E+06		9.86E+05			4.48E+05			6.10E+06	3.59E+05	4.93E+06	
Hoog dynamisch litoraal brak	3.77E+06	5.38E+05	5.85E+06	1.48E+06	8.07E+05		4.04E+05			6.32E+06	8.21E+06	1.14E+06	5.38E+05
Laag dynamisch laaglitoraal brak	6.33E+06	7.53E+06	6.00E+06	2.95E+06	3.27E+06	1.20E+06	4.37E+05		1.42E+06	1.39E+07	1.86E+06	5.13E+06	7.64E+05
Laag dynamisch middenlitoraal brak	3.55E+07	3.44E+07	1.42E+08	1.13E+07	3.70E+07	1.90E+07	3.08E+06	4.32E+07	5.04E+07	5.81E+07	6.68E+07	2.11E+07	1.70E+07
Supralitoraal brak		2.32E+07								1.38E+06		3.60E+05	
Laag dynamisch sublitoraal zout			5.39E+08	4.87E+07	6.09E+06	1.71E+08	9.14E+06	5.24E+08	3.96E+08	5.79E+08	3.05E+06	9.14E+06	3.66E+07
Hoog dynamisch litoraal zout	4.21E+07		8.02E+07	3.26E+06	8.14E+05	9.57E+06	8.14E+05	9.37E+06		1.79E+07		9.57E+06	1.02E+06
Laag dynamisch laaglitoraal zout	4.35E+08	1.42E+08	1.25E+09	1.50E+08	1.21E+08	1.36E+08	7.89E+06	2.62E+08	2.26E+09	3.45E+08	1.10E+08	4.26E+07	2.79E+08
Laag dynamisch middenlitoraal zout	7.04E+08	7.51E+08	2.18E+09	1.07E+08	9.94E+07	2.88E+08	1.83E+07	4.79E+08	5.10E+09	8.48E+08	2.16E+09	7.06E+07	1.21E+09
Laag dynamisch hooglitoraal zout		7.34E+07	1.29E+08	4.32E+06		1.50E+07	1.82E+06		1.01E+09	6.37E+07	2.70E+08	4.55E+06	1.08E+08
Totale biomassa	1.23E+09	1.04E+09	4.34E+09	3.30E+08	2.69E+08	6.39E+08	4.23E+07	1.32E+09	8.82E+09	1.94E+09	2.62E+09	1.69E+08	1.65E+09

2050_M5

Ecotoop	Alisuc	Heddiv	Arema	Hetfil	Marvir	Scoarm	Etelon	Nephom	Ceredu	Macbal	Myaare	Corosp	Hydulv
Laag dynamisch sublitoraal brak		1.14E+07		1.34E+06			6.08E+05			8.27E+06	4.87E+05	6.69E+06	
Hoog dynamisch litoraal brak	2.88E+06	4.12E+05	4.48E+06	1.13E+06	6.18E+05		3.09E+05			4.84E+06	6.28E+06	8.75E+05	4.12E+05
Laag dynamisch laaglitoraal brak	6.63E+06	7.89E+06	6.29E+06	3.09E+06	3.43E+06	1.26E+06	4.57E+05		1.49E+06	1.45E+07	1.94E+06	5.37E+06	8.01E+05
Laag dynamisch middenlitoraal brak	4.03E+07	3.92E+07	1.61E+08	1.29E+07	4.21E+07	2.16E+07	3.51E+06	4.91E+07	5.73E+07	6.60E+07	7.60E+07	2.40E+07	1.93E+07
Supralitoraal brak		5.13E+07								3.05E+06		7.95E+05	
Laag dynamisch sublitoraal zout			5.42E+08	4.90E+07	6.13E+06	1.72E+08	9.19E+06	5.27E+08	3.98E+08	5.82E+08	3.06E+06	9.19E+06	3.68E+07
Hoog dynamisch litoraal zout	4.30E+07		8.19E+07	3.32E+06	8.31E+05	9.76E+06	8.31E+05	9.56E+06		1.83E+07		9.76E+06	1.04E+06
Laag dynamisch laaglitoraal zout	4.37E+08	1.43E+08	1.26E+09	1.50E+08	1.22E+08	1.36E+08	7.92E+06	2.63E+08	2.27E+09	3.47E+08	1.11E+08	4.28E+07	2.80E+08
Laag dynamisch middenlitoraal zout	6.98E+08	7.45E+08	2.16E+09	1.06E+08	9.86E+07	2.85E+08	1.82E+07	4.75E+08	5.06E+09	8.41E+08	2.14E+09	7.01E+07	1.20E+09
Laag dynamisch hooglitoraal zout		7.28E+07	1.28E+08	4.28E+06		1.49E+07	1.80E+06		1.00E+09	6.31E+07	2.68E+08	4.51E+06	1.07E+08
Totale biomassa	1.23E+09	1.07E+09	4.35E+09	3.32E+08	2.74E+08	6.41E+08	4.28E+07	1.32E+09	8.79E+09	1.95E+09	2.61E+09	1.74E+08	1.64E+09

2050_M6

Ecotoop	Alisuc	Heddiv	Arema	Hetfil	Marvir	Scoarm	Etelon	Nephom	Ceredu	Macbal	Myaare	Corosp	Hydulv
Laag dynamisch sublitoraal brak		1.44E+07		1.69E+06			7.66E+05			1.04E+07	6.13E+05	8.43E+06	
Hoog dynamisch litoraal brak	3.03E+06	4.33E+05	4.71E+06	1.19E+06	6.49E+05		3.25E+05			5.09E+06	6.60E+06	9.20E+05	4.33E+05
Laag dynamisch laaglitoraal brak	5.14E+06	6.12E+06	4.88E+06	2.39E+06	2.66E+06	9.75E+05	3.55E+05		1.15E+06	1.13E+07	1.51E+06	4.17E+06	6.20E+05
Laag dynamisch middenlitoraal brak	2.90E+07	2.82E+07	1.16E+08	9.26E+06	3.03E+07	1.56E+07	2.52E+06	3.53E+07	4.12E+07	4.76E+07	5.47E+07	1.73E+07	1.39E+07
Supralitoraal brak		2.66E+07								1.58E+06		4.12E+05	
Laag dynamisch sublitoraal zout			5.37E+08	4.85E+07	6.07E+06	1.70E+08	9.10E+06	5.22E+08	3.94E+08	5.76E+08	3.03E+06	9.10E+06	3.64E+07
Hoog dynamisch litoraal zout	4.15E+07		7.89E+07	3.20E+06	8.01E+05	9.41E+06	8.01E+05	9.21E+06		1.76E+07		9.41E+06	1.00E+06
Laag dynamisch laaglitoraal zout	4.30E+08	1.40E+08	1.24E+09	1.48E+08	1.20E+08	1.34E+08	7.80E+06	2.59E+08	2.24E+09	3.41E+08	1.09E+08	4.21E+07	2.76E+08
Laag dynamisch middenlitoraal zout	7.06E+08	7.53E+08	2.19E+09	1.08E+08	9.97E+07	2.89E+08	1.84E+07	4.80E+08	5.11E+09	8.50E+08	2.16E+09	7.08E+07	1.21E+09
Laag dynamisch hooglitoraal zout		7.31E+07	1.29E+08	4.30E+06		1.49E+07	1.81E+06		1.01E+09	6.34E+07	2.69E+08	4.53E+06	1.07E+08
Totale biomassa	1.21E+09	1.04E+09	4.30E+09	3.26E+08	2.60E+08	6.33E+08	4.18E+07	1.31E+09	8.79E+09	1.92E+09	2.61E+09	1.67E+08	1.65E+09

Bijlage 6 Totaal aantal vissen per maatregelrichting

Tabel 26. Totaal aantal van 11 vissoorten per vereenvoudigd ecotooptype in de Eems-Dollard voor de huidige situatie (2014), de autonome ontwikkeling in 2050 (MO) en de maatregelrichtingen M1 t/m M6.

2014											
Ecotoop	Agocat	Angang	Cheluc	Cilmus	Limlim	Mermer	Myosco	Plafle	Plepla	Solsol	Zoaviv
Hoogdynamisch sublitoraal brak	4.00E+03	2.22E+03		4.34E+04	2.67E+03	1.96E+03	5.15E+03	2.32E+05	4.08E+05	2.57E+05	3.74E+03
Hoogdynamisch sublitoraal zout	9.64E+04	1.64E+03	2.87E+04	2.68E+05	3.59E+05	1.09E+05	7.28E+04	1.85E+05	2.32E+06	9.45E+05	5.84E+04
Laagdynamisch sublitoraal brak				4.61E+03	3.08E+03			3.08E+03	4.31E+04	2.61E+04	
Laagdynamisch sublitoraal zout	4.51E+04	5.20E+02	2.82E+03	3.61E+04	3.00E+04	9.51E+03	3.21E+04	3.08E+05	2.15E+06	9.03E+04	5.78E+04
Totaal aantal	1.46E+05	4.38E+03	3.16E+04	3.52E+05	3.95E+05	1.21E+05	1.10E+05	7.28E+05	4.92E+06	1.32E+06	1.20E+05

2050_MO											
Ecotoop	Agocat	Angang	Cheluc	Cilmus	Limlim	Mermer	Myosco	Plafle	Plepla	Solsol	Zoaviv
Hoogdynamisch sublitoraal brak	4.00E+03	2.22E+03		4.34E+04	2.66E+03	1.96E+03	5.14E+03	2.32E+05	4.08E+05	2.57E+05	3.74E+03
Hoogdynamisch sublitoraal zout	1.02E+05	1.72E+03	3.03E+04	2.82E+05	3.78E+05	1.15E+05	7.66E+04	1.95E+05	2.44E+06	9.94E+05	6.15E+04
Laagdynamisch sublitoraal brak				6.85E+03	4.57E+03			4.57E+03	6.40E+04	3.89E+04	
Laagdynamisch sublitoraal zout	5.63E+04	6.49E+02	3.53E+03	4.50E+04	3.75E+04	1.19E+04	4.01E+04	3.85E+05	2.68E+06	1.13E+05	7.21E+04
Totaal aantal	1.62E+05	4.59E+03	3.38E+04	3.78E+05	4.23E+05	1.29E+05	1.22E+05	8.16E+05	5.60E+06	1.40E+06	1.37E+05

2050_M1											
Ecotoop	Agocat	Angang	Cheluc	Cilmus	Limlim	Mermer	Myosco	Plafle	Plepla	Solsol	Zoaviv
Hoogdynamisch sublitoraal brak	4.03E+03	2.24E+03		4.37E+04	2.69E+03	1.98E+03	5.19E+03	2.34E+05	4.11E+05	2.59E+05	3.77E+03
Hoogdynamisch sublitoraal zout	1.02E+05	1.73E+03	3.03E+04	2.83E+05	3.78E+05	1.15E+05	7.67E+04	1.95E+05	2.44E+06	9.95E+05	6.15E+04
Laagdynamisch sublitoraal brak				6.83E+03	4.56E+03			4.56E+03	6.38E+04	3.87E+04	
Laagdynamisch sublitoraal zout	5.63E+04	6.49E+02	3.52E+03	4.50E+04	3.74E+04	1.19E+04	4.00E+04	3.85E+05	2.68E+06	1.13E+05	7.20E+04
Totaal aantal	1.62E+05	4.61E+03	3.38E+04	3.78E+05	4.23E+05	1.29E+05	1.22E+05	8.18E+05	5.60E+06	1.41E+06	1.37E+05

2050_M2											
Ecotoop	Agocat	Angang	Cheluc	Cilmus	Limlim	Mermer	Myosco	Plafle	Plepla	Solsol	Zoaviv
Hoogdynamisch sublitoraal brak	4.07E+03	2.26E+03		4.42E+04	2.71E+03	2.00E+03	5.24E+03	2.36E+05	4.15E+05	2.62E+05	3.81E+03
Hoogdynamisch sublitoraal zout	9.86E+04	1.68E+03	2.94E+04	2.74E+05	3.67E+05	1.12E+05	7.44E+04	1.89E+05	2.37E+06	9.66E+05	5.97E+04
Laagdynamisch sublitoraal brak				5.91E+03	3.94E+03			3.94E+03	5.52E+04	3.35E+04	
Laagdynamisch sublitoraal zout	5.64E+04	6.51E+02	3.53E+03	4.51E+04	3.75E+04	1.19E+04	4.01E+04	3.86E+05	2.69E+06	1.13E+05	7.22E+04
Totaal aantal	1.59E+05	4.59E+03	3.29E+04	3.69E+05	4.11E+05	1.26E+05	1.20E+05	8.15E+05	5.53E+06	1.37E+06	1.36E+05

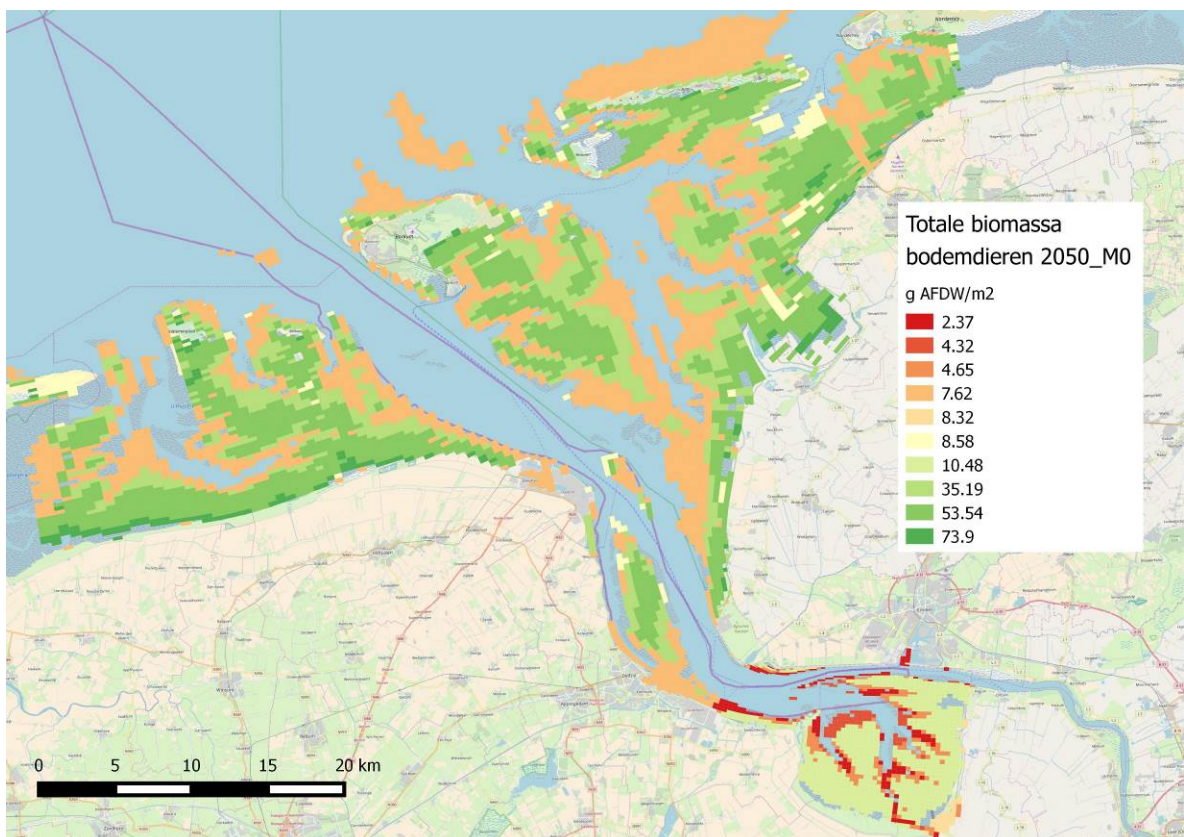
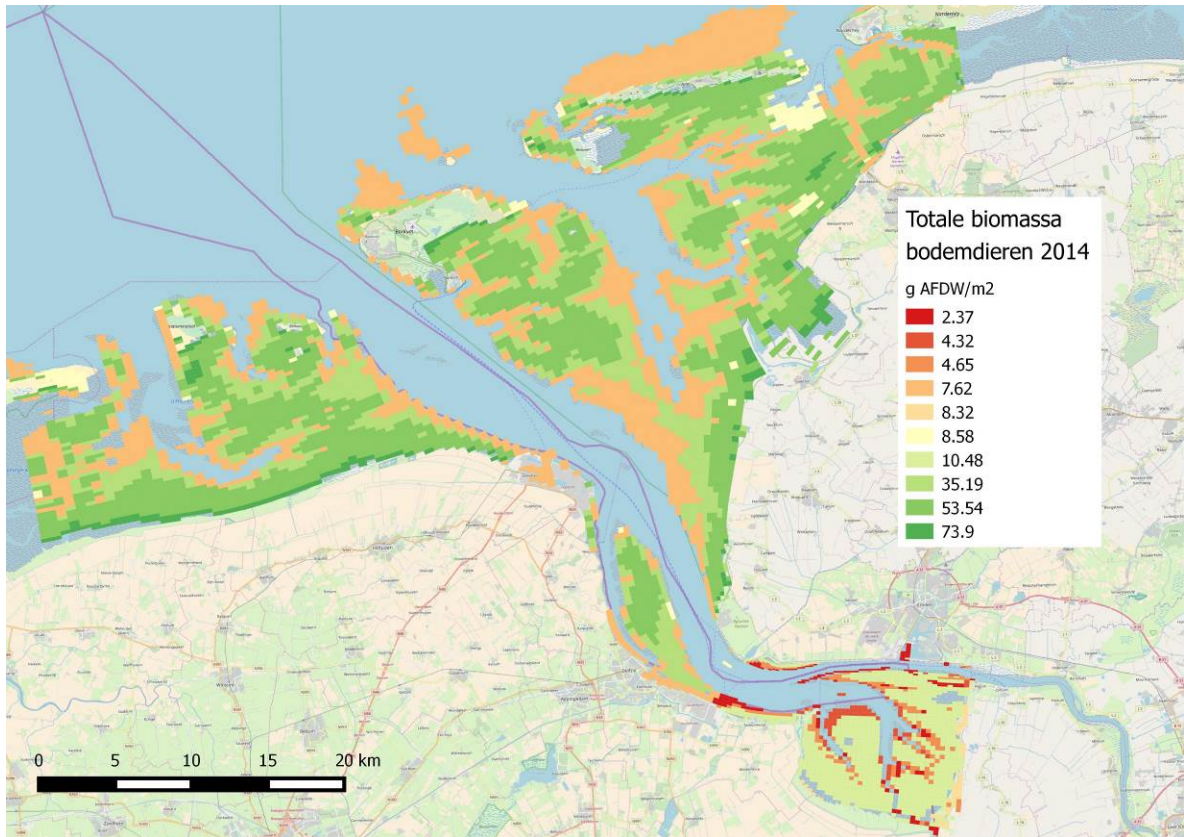
2050_M3											
Ecotoop	Agocat	Angang	Cheluc	Cilmus	Limlim	Mermer	Myosco	Plafle	Plepla	Solsol	Zoaviv
Hoogdynamisch sublitoraal brak	4.04E+03	2.25E+03		4.39E+04	2.70E+03	1.98E+03	5.20E+03	2.34E+05	4.12E+05	2.60E+05	3.78E+03
Hoogdynamisch sublitoraal zout	9.92E+04	1.68E+03	2.96E+04	2.76E+05	3.69E+05	1.12E+05	7.49E+04	1.91E+05	2.39E+06	9.72E+05	6.01E+04
Laagdynamisch sublitoraal brak				6.22E+03	4.15E+03			4.15E+03	5.81E+04	3.53E+04	
Laagdynamisch sublitoraal zout	4.77E+04	5.50E+02	2.99E+03	3.81E+04	3.18E+04	1.01E+04	3.40E+04	3.26E+05	2.27E+06	9.55E+04	6.11E+04
Totaal aantal	1.51E+05	4.48E+03	3.26E+04	3.64E+05	4.08E+05	1.24E+05	1.14E+05	7.55E+05	5.13E+06	1.36E+06	1.25E+05

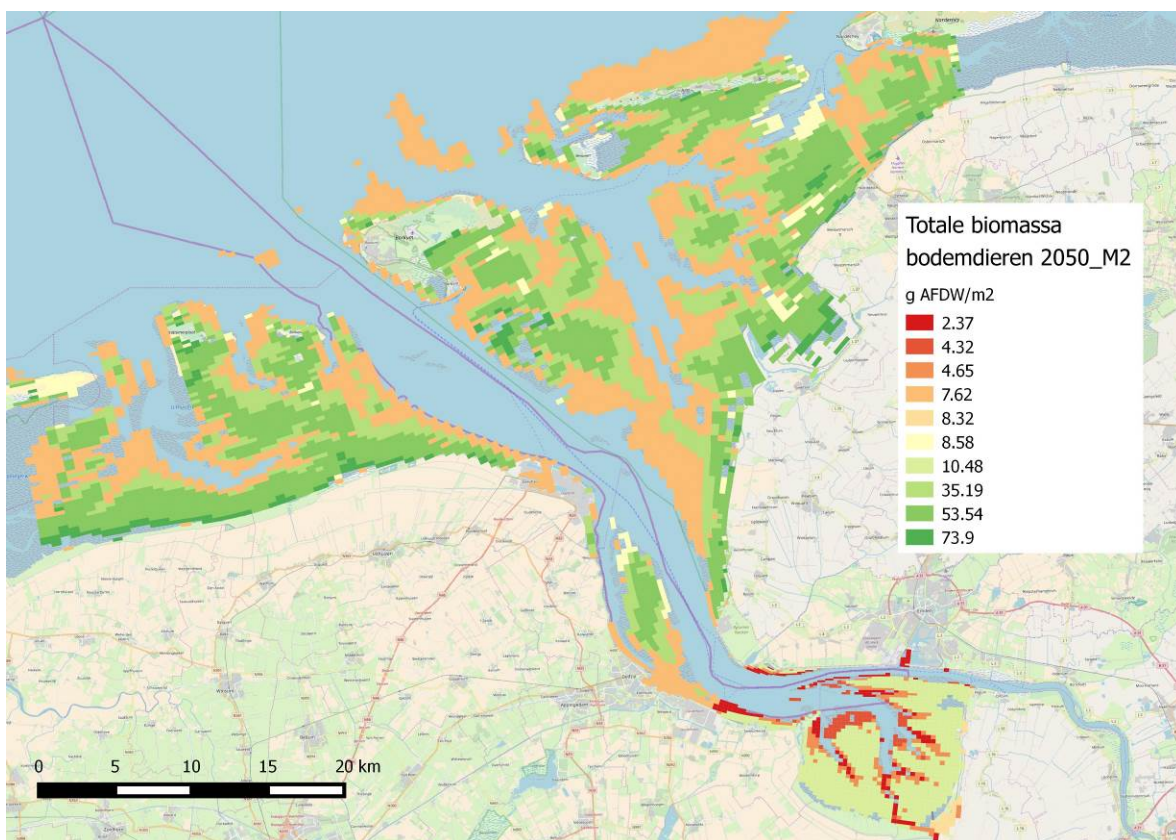
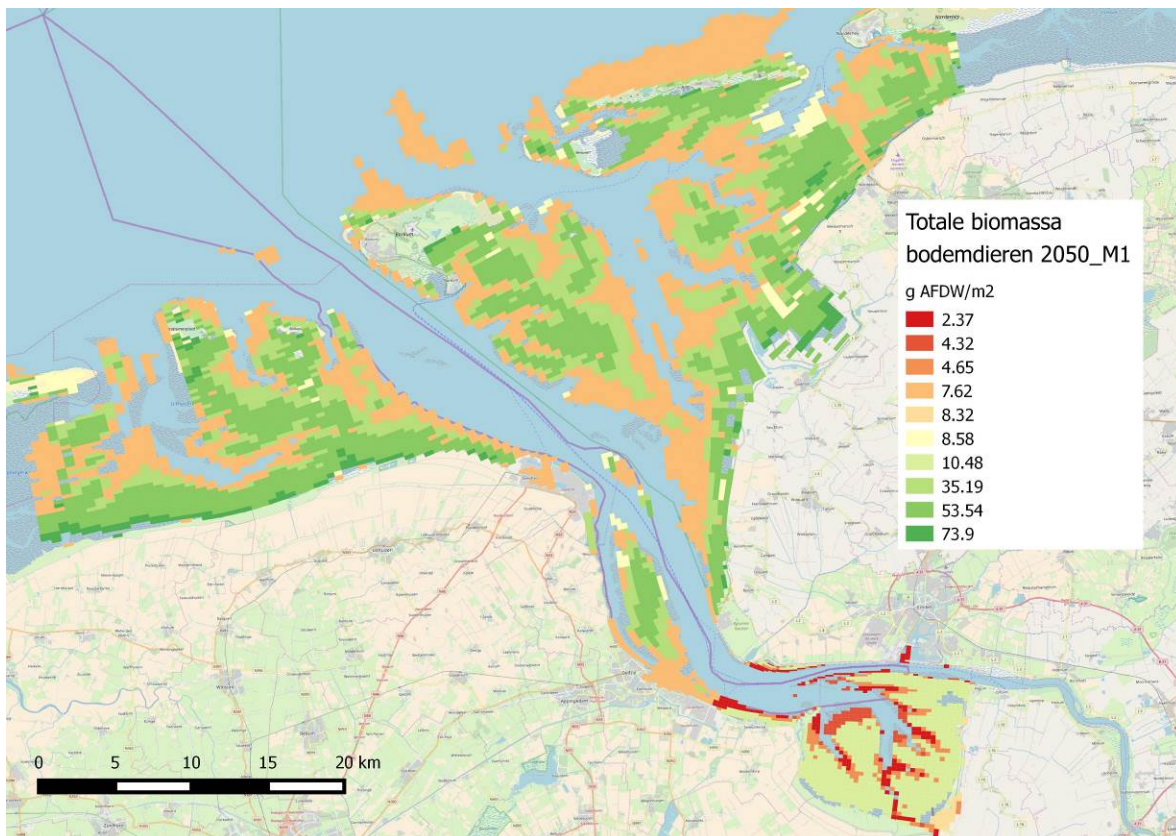
2050_M4											
Ecotoop	Agocat	Angang	Cheluc	Cilmus	Limlim	Mermer	Myosco	Plafle	Plepla	Solsol	Zoaviv
Hoogdynamisch sublitoraal brak	4.12E+03	2.29E+03		4.47E+04	2.74E+03	2.02E+03	5.30E+03	2.39E+05	4.20E+05	2.65E+05	3.85E+03
Hoogdynamisch sublitoraal zout	1.01E+05	1.72E+03	3.02E+04	2.82E+05	3.78E+05	1.15E+05	7.65E+04	1.95E+05	2.44E+06	9.93E+05	6.14E+04
Laagdynamisch sublitoraal brak				6.38E+03	4.26E+03			4.26E+03	5.96E+04	3.62E+04	
Laagdynamisch sublitoraal zout	5.62E+04	6.48E+02	3.52E+03	4.49E+04	3.74E+04	1.19E+04	4.00E+04	3.84E+05	2.68E+06	1.13E+05	7.19E+04
Totaal aantal	1.62E+05	4.66E+03	3.38E+04	3.78E+05	4.22E+05	1.29E+05	1.22E+05	8.22E+05	5.60E+06	1.41E+06	1.37E+05

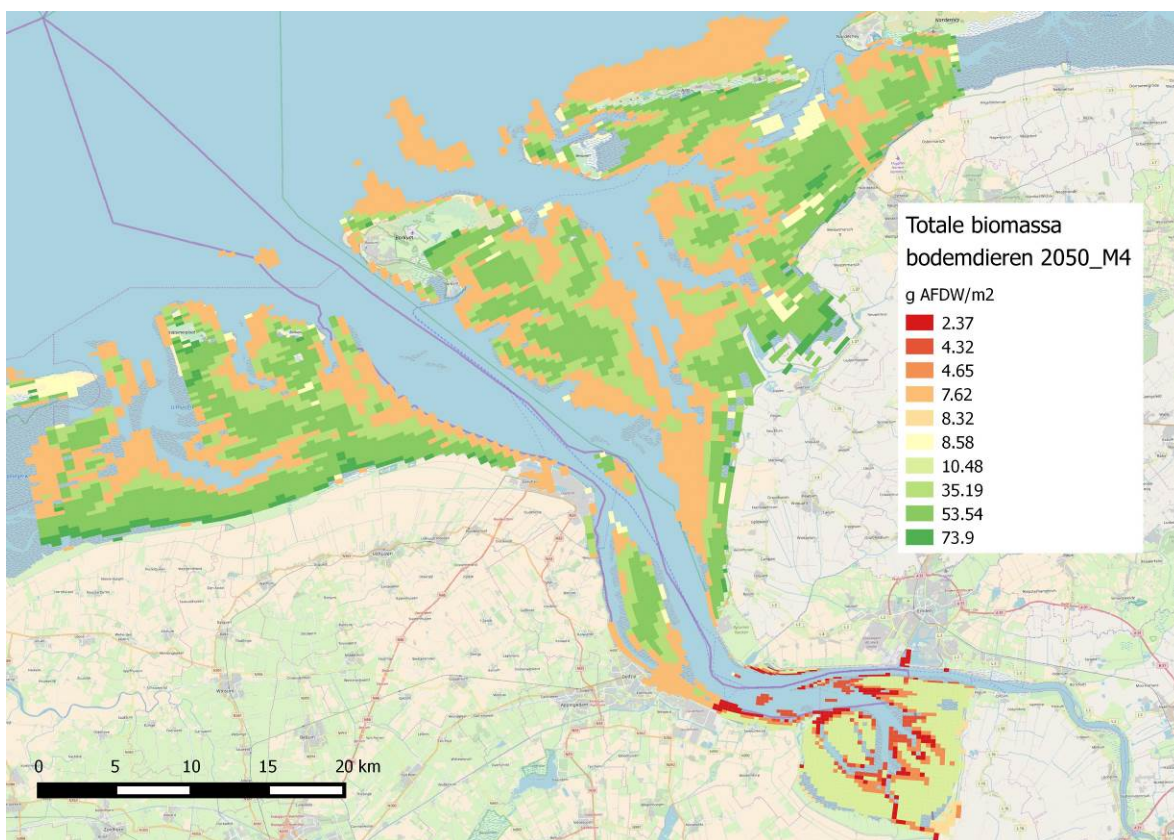
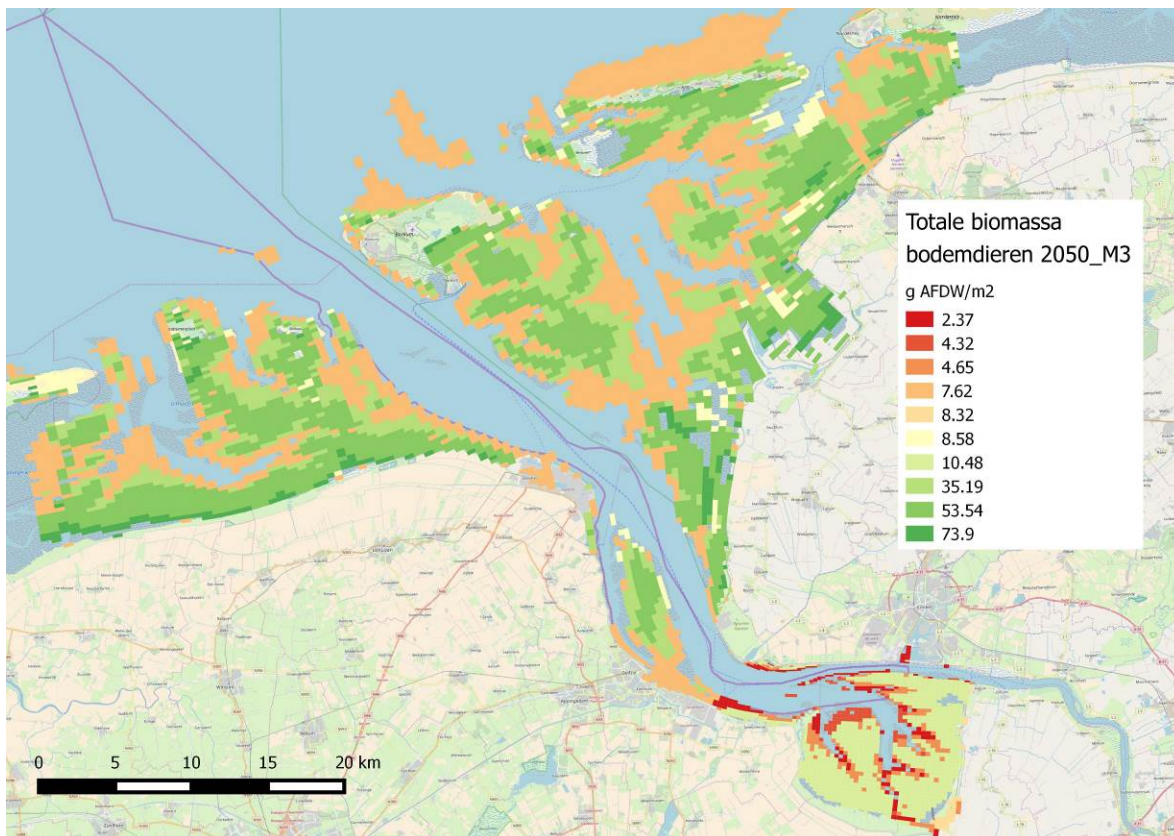
2050_M5											
Ecotoop	Agocat	Angang	Cheluc	Cilmus	Limlim	Mermer	Myosco	Plafle	Plepla	Solsol	Zoaviv
Hoogdynamisch sublitoraal brak	4.07E+03	2.26E+03		4.42E+04	2.71E+03	2.00E+03	5.24E+03	2.36E+05	4.15E+05	2.62E+05	3.81E+03
Hoogdynamisch sublitoraal zout	1.02E+05	1.73E+03	3.04E+04	2.83E+05	3.79E+05	1.15E+05	7.68E+04	1.96E+05	2.45E+06	9.97E+05	6.17E+04
Laagdynamisch sublitoraal brak				6.72E+03	4.49E+03			4.49E+03	6.28E+04	3.81E+04	
Laagdynamisch sublitoraal zout	5.58E+04	6.44E+02	3.50E+03	4.46E+04	3.72E+04	1.18E+04	3.97E+04	3.82E+05	2.66E+06	1.12E+05	7.15E+04
Totaal aantal	1.62E+05	4.63E+03	3.38E+04	3.79E+05	4.23E+05	1.29E+05	1.22E+05	8.18E+05	5.59E+06	1.41E+06	1.37E+05

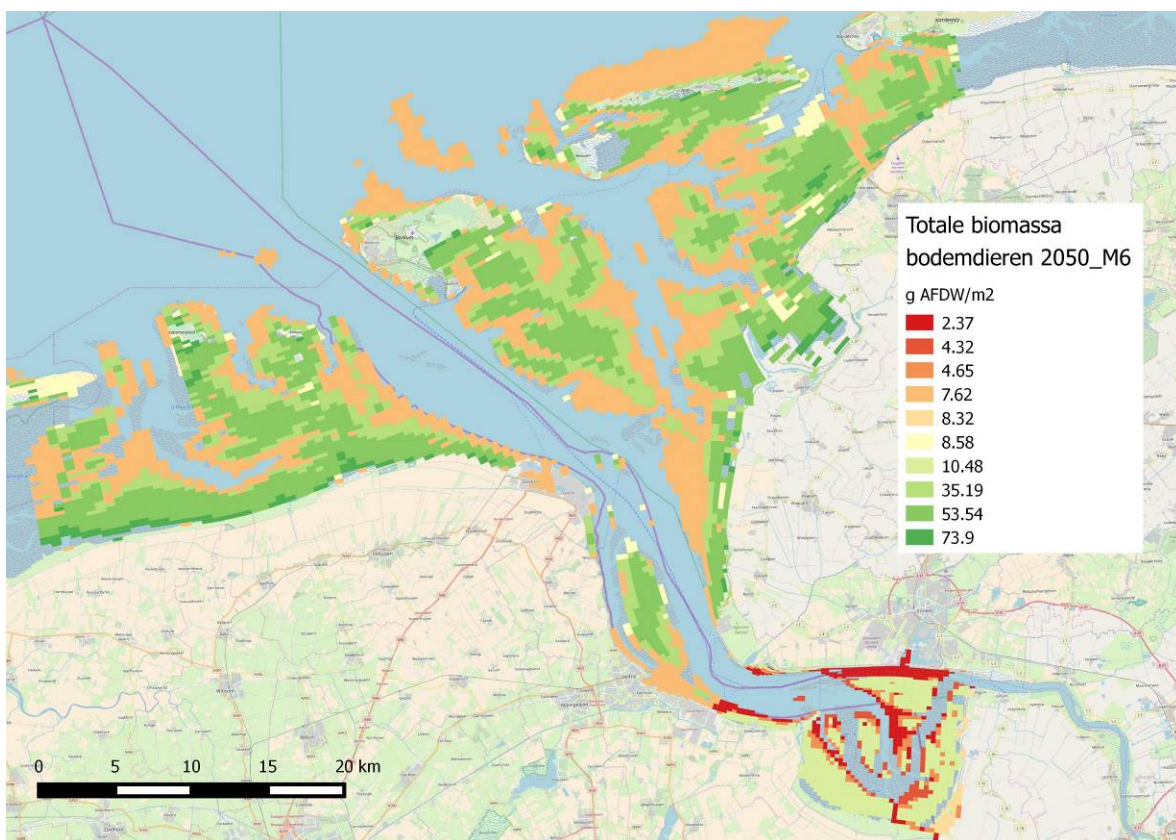
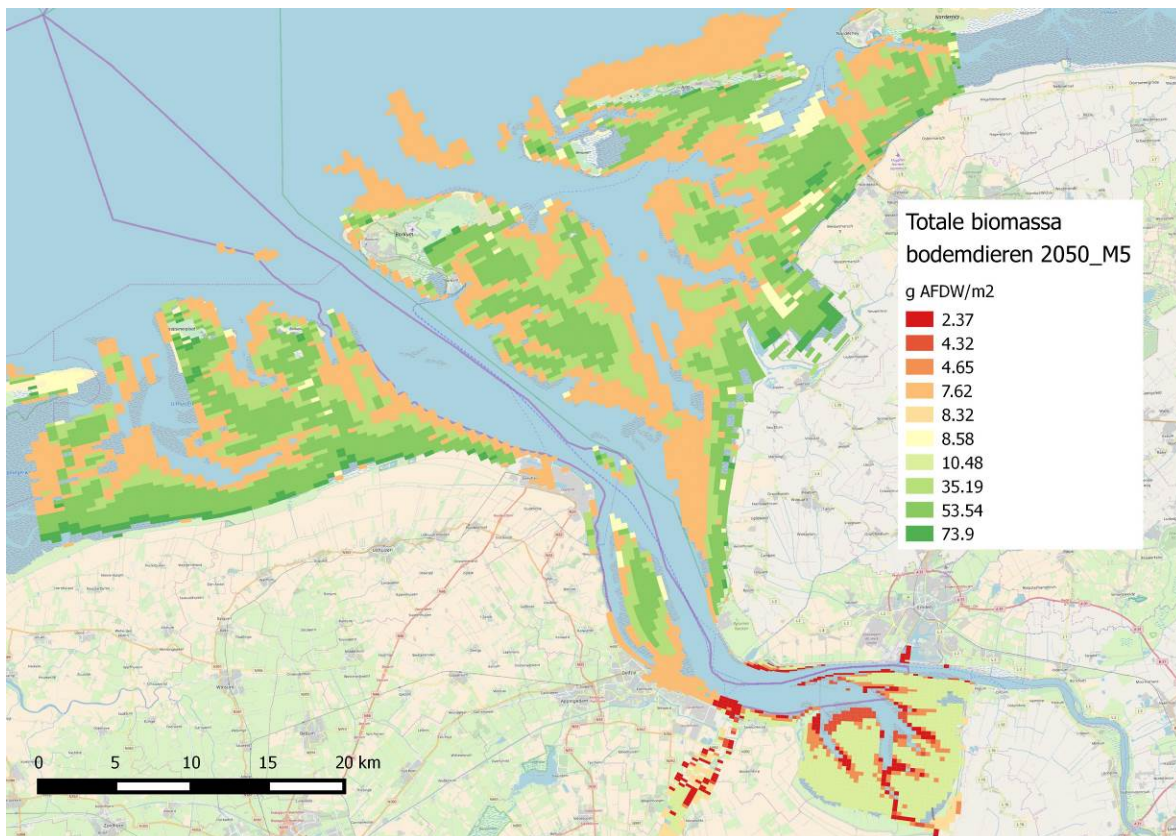
2050_M6											
Ecotoop	Agocat	Angang	Cheluc	Cilmus	Limlim	Mermer	Myosco	Plafle	Plepla	Solsol	Zoaviv
Hoogdynamisch sublitoraal brak	4.80E+03	2.67E+03		5.21E+04	3.20E+03	2.36E+03	6.18E+03	2.78E+05	4.90E+05	3.09E+05	4.49E+03
Hoogdynamisch sublitoraal zout	1.02E+05	1.74E+03	3.05E+04	2.84E+05	3.81E+05	1.16E+05	7.72E+04	1.96E+05	2.46E+06	1.00E+06	6.19E+04
Laagdynamisch sublitoraal brak				1.10E+04	7.32E+03			7.32E+03	1.02E+05	6.21E+04	
Laagdynamisch sublitoraal zout	5.47E+04	6.31E+02	3.43E+03	4.37E+04	3.64E+04	1.15E+04	3.89E+04	3.74E+05	2.61E+06	1.10E+05	7.00E+04
Totaal aantal	1.62E+05	5.04E+03	3.39E+04	3.91E+05	4.28E+05	1.30E+05	1.22E+05	8.56E+05	5.66E+06	1.48E+06	1.36E+05

Bijlage 7 Som van de biomassa aan bodemdieren









Wageningen Marine Research
T: +31 (0)317 48 09 00
E: marine-research@wur.nl
www.wur.nl/marine-research

Visitors address

- Ankerpark 27 1781 AG Den Helder
- Korringaweg 5, 4401 NT Yerseke
- Haringkade 1, 1976 CP IJmuiden

Wageningen Marine Research is the Netherlands research institute established to provide the scientific support that is essential for developing policies and innovation in respect of the marine environment, fishery activities, aquaculture and the maritime sector.

Wageningen University & Research is specialised in the domain of healthy food and living environment.

The Wageningen Marine Research vision:

‘To explore the potential of marine nature to improve the quality of life.’

The Wageningen Marine Research mission

- To conduct research with the aim of acquiring knowledge and offering advice on the sustainable management and use of marine and coastal areas.
- Wageningen Marine Research is an independent, leading scientific research institute.

Wageningen Marine Research is part of the international knowledge organisation Wageningen UR (University & Research centre). Within Wageningen UR, nine specialised research institutes of Stichting Wageningen Research (a Foundation) have joined forces with Wageningen University to help answer the most important questions in the domain of healthy food and living environment.

