



De ecologie van het Amelanders Zeegat

Een inventarisatie naar kennis over het ecologische functioneren van het Amelanders Zeegat

Auteur(s):

Lisanne van den Bogaart; Ralf van Hal; Mirte van der Meijden; Sophie Brasseur;
Martin Baptist; Jeroen Wijsman

Wageningen University &
Research rapport C032/19

De ecologie van het Amelander Zeegat

Een inventarisatie naar kennis over het ecologisch functioneren van het Amelander Zeegat

Auteur(s): Lisanne van den Bogaart; Ralf van Hal; Mirte van der Meijden; Sophie Brasseur; Martin Baptist; Jeroen Wijsman

Publicatiedatum: April 2019

Wageningen Marine Research IJmuiden, april 2019

VERTROUWELIJK Nee

Wageningen Marine Research rapport C032/19

De ecologie van het Amelandse Zeegat, 2019. Lianne van den Bogaart; Ralf van Hal; Mirte van der Meijden; Sophie Brasseur; Martin Baptist; Jeroen Wijsman Wageningen Marine Research, rapport C032/19. 60 blz.61;

Keywords: buitendelta, suppletie, ecologie

Opdrachtgever: RWS WVL
T.a.v.: dr. Cor Schipper
Zuiderwagenplein 2
8224 AD Lelystad

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/473944>
Wageningen Marine Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

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

© Wageningen Marine Research

Wageningen Marine Research, instituut
binnen de rechtspersoon Stichting
Wageningen Research, hierbij
vertegenwoordigd door Dr. M.C.Th.
Scholten, Algemeen directeur

KvK nr. 09098104,
WMR BTW nr. NL 8113.83.696.B16.
Code BIC/SWIFT address: RABONL2U
IBAN code: NL 73 RABO 0373599285

Wageningen Marine Research aanvaardt geen aansprakelijkheid 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.
Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag weergegeven en/of
gepubliceerd worden, gefotokopieerd of op enige andere manier gebruikt worden
zonder schriftelijke toestemming van de uitgever of auteur.

A_4_3_1 V29 (2019)

Inhoud

Samenvatting	4
1 Inleiding	6
1.1 Achtergrond	6
1.1.1 De buitendelta	6
1.1.2 Zandsuppleties	8
1.1.3 Mogelijke effecten van suppleties	8
1.1.4 Pilotsuppletie en gerelateerd ecologisch meetprogramma	11
1.1.5 Aansluiting bij andere meetprogramma's in de buitendelta	12
1.2 Doelstelling	13
1.3 Afbakening	14
2 Ecologisch functioneren van het Amelanders Zeegat	15
2.1 Stroming, diepte en sediment	15
2.1.1 Algemeen	15
2.1.2 Habitats	19
2.2 Benthos in de buitendelta	20
2.2.1 Algemeen	20
2.2.2 T ₀ -meting benthos	21
2.2.3 Macrozoöbenthos als voedsel voor vogels	26
2.3 Vis in de buitendelta	30
2.3.1 Algemeen	30
2.3.2 T ₀ -meting zandspiering	30
2.3.3 Aanwezigheid zandspieringen	31
2.3.4 Overige vissoorten	33
2.3.5 Macrobenthos	34
2.4 Zeevogels in de buitendelta	35
2.4.1 Algemeen	35
2.4.2 Zenderstudie grote sterns	38
2.5 Zeezoogdieren in de buitendelta	41
2.5.1 Algemeen	41
2.5.2 Ontwikkeling en verspreiding van zeehonden rondom het Amelanders Zeegat	42
2.5.3 Zenderdata zeehonden	45
3 Conclusies en aanbevelingen	48
4 Lessons learned	51
5 Kwaliteitsborging	53
Literatuur	54
Verantwoording	59

Samenvatting

Om de kustveiligheid ook in de toekomst te kunnen waarborgen ontwikkelt Rijkswaterstaat een suppletie strategie die enerzijds zorg draagt voor de kustveiligheid en zich anderzijds richt op de gestelde doelen ten aanzien van natuurbehoud en -ontwikkeling van de Nederlandse kust. De buitendelta's van de Waddenzee zijn mogelijke nieuwe locaties om zand te suppleren. Systeemkennis met betrekking tot het functioneren van buitendelta's is noodzakelijk om de effectiviteit van een suppletie te kunnen voorspellen en om de effecten hiervan op de natuur in te kunnen schatten. In 2018 heeft Rijkswaterstaat een pilotsuppletie uitgevoerd in de buitendelta van het Amelander Zeegat, met als doel de kennis te vergroten van de uitvoerbaarheid en effectiviteit van grootschalige suppleties in buitendelta's. Dit is onderdeel van het onderzoeksprogramma 'Kustgenese 2.0' (KG-2) waarvoor in 2017 veldmetingen zijn uitgevoerd en in de komende jaren de suppletie gevolgd zal worden. Daarnaast is in 2017 ook het meetprogramma Ecologie Buitendelta Amelander Zeegat gestart om te onderzoeken wat het effect is van de suppletie op het ecologisch functioneren van de buitendelta.

In dit synthesesrapport wordt een overzicht gegeven van de resultaten van de T_0 -metingen (2017 en 2018) aan benthos en zandspiering in het Amelander zeegat en de daarin gelegen suppletielocatie (Leopold en Baptist, 2016; van Dalfsen, 2016; Schipper en van Dalfsen, 2017). De suppletielocatie is daarbij onderdeel van een groter onderzocht gebied. Dit is aangevuld met gegevens van een studie naar de foerageerlocaties van grote sterns en zenderstudies van gewone en grijze zeehonden die binnen andere kaders zijn uitgevoerd. Het rapport bevat daarnaast een literatuuroverzicht van mogelijke effecten van suppleties op ecosystemen. De overkoepelende onderzoeksvraag voor de T_0 -meting ecologisch onderzoek buitendelta Amelander Zeegat luidt: "Wat zijn de kenmerken en natuurwaarden van het (eco)systeem van de buitendelta's van de waddenkust en wat zijn mogelijke effecten van suppleties op dit ecosysteem?"

De resultaten van de T_0 -meting laten zien dat de benthosgemeenschap van het Amelander Zeegat over het algemeen weinig divers is in de stroomgeulen en op de zandplaten en er meer diversiteit is aan de buitenzijde van het gebied. Daarnaast vertoont de benthosgemeenschap een duidelijke relatie met de heersende abiotische factoren in het gebied. De meeste soorten en de hoogste dichtheden zijn aangetroffen in de dieper gelegen ecotopen in het noordoostelijk deel van het gebied. Hier is de sedimentsamenstelling relatief fijn en het organisch stofgehalte hoog. Het sediment in het geplande suppletiegebied (in 2017 was de exacte suppletielocatie nog niet definitief en is een groter gebied dan het geplande suppletiegebied onderzocht) bestaat voornamelijk uit relatief grof zand met weinig organisch materiaal. Wat betreft bodemdieren is het armer dan het hiervoor genoemde gebied in het noordoosten, maar rijker dan de geulen, geulwanden en ondiepe zandplaten meer naar het zuiden. Er komen voornamelijk kleine kreeftachtigen en wormen voor die kenmerkend zijn voor ondiepe dynamische kustgebieden. Dit zijn kortlevende opportunistische soorten met een hoge reproductie- en verspreidingscapaciteit (r-strategen). Op basis van bestaande literatuur is de verwachting dat rekolonisatie tot de huidige soortensamenstelling en dichtheden zich binnen een jaar kan instellen.

De T_0 -metingen gericht op de ruimtelijke verspreiding en dichtheid van zandspiering toonden aan dat er drie soorten zandspiering in de buitendelta van het Amelander Zeegat voorkomen. Het meest algemeen waren de kleine zandspiering en de Noorse zandspiering. Sporadisch werd ook smelt aangetroffen. Op de suppletielocatie zelf zijn geen monsters genomen vanwege de aanwezigheid van meetframes. Er is slechts één monster genomen op de rand van het uiteindelijke suppletiegebied. Hier zijn kleine en Noorse zandspiering aangetroffen. Direct ten oosten van de suppletielocatie zijn de hoogste aantallen Noorse en kleine zandspiering aangetroffen, met name juveniele kleine zandspiering. Het is de verwachting dat er ook zandspiering voorkomt in het suppletiegebied zelf. Het is op dit moment nog niet mogelijk om te beoordelen of een suppletie in de buitendelta van het Amelander Zeegat van invloed is op de samenstelling van de zandspiering-gemeenschap in deze buitendelta. Hiervoor zullen vervolgmetingen moeten plaatsvinden.

In het kader van dit onderzoek zijn er geen specifieke studies aan vogels of zeehonden uitgevoerd. Uit eerdere studies bleek dat er slechts spaarzame gegevens bekend zijn over het belang van buitendelta's voor vogelsoorten. Eén van de soorten waarvoor buitendelta's van belang zijn, is de grote stern. De eerste resultaten van een studie met gezenderde grote sterns uit de broedkolonie Utopia op Texel geven aan dat grote sterns flexibel zijn wat betreft keuze voor foerageerlocaties en dat er voldoende alternatieven lijken te zijn voor een eventueel verlies aan foerageerhabitat. Tijdens de kuikenperiode zijn de foerageerafstanden echter beperkter. Hoe dit uitpakt voor (eventuele) broedende grote sterns op Ameland in het geval van een suppletie op de buitendelta gedurende de kuikenperiode is op basis van deze studie niet te zeggen.

Dit synthese rapport geeft ook een overzicht van de ontwikkeling en verspreiding van zeehonden rondom het Amelandse Zeegat. De Gewone zeehond en de Grijze zeehond komen in grote aantallen voor in het gebied. De dieren die de zandplaten tussen Terschelling en Ameland gebruiken, zullen de geul tussen deze eilanden gebruiken om naar hun foerageergebied te trekken. Tevens is aan de hand van de zenderdata het duikgedrag in de buitendelta onderzocht. Hieruit blijkt dat gewone zeehonden 15% en 36% van de tijd naar dieptes van 4 tot 6 meter doken. Grijze zeehonden doken relatief vaker op deze diepte: 27% en 45%. Er werd ook gedoken naar grotere dieptes, maar duikdieptes tussen de 4 en 6 meter kwamen frequenter voor. Deze duikdieptes wijzen op foerageeractiviteit. De mate waarin de dieren afhankelijk zijn van specifieke prooien uit de buitendelta van het Amelandse Zeegat bepaalt of een suppletie invloed heeft op zeehonden en hoe dit mogelijk doorwerkt op de populaties. Hiervoor is verder onderzoek noodzakelijk. Onafhankelijk hiervan wordt dit gebied intensief door de dieren gebruikt op weg van en naar de rustplaatsen op de wadplaten, waarbij mogelijk verstoring op kan treden bij suppletiewerkzaamheden.

Over de vraag van de effecten van de suppletie op het ecologisch functioneren van het ecosysteem, kan op dit moment slechts gespeculeerd worden. Om deze vragen goed te kunnen beantwoorden, zal uitgebreider onderzoek noodzakelijk zijn. Een voorstel hiervoor is uitgewerkt in het meetplan voor 2019 (Van Hal e.a., 2018).

1 Inleiding

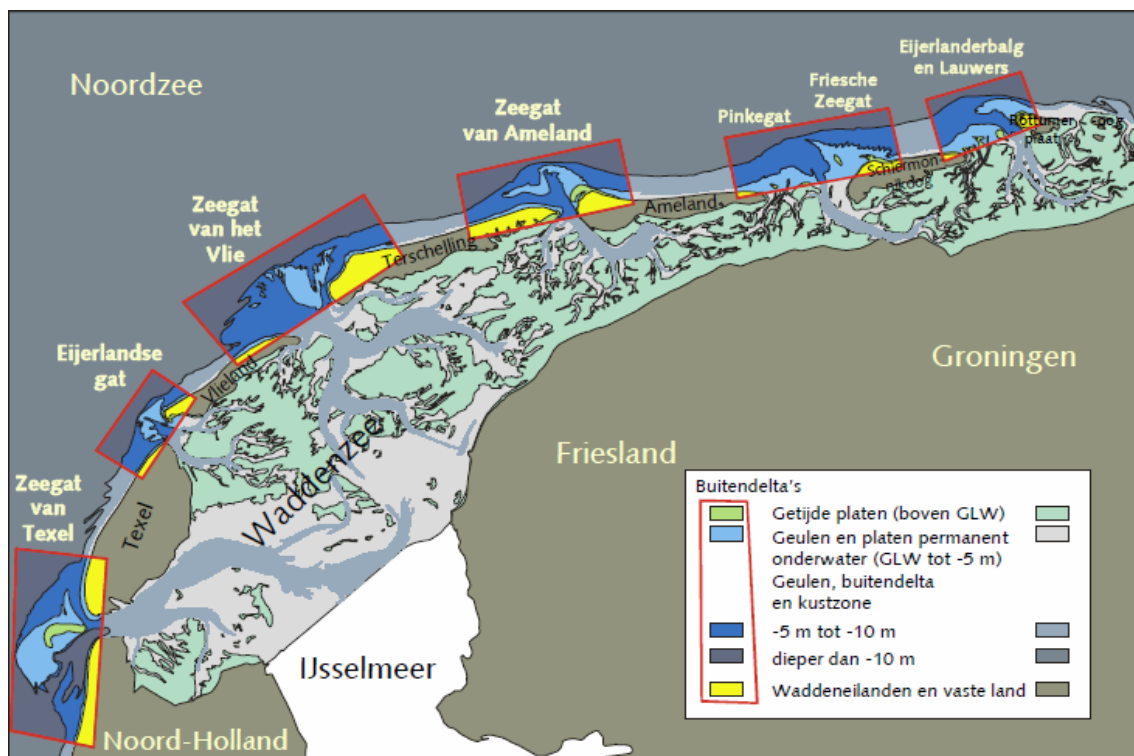
Om de kustveiligheid ook in de toekomst te kunnen waarborgen ontwikkelt Rijkswaterstaat een suppletiestrategie die enerzijds zorg draagt voor de veiligheidsopgave –de basiskustlijn handhaven en het kustfundament mee laten stijgen met de zeespiegelstijging- en zich anderzijds richt op de gestelde doelen ten aanzien van natuurbehoud en -ontwikkeling van de Nederlandse kust. Het Ministerie van IenW wil in 2020 een besluit nemen over de strategie ten behoeve van het duurzaam meegroeien van het kustfundament. Daarbij kan de hoeveelheid en locatie van de zandsuppleties anders worden dan nu gebruikelijk is. De buitendelta's van de Waddenzee zijn daarbij mogelijke nieuwe locaties om zand te suppleren.

De buitendelta's vormen met hun ondiepten en geulen belangrijke schakels tussen de Noordzeekustzone en de Waddenzee (Schipper en van Dalftsen, 2017). Zonder goede kennis over buitendelta's is het niet goed mogelijk om effecten van ingrepen zoals zandsuppleties te kunnen beoordelen en de gevolgen op de instandhoudingsdoelstellingen (Vogel- en Habitatrichtlijnen) voor de Noordzeekustzone te bepalen. Systeemkennis is noodzakelijk om enerzijds de effectiviteit van een suppletie te kunnen voorspellen en anderzijds de effecten hiervan op de natuur te kunnen inschatten. Met deze kennis kunnen maatregelen genomen worden die negatieve gevolgen op het functioneren kunnen beperken en eventuele positieve effecten voor de natuur kunnen versterken.

1.1 Achtergrond

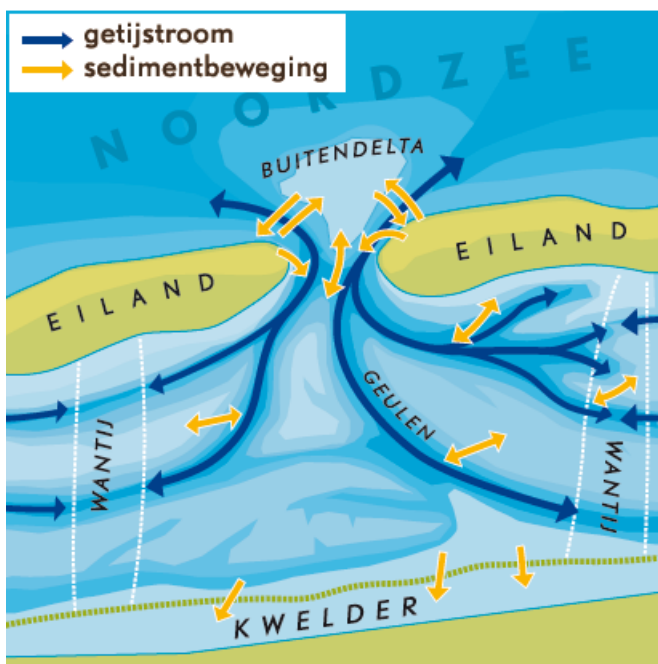
1.1.1 De buitendelta

Een buitendelta kan omschreven worden als een stelsel van getijdegeulen en ondiepe, soms droogvallende platen in de monding van een zeearm of rivier (Van Alphen en Damoiseaux, 1986; Elias e.a., 2012; van Dalftsen, 2016; Oost e.a., 2017). In het waddengebied zijn de buitendelta's verbonden met de zeegaten tussen de eilanden (Figuur 1.1).



Figuur 1.1: De buitendelta's van de Waddenzee (Cleveringa e.a., 2004).

De buitendelta's van het waddengebied worden gevormd door een uitwisseling van water en sediment van de getijdebekken van de Waddenzee met het kustfundament van Noord-Holland en de Waddeneilanden. Tijdens vloed worden grote hoeveelheden zand en water vanuit verschillende richtingen naar het getijdebekken getransporteerd (Figuur 1.2). Een deel van het sediment blijft achter in de Waddenzee en een deel wordt met de ebstream weer door het diepe zeegat vanuit de Waddenzee naar de Noordzee getransporteerd. Doordat de stroomsnelheid aan de Noordzeezijde afneemt, bezinkt het sediment en vormt grote zandplaten doorsneden door vloed- en ebgeulen (Elias e.a., 2012; van Dalssen, 2016). De platen en geulen die de buitendelta vormen zijn sterk dynamisch, zowel de locatie als de hoogte verandert in de loop van de tijd (Cleveringa e.a., 2004; Cheung e.a., 2007). Er ontstaat een zeer dynamisch gebied door verschil in diepte, stromingen en golfwerking met een grote variatie aan fysische factoren. De buitendelta's van de Waddenzee zijn onderdeel van de Natura 2000 gebieden Noordzeekustzone en Waddengebied en worden beschermd door de daarbij behorende wet- en regelgeving. Het Europese netwerk van Natura 2000-gebieden is ingesteld naar aanleiding van de Habitatrichtlijn (1992) en de Vogelrichtlijn (1979). Het gaat om gebieden waarin veel habitattypen en soorten voorkomen die Europees moeten worden beschermd. Uitgangspunten van de Vogel- en Habitatrichtlijnen zijn dat de maatregelen worden uitgevoerd die ecologisch nodig zijn om een achteruitgang van de gebieden te voorkomen en die op den duur de gunstige staat van instandhouding van de te beschermen soorten en habitattypen herstellen en behouden.



Figuur 1.2: Schematische weergave van een zeegat met de getijstroom en sedimentuitwisseling (Ministerie van Economische Zaken Landbouw en Innovatie en Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2012).

De buitendelta's van de Waddenzee dragen bij aan de kustveiligheid door het bieden van luwte aan de aanliggende kust en het verminderen van de golfwerking. Daarnaast hebben ze een functie als doorgeefluik van zand naar de kusten van de Waddeneilanden en naar de Waddenzee. Als laatste hebben ze mogelijk een belangrijke ecologische functie. Ze vormen een dynamisch habitat voor verschillende soorten (Elias e.a., 2012; van Dalssen, 2016).

De morfologie van de buitendelta's langs de Waddenzee is onder meer afhankelijk van de debieten aan vloed- en ebwater. Deze debieten zijn geslonken door menselijke ingrepen in het verleden, zoals de aanleg van de Afsluitdijk en de afsluiting van de Zuiderzee in 1932 en de Lauwerszee in 1969. Het zandvolume van de buitendelta's van de Waddenzee is mede hierdoor aan het teruglopen (Elias e.a., 2012; Leopold en Baptist, 2016). Daarnaast zal de zeespiegelstijging leiden tot een verhoging van de sedimentvraag van de Waddenzee (Wang e.a., 2018). De buitendelta en de kusten die aan het zeegat grenzen leveren het zand hiervoor. Dit resulteert in een achteruitgang van de kustlijn en buitendelta's. Om aan de zandvraag te blijven voldoen en de kustlijn te handhaven moet derhalve zand worden aangevoerd om de verliezen te compenseren (Cleveringa e.a., 2004).

1.1.2 Zandsuppleties

Vanaf 1990 wordt de Nederlandse kustlijn gehandhaafd door middel van het uitvoeren van zandsuppleties (Cleveringa e.a., 2004). Hiervoor zijn verschillende uitvoeringsopties mogelijk, zoals zandsuppleties op de stranden (strandsuppleties), in de ondiepe vooroever (vooroeversuppleties) of als megasuppletie. De Zandmotor voor de Delflandse kust is een voorbeeld van een megasuppletie, waarbij een groot volume zand (21 Mm³) op een relatief klein oppervlak is aangebracht. Het aangebrachte zand zou de aanliggende kust over een termijn van decennia van zand moeten voorzien (Stive e.a., 2013). Ten behoeve van het duurzaam meegroeien van het kustfundament wordt onderzoek gedaan naar de locatie en de hoeveelheid van het te suppleren zand. Suppletie in de buitendelta's is een van de mogelijk nieuwe locaties. Cleveringa e.a. (2004) ontwikkelden reeds voorstellen voor zandbuffers in de buitendelta's en Elias e.a. (2012) doen een voorstel voor een megasuppletie in de buitendelta. Een mogelijk voordeel van deze werkwijze zou een 'natuurlijke' aanvoer van zand naar de Waddenzee kunnen zijn. Echter, een mogelijk nadeel zou een aantasting kunnen zijn van het functioneren van de buitendelta waar de suppletie heeft plaatsgevonden. Er is tot op heden geen informatie bekend over de invloed van het suppleren van zand in een buitendelta met betrekking tot kustonderhoud, kustveiligheid en behoud van waardevolle natuur.

1.1.3 Mogelijke effecten van suppleties

De omgeving in de kuststrook is niet constant in de tijd. Zowel door natuurlijke oorzaken als door menselijk handelen komen verstoringen voor die de fauna of flora beïnvloeden. Verstoringen, zoals suppleties, kunnen niet alleen zorgen voor een momentane verstoring, maar kunnen aanleiding geven tot langdurige veranderingen in habitatkarakteristieken. Daarnaast hebben ze zowel functionele (bv. trofische cascade effecten in voedselwebben) als structurele (bv. veranderingen in populatie dichtheden en soortenrijkdom) effecten en deze kunnen zowel direct (benthos bedolven onder het zand) als indirect (veranderend aanbod van bentisch voedsel voor vogels en vissen) zijn (Janssen, 2013). De effecten van suppleties zijn mede afhankelijk van de wijze waarop, het materiaal waarmee, het tijdstip, de omvang en frequentie waarmee het werk wordt uitgevoerd.

1.1.3.1 Verstoring

Tijdens de aanleg van de suppletie kan zowel visuele als auditieve verstoring van fauna plaatsvinden. Het gaat hierbij om de aanwezigheid en bewegingen van schepen, voertuigen en mensen waar een verstoring van werking vanuit gaat. Tijdelijk geluidsoverlast kan foeragerende vogels verstoren en het is niet uit te sluiten dat een suppletie invloed heeft op het gebruik van de buitendelta door zeezoogdieren. Mogelijk treedt er tijdens de suppletiewerkzaamheden verstoring op en wordt de mogelijke functie van de buitendelta als foerageergebied door een verlaagd doorzicht en effecten op prooidieren (tijdelijk) verminderd (Schipper en van Dalssen, 2017).

In het Natura 2000-beheerplan Noordzeekustzone (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016) is een voorschrift opgenomen om verstoring van schelpdieretende vogels te mitigeren: "Schepen die zand suppleren, houden minimaal 500 meter afstand van vogelconcentraties van topper, eidereend en zwarte zee-eend." In het Uitvoeringsprotocol pilotsuppletie Ameland-er Zeegat (Arcadis, 2017; RWS Zee en Delta, 2018) is dit voorschrift overgenomen. Daarnaast is ook opgenomen dat: "De schepen die het zand transporteren dienen een afstand van minimaal 1.500 meter van concentraties op zandplaten rustende zeehonden en rustende en/of foeragerende roodkeelduikers en parelduikers in acht te nemen." Voor zeehonden zijn deze afstanden echter gebaseerd op een onderzoek naar kleine recreatievoertuigen (Brasseur en Reijnders, 1994) en bestaan er geen richtlijnen voor dieren in het water. Wanneer bovenstaande voorschriften worden toegepast kan daarom niet met zekerheid worden gesteld dat de verstoring niet leidt tot een effect op de staat van instandhouding van genoemde soorten. Ook zijn er voorwaarden gesteld aan het gebruik van geluidsapparatuur en aan werkverlichting.

1.1.3.2 Afdekking

Het effect van begraving van de benthische gemeenschap is afhankelijk van de diepte van de suppletie, tolerantie van de organismen, tijd van afdekking, sedimenteigenschappen en temperatuur (Baptist e.a., 2009). In het algemeen geldt dat het effect van begraving grotendeels afhankelijk is van

de mobiliteit van de organismen. Sessiele organismen, welke niet of nauwelijks in staat zijn zich te verplaatsen, zijn kwetsbaarder dan mobiele organismen en kunnen sterven aan een zuurstoftekort. Het benthos kan echter in zekere mate omgaan met de sedimentatie die onder natuurlijke omstandigheden optreedt als gevolg van wind en de hydrodynamiek. De tolerantie tegen begraving is per soort verschillend en afhankelijk van het type sediment (Birklund en Wijsman, 2005; Baptist e.a., 2009). Daarnaast moet onderscheid gemaakt worden tussen éénmalige suppletie, waarbij soorten in een kort tijdsbestek worden begraven en continue suppletie, waarbij zand over een langere periode wordt aangevoerd. Slechts een gering aantal soorten is in staat om een momentane bedekking door zand van meerdere decimeters te overleven (Bijkerk, 1988). Een review studie van Essink (1993) laat zien dat benthische soorten gevoeliger zijn voor begraving door silt dan door zand (Essink, 1993). Ook blijken grotere soorten over het algemeen beter in staat om zich naar boven te bewegen dan kleinere soorten. Een continue suppletie heeft negatieve effecten wanneer de suppletiesnelheid groter is dan de snelheid waarmee soorten omhoog kunnen bewegen (Baptist e.a., 2009). De snelheid en dikte van bedekking bij een suppletie zal vrijwel in alle gevallen de tolerantiegrens van soorten overschrijden en zal daardoor lokaal leiden tot een grote sterfte onder het aanwezige benthos (Holzhauer e.a., 2014). Naast de fysieke effecten van begraving, spelen ook chemische effecten een rol. Onder zuurstofloze condities wordt onder andere sulfide geproduceerd wat, in combinatie met een weinig zuurstof, dodelijk kan zijn voor benthische organismen (Buzzelli e.a., 2002).

Met betrekking tot het bedekken van bodemdieren wordt er rekening gehouden met schelpdierbanken (*Spisula subtruncata* en *Ensis*) die van belang zijn voor beschermde schelpdieretende zeevogels. In het Uitvoeringsprotocol pilotsuppletie Ameland-er Zeegat (Arcadis, 2017) is opgenomen:

“

1. Suppleties worden zodanig uitgevoerd dat schelpenbanken van levende *Spisula subtruncata* niet bedekt worden met zand.
2. Indien Rijkswaterstaat aantoont dat bedekking met zand van de in artikel 1 genoemde schelpenbanken onvermijdelijk is, worden de uit te voeren suppleties niet gestart in de periode van 1 juni tot 1 maart.
3. De suppleties die schelpenbanken met levende *Ensis* bedekken zijn toegelaten als Rijkswaterstaat aantoont dat er geen negatieve gevolgen zullen zijn voor de voedselvoorziening van zee-eenden.”

In de Passende Beoordeling voor de pilotsuppletie was de verwachting opgenomen dat schelpdierbanken niet voorkomen in het geplande suppletiegebied. Uit de T₀-meting van 2017 is gebleken dat dit inderdaad niet het geval is (paragraaf 2.2).

1.1.3.3 Vertroebeling

Hoge concentraties van fijn sediment kunnen leiden tot vertroebeling van het water. Vertroebeling als gevolg van het aanbrengen van onderwatersuppleties is afhankelijk van de hoeveelheid zand dat gesuppleerd wordt, de kwaliteit van het zand, de methode gebruikt voor de suppletie en de golfenergie (Burlas e.a., 2001). Turbiditeit in het suppletiegebied verdwijnt gewoonlijk binnen enkele uren nadat de activiteiten zijn gestopt (Van Dolah e.a., 1992). Nichols e.a. (1978) observeerden dat sedimentpluimen gelimiteerd zijn tot het suppletiegebied en binnen twee uur na beëindiging van de activiteiten verdwijnen (Nichols e.a., 1978). Daarnaast treedt vertroebeling eveneens op als natuurlijk fenomeen tijdens storm. Bodemdiergemeenschappen in bijvoorbeeld de vooroever zijn daar tegen bestand (Burlas e.a., 2001). Echter, volgens sommige studies kan, in bepaalde milieus, de zichtbaarheid zeven jaar na afloop van een suppletie nog negatief beïnvloed worden (Hurme en Pullen, 1988). Aggregatie van sediment kan leiden tot langdurige afgifte van sediment met een langdurig verhoogde turbiditeit als gevolg (Reilly en Bellis, 1978).

Greene (2002) en Speybroeck e.a. (2006) bespreken de resultaten van verschillende studies uitgevoerd naar het effect van vertroebeling van het water. Verhoogde turbiditeit zou kunnen leiden tot het verminderen van fotosynthese activiteiten, kieuwen van vissen kunnen beschadigd raken, sessiele organismen kunnen bedekt raken onder het sediment, vissen sterven door anoxia en er is verminderde lichtpenetratie door het water. Dit laatste kan leiden tot verlaagde primaire en secundaire productie wat weer kan leiden tot substantiële veranderingen in het gehele voedselweb (Nelson en Dickerson, 1989).

Vertroebeling door suppleties zou ook een positief effect kunnen hebben op bepaalde soorten; juveniele Chinookzalm vertoont een verhoogde voedselopname van plankton bij verhoogde turbiditeit (Gregory en Northcote, 1993). Daarnaast biedt het bescherming voor vis tegen visuele predatoren (Gregory en Northcote, 1993; Beyst e.a., 2002). Een detailstudie in het IJsselmeer (van Rijn en van Eerden, 2001) heeft laten zien dat aalscholvers last hebben van te grote troebelheid. Dit uitte zich zowel op de korte termijn (opzoeken van luw water met relatief goed doorzicht bij storm), als op de lange termijn (afname aantallen broedvogels langs permanent troebeler geworden wateren). Echter, vogels die vis vangen door van hoogte in het water te duiken, plonsduikers zoals (grote) sterns, zouden troebel water prefereren (Henkel, 2006). Eriksson (1985) suggereert dat vissen zich wellicht veiliger wanen bij verhoogde troebelheid en hoger in de waterkolom gaan zwemmen. Dat maakt de vissen makkelijker vangbaar voor plonsduikers (Leopold en Baptist, 2007).

Langdurige vertroebeling van het water kan een negatief effect hebben op de voedselopname van filterende schelpdieren (Wijsman e.a., 2012). Bij toenemende concentraties zwevend stof zal er meer pseudofaeces worden geproduceerd waardoor er minder voedsel (algen) kan worden opgenomen. Naarmate de toename in zwevend stof als gevolg van een suppletie langer duurt, kan dit effect hebben op de groei en ontwikkeling van de schelpdieren en dit kan weer een effect hebben op vis en vogels die afhankelijk zijn van schelpdieren als voedselbron. Echter, Schellekens en Witbaard (2012) konden voor de grootschalige zandwinning op de Noordzee geen wezenlijk effect aantonen van vertroebeling en verandering in chlorofyl op de groei en ontwikkeling van *Ensis* op de langere termijn, terwijl er wel een korte-termijn effect is van verhoogde slibconcentratie op voedselopname.

Er zijn bij de pilotsuppletie in het Amelander Zeegat metingen verricht naar troebelheid tijdens het suppleren, de data zijn echter voor ons nog niet beschikbaar. Het is daardoor nog niet mogelijk deze mee te nemen in het bespreken van mogelijke effecten op het ecosysteem. De verwachting is echter dat in een systeem waar door de grote hoeveelheden zand die onder natuurlijke omstandigheden op de getijstroom getransporteerd worden al veel vertroebeling is, de eventuele extra vertroebeling door de suppletie niet tot merkbare verandering zal leiden.

1.1.3.4 Korrelgrootte

Sedimentsamenstelling beïnvloedt de structuur en het functioneren van een ecosysteem (Rodil en Lastra, 2004) en het is daarom een belangrijk aspect in het beoordelen van de ecologische effecten van suppleties (Speybroeck e.a., 2006). Verandering in sedimentsamenstelling door suppleties hebben gevolgen voor de organismen die leven in het sediment (Janssen, 2013). Experimenten met strandfauna tonen aan dat er sprake is van soort-specifieke preferenties voor sedimentsamenstelling (Van Tomme, 2013). Het vlokreeftje *Bathyporeia pilosa* geeft de voorkeur aan sediment met een kleinere gemiddelde korrelgrootte (125 - 250 µm), terwijl *Scolelepis squamata* juist grover (180 - 500 µm) sediment prefereert. Ook vis zoals juveniele tong (Post e.a., 2017) en zandspiering (Holland e.a., 2005) blijkt een voorkeur te hebben voor bepaalde sedimenttypes. Uit een review van verschillende studies blijkt dat verandering in korrelgrootte is gecorreleerd met een afname van soortenrijkdom en een verschuiving in de benthische gemeenschap (Speybroeck e.a., 2006). Een geringe afwijking van het suppletiesediment met een grotere kleifraction dan het oorspronkelijke sediment levert problemen op voor het ingraven van strandfauna (Janssen, 2013). Modelberekeningen tonen aan dat de biodiversiteit van strandfauna met 10% afneemt wanneer de gemiddelde korrelgrootte van het suppletiezand 50 µm afwijkt van de oorspronkelijk aanwezige waarde (Van Tomme, 2013). In 2013 is er bij Callantsoog een vooroever-suppletie uitgevoerd. Bij metingen in 2015 bleek hierdoor het lokale sediment grover te zijn geworden (gemiddelde mediane korrelgrootte 286 µm) dan het omliggende gebied (gemiddelde mediane korrelgrootte 224 µm). Het effect hiervan was terug te vinden in de bodemdiergemeenschap, die werd gekenmerkt door opportunistische soorten die goed tegen verstoringen kunnen (Wijsman en Craeymeersch, 2016).

1.1.3.5 Herstel gemeenschap

Het ecologische effect van begraving van benthische soorten is afhankelijk van het belang van de soorten in de voedselketen, het oppervlak dat bedekt is en de herstelsnelheid van de soortengemeenschap na de verstoring (Holzhauer e.a., 2009). Na een verstoring zoals een suppletie, komt successie op gang: de geordende en in zekere mate voorspelbare opeenvolging in de tijd van

verschillende soorten (Herman e.a., 2016). Na een sterke verstoring wordt een vrijgekomen nicheruimte ingenomen door kortlevende opportunistische soorten met een hoge reproductie- en verspreidingscapaciteit (r-strategen). In korte tijd vormen ze een stabiel populatieniveau dat gelimiteerd wordt door de draagkracht of door predatie. Deze soorten zijn ingesteld op een dynamisch milieu waarbij de bovenste laag van het zand regelmatig wordt omgewoeld door golfactie en waar organisch materiaal slechts sporadisch tot bezinking komt. Na de eerste fase worden deze soorten opgevolgd door K-strategen, welke beter gespecialiseerd zijn in het gebruik van de voedselbron en beter kunnen concurreren. Uiteindelijk stelt zich een evenwichtsgemeenschap in. De tijd die nodig is om volledig te herstellen van een verstoring, verschilt per type gemeenschap. Gemeenschappen met opportunistische soorten herstellen sneller dan gemeenschappen met grote, traag reproducerende en concurrerende soorten (Herman e.a., 2016). Daarnaast kunnen er processen van facilitatie optreden: de ene soort kan substraat vormen voor een andere soort ('biobouwen' of 'ecosystem engineering'). Intra- of interspecifieke facilitatie treedt op wanneer soorten de fysische omgeving waarin ze voorkomen veranderen, waardoor die omgeving geschikter wordt voor andere organismen. Dit geeft aanleiding tot een zelfversterkend effect, waarin het voortbestaan of verder ontwikkelen van een gemeenschap afhangt van het reeds voorkomen van de biobouwer (Herman e.a., 2016).

Baptist e.a. (2009) bespreken de resultaten van studies naar herstel van bodemfauna bij suppletie, zowel in Nederland als internationaal. Zij concluderen dat herstel van bodemfauna vrij snel verloopt waarbij veel soorten circa 1 jaar nodig hebben voordat biomassa en dichtheid hersteld is tot het niveau voor de verstoring. Ook de resultaten van een suppletie op de vooroever van Ameland, met als referentiegebied de vooroever van Schiermonnikoog, tonen aan dat opportunistische soorten binnen 1 tot 2 jaar na suppletie rekoloniseren en in vergelijkbare aantallen en biomassa's aanwezig zijn als voorafgaand aan de suppletie (Vergouwen en Holzhauer, 2016). Het herstel van de biomassa van langer levende soorten zoals tweekleppigen duurt langer, mogelijk 2 tot 5 jaar. Langdurigere effecten worden alleen geobserveerd als er iets aan het fysisch-morfologisch systeem wordt veranderd, zoals een langdurige verandering van korrelgrootte (Vergouwen en Holzhauer, 2016). In dit geval treedt wel faunaontwikkeling op, maar de gemeenschap keert niet terug naar dezelfde samenstelling als aanwezig was voor de suppletie (Baptist e.a., 2009). Sommige onderzoekers suggereren dat deze veranderingen in geomorfologie en sedimentsamenstelling een grotere invloed hebben op herstelmogelijkheden van invertebraten dan de directe effecten van bedelving of sterfte (Greene, 2002). Echter, zonder lange termijn datasets over natuurlijke fluctuaties in ecosystemen, kan de variabiliteit daarin ten onrechte worden aangezien voor toestanden van verstoring en herstel (Palumbi et al 2008). Het is daarom van groot belang om meerjarige datareeksen te verzamelen.

1.1.4 Pilotsuppletie en gerelateerd ecologisch meetprogramma

Rijkswaterstaat heeft besloten om in 2018 een pilotsuppletie uit te voeren in de buitendelta van het Amelander Zeegat als onderdeel van het onderzoeksprogramma 'Kustgenese 2.0' (KG-2). Het doel van de pilotsuppletie was de kennis te vergroten van de uitvoerbaarheid en effectiviteit van grootschalige suppleties in buitendelta's. De suppletie werkzaamheden zijn gestart in maart 2018 en begin 2019 is in totaal 5 miljoen m³ zand gesuppleerd. Voortgang van de werkzaamheden is weergegeven in Figuur 2.3.

Voorafgaande aan de pilot heeft Rijkswaterstaat een inventarisatie laten uitvoeren met als doel inzicht te krijgen in de kennis van de natuurwaarden van de diepere vooroever van de Noordzeekustzone en die van de buitendelta's (van Dalfsen, 2016). Tevens diende deze inventarisatie om een overzicht te geven van uitgevoerde en lopende studies die bijdragen aan de ecologische kennis van de buitendelta's van de Waddenzee. Daarnaast heeft het Ministerie van Economische Zaken in 2016 een QuickScan laten uitvoeren naar het (ecologisch) functioneren van de buitendelta's (Leopold en Baptist, 2016). Beide studies maakten duidelijk dat de kennis over het functioneren van de buitendelta's van het waddengebied zeer gering was.

Derhalve is binnen het onderzoeksprogramma 'Kustgenese 2.0' het morfologisch meetprogramma KG-2 (Elias en Oeveren-Theeuwes, 2016) en het meetprogramma Ecologie Buitendelta Amelander Zeegat gestart. Het ecologische meetprogramma heeft als doel om aan te tonen wat het effect is van de suppletie op de buitendelta op het ecologisch functioneren van dit gebied. Daarnaast helpt het om de

kennis van het ecologisch functioneren van de buitendelta's te vergroten en daarmee bij te dragen aan het begrijpen en voorspellen van effecten op specifiek het ecosysteem buitendelta. Dit is tevens van belang voor de wisselwerking tussen de Natura 2000 gebieden Noordzeekustzone en Waddenzee.

Onderdeel van dit ecologische meetprogramma (Schipper en van Dalftsen, 2017) was een T₀-meting, welke is uitgevoerd in het najaar van 2017 (van Hal, 2017; Verduin en Leewis, 2018). Dit was gelijktijdig gepland met het overige veldwerk voor het morfologische meetprogramma als onderdeel van KG-2. Vervolgens was het vanwege voorlopige resultaten gewenst aanvullende gegevens te verzamelen voor de start van de suppletiewerkzaamheden. Dit is deels gelukt met een aanvullende benthosbemonstering in maart 2018 (van Dalftsen, 2018), echter lukte dit vanwege logistieke redenen en de voorkeur te bemonsteren na de broedperiode van grote sterns niet voor zandspieren, welke aanvullend in juni 2018 zijn bemonsterd (van Hal, 2018). Het doel van deze T₀-metingen was het vaststellen van de ecologische uitgangssituatie voorafgaand aan het uitvoeren van de suppletie. Met de T₀-metingen is een basis gelegd voor het kunnen bepalen van het effect van de suppletie op de ecologie van de buitendelta van het Ameland Zeegat. De T₀-metingen hebben tevens bijgedragen aan het begrijpen en voorspellen van effecten van ingrepen op het ecosysteem van de kust als geheel. Daarnaast waren de doelen het vergroten van de ecologische kennis van buitendelta's en het verzamelen van kennis die noodzakelijk is vanuit het perspectief van de vergunningverlening in het kader van de Natura 2000 wetgeving.

De nadruk van de ecologische T₀-meting lag op zandspieren en macrozoobenthos, waarvan verondersteld is dat dit goede indicatorsoorten zijn voor de beschrijving van de mariene levensgemeenschap (Leopold en Baptist, 2016; van Dalftsen, 2016).

Naast dit speerpunt dient het meetprogramma, vanuit het perspectief van de vergunningverlening in het kader van de Natura 2000 wetgeving, ook inzicht te geven in het gebruik van buitendelta's door doelsoorten als sommige vogels en zeezoogdieren. Daarbij wordt gekeken naar de verspreiding van zeevogels en zeezoogdieren in relatie tot fysische kenmerken van de buitendelta en wat voor effect een zandsuppletie mogelijk heeft op deze soorten.

1.1.5 Aansluiting bij andere meetprogramma's in de buitendelta

Het meetprogramma Ecologie Buitendelta Ameland Zeegat sluit aan bij verschillende projecten die in dit hoofdstuk beknopt beschreven worden (Schipper en van Dalftsen, 2017).

Meetprogramma	Omschrijving
Morfologisch Meetprogramma Kustgenese-2.0 (KG-2)	Onderzoek uitgevoerd naar de morfologische systeemkennis over zeegaten en de factoren die daarbij van belang zijn voor buitendelta's. Het programma KG-2 vormt een zusterproject van het Ecologisch Meetprogramma Buitendelta Ameland.
Ecologisch Gericht Suppleren I (EGS-1)	Onderzoek naar de lange termijn effecten van suppleren en maatregelen voor de kustveiligheid op de ecologie van de Nederlandse kust. In EGS-1 (2009-2015) is vooral de vooroever bij Ameland en Schiermonnikoog bemonsterd. In het vervolg EGS-2/Natuurlijk Veilig (2015-2021) zijn meerdere kustvakken langs de Nederlandse kust bemonsterd, waaronder Ameland en Schiermonnikoog.
Ecologisch Gericht Suppleren II (EGS-2)	
SEAWAD	SEAWAD is een programma waarbij voornamelijk deelonderzoek 4 goed aansluit bij het Ecologisch Meetprogramma Buitendelta Ameland. Het onderzoek richt zich op de relatie tussen het voorkomen van bodemdieren en sturende omgevingsvariabelen onder verschillende omstandigheden (gemiddelde, extreme en door de mens aangepaste). Deze relatie wordt vervolgens toegepast in een modelomgeving om zo een voorspelling te kunnen maken van het effect van een suppletie op de bodemdiergemeenschap in de ondiepe kustzone.

Meetprogramma	Omschrijving
EZ Meetprogramma Noordzeekustzone/Wadden	Onderzoek naar het gebruik van de Buitendelta's door visetende vogels. Doel is te achterhalen in hoeverre veranderingen in de buitendelta's door bijvoorbeeld suppleties kunnen leiden tot effecten op populaties van visetende vogels.
Demersal Fish Survey (DFS)	In dit programma worden jaarlijks (in september) bodemvissen gevangen met behulp van een garnalenkor.
Monitoring schelpdierbestanden (WOT)	In dit programma, wordt jaarlijks (april-juli) voor de Noordzeekustzone en in de Waddenzee het epibenthos en de schelpdieren bemonsterd met behulp van een bodemschaaf.
WOT Ensis	WOT onderzoek aanvullend op sublitorale mosselsurvey 2017. Additionele stations voor <i>Ensis</i> bemonstering.
Sublitorale Mosselsurvey	Inventarisatie van het sublitorale mosselbestand in de westelijke Waddenzee.
Voordelta Onderzoek (PMR)	In het monitoringsprogramma Mainportontwikkeling Rotterdam wordt veel ecologische informatie (benthos, vogels, vis, abiotiek, visserij) verzameld om de compensatie voor de aanleg van de Tweede Maasvlakte te evalueren.
MWTL vogelonderzoek	In dit programma worden vogelwaarnemingen uitgevoerd die informatie leveren over de aanwezigheid van specifieke soorten vogels in de buitendelta's.
Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands (MWTL)	Langlopende monitoring van het macrobenthos op het NCP waarbij boxcoremonsters worden genomen van macrofauna en sediment. Enkele stations van dit programma bevinden zich in de Noordzeekustzone. In 2015 is gestart met een aanvullende monitoring van het epibenthos.
NIOZ SIBES (Synoptic Intertidal Benthic) Survey	In dit programma wordt jaarlijks de macrobenthos van de intergetijdse platen van de Waddenzee bemonsterd. Er bevinden zich echter geen monsterlocaties in de buitendelta van het Amelanders Zeegat.

1.2 Doelstelling

In deze syntheserapportage wordt een overzicht gegeven van de ecologische onderzoeksgegevens verzameld tijdens de T₀-metingen in 2017 en 2018 waarbij de oorspronkelijke overkoepelende onderzoeksvragen van de T₀-meting leidend zijn (Schipper en van Dalen, 2017). De rapportage vindt plaats vanuit een integrale beoordeling van de ruimtelijke en temporele variatie in het benthos en het voorkomen van bodemvissen in de buitendelta van het Amelanders Zeegat.

De overkoepelende onderzoeksvraag voor de T₀-meting ecologisch onderzoek buitendelta Amelanders Zeegat luidt (Schipper en van Dalen, 2017):

- "Wat zijn de kenmerken en natuurwaarden van het (eco)systeem van de buitendelta's van de waddenkust en wat zijn mogelijke effecten van suppleties op dit ecosysteem?"

Daarnaast zijn enkele deelonderzoeksvragen geformuleerd die betrekking hebben op specifieke doelgroepen:

- "In hoeverre is de verspreiding van benthische habitats en de soortensamenstelling over het Amelanders Zeegat vergelijkbaar met die in de ondiepe kustzone van de Waddeneilanden, en is een suppletie van 5 tot 6 Mm³ hierop van invloed?"
- "Wat is de samenstelling van de visgemeenschap in tijd en ruimte in het gebied van de buitendelta van het Amelanders Zeegat en is een suppletie van 5 tot 6 Mm³ hierop van invloed?"
- "Zijn er vogelsoorten waarvoor de buitendelta van het Amelanders Zeegat een belangrijk rust- en foerageergebied vormt en zo ja, is er een relatie tussen de verspreiding over en het

gebruik door vogels van deze buitendelta en specifieke onderdelen van de buitendelta en is een suppletie van 5 tot 6 Mm³ hierop van invloed?”

- “Vormen de buitendelta’s belangrijke foerageergebieden voor de grijze zeehond, de gewone zeehond en de bruinvis en zo ja, is er dan een relatie tussen het gebruik als foerageergebied en specifieke onderdelen van de buitendelta en is een suppletie van 5 tot 6 Mm³ hierop van invloed?”

De onderzoeksgegevens uit het meetprogramma zijn waar mogelijk aangevuld met gegevens uit andere meetprogramma’s in het gebied en vergeleken met de beschikbare data van andere buitendelta’s.

1.3 Afbakening

De overkoepelende onderzoeksvraag richt zich op het ecologisch functioneren van de buitendelta van het Amelanders Zeegat. Op basis van de meetstrategie opgesteld in 2017 is een keuze gemaakt ten aanzien van het onderzoek dat zal worden uitgevoerd binnen de T₀-meting (Schipper en van Dalssen, 2017). Restricties in budget en tijd hebben er toe geleid dat het zwaartepunt in de meetstrategie van 2017 is komen te liggen op zandspiering en benthos:

- **Benthos:** de focus van de T₀-meting is op het onderzoeken van de verspreiding van het benthos in het Amelanders Zeegat in combinatie met het verzamelen van data van relevant geachte fysische parameters (mediane korrelgrootte, diepte en het organisch stof gehalte).
- **Vissen:** zandspiering is een belangrijke prooi-soort voor vogels en zeezoogdieren. Daarom lag de focus van de T₀-meting is op het onderzoeken van de verspreiding van zandspiering in combinatie met het verzamelen van data van relevant geachte fysische parameters (diepte, temperatuur en conductiviteit/saliniteit).

Naast bovenstaande meetgegevens zijn er geen specifieke data verzameld tijdens de nulmeting voor het beantwoorden van de onderzoeksvragen voor de overige ecosysteemcomponenten en daarmee zijn er dus slechts beperkt aanvullende gegevens bekend ten opzichte van de data al beschreven in het meetplan (Schipper en van Dalssen, 2017). Hierdoor beperkt de reikwijdte van deze synthese zich voor de overige componenten (visgemeenschap, vogels en zeezoogdieren) tot voornamelijk literatuurstudie en expert judgement. Een uitzondering hierop is dat voor een inschatting van het gebruik van de buitendelta door zeehonden gebruik is gemaakt van bestaande tel- en zenderdata die in het kader van deze synthese geanalyseerd zijn voor het gebied Amelanders Zeegat.

2 Ecologisch functioneren van het Amelander Zeegat

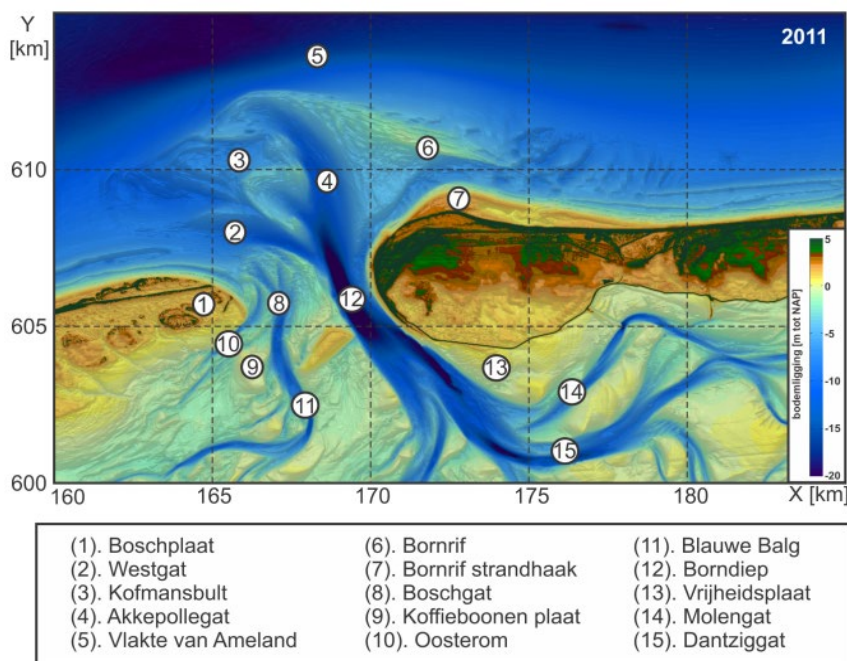
De Waddenzee is verbonden met de Noordzee via de zeegaten tussen de Waddeneilanden en volkomen afhankelijk van de aan- en afvoer van water, sediment, nutriënten, plankton en de migratie van dierlijk leven (van groot tot klein). Door golven en getijdestromingen vormen de zeegaten een dynamisch habitat voor verschillende soorten (Elias e.a., 2012; van Dalssen, 2016).

In de zeer dynamische buitendelta's van de Waddenzee heeft tot op heden beperkt onderzoek plaatsgevonden. Er vindt geen reguliere monitoring plaats in de buitendelta's wegens slechte begaanbaarheid en metingen aan fysische parameters zoals golfwerking, stroming en sedimentsamenstelling zijn schaars.

2.1 Stroming, diepte en sediment

2.1.1 Algemeen

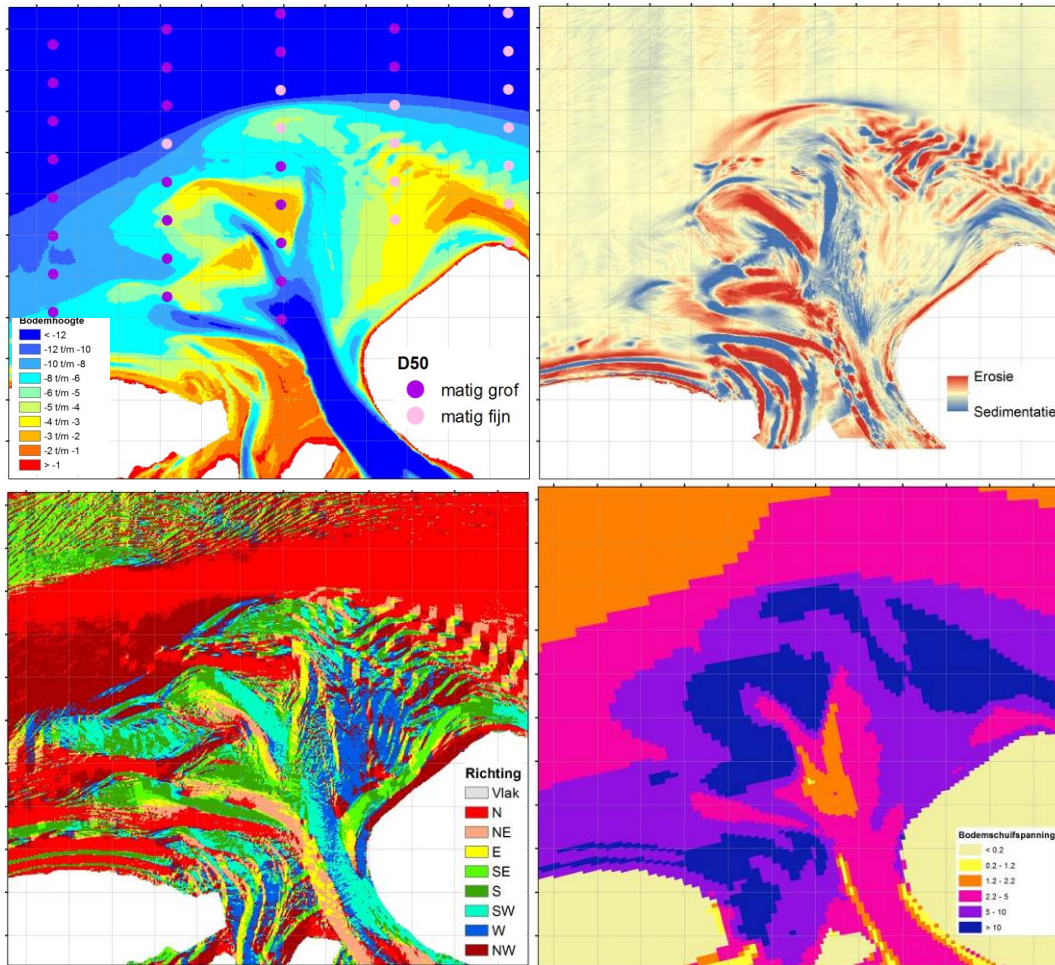
Het Amelander Zeegat (Figuur 2.1, Figuur 2.2) bestaat uit een diepe geul aan de oostkant tegen Ameland met smallere vertakkingen naar het westen en noordoosten in de buitendelta, met daartussen ondiepe platen (Figuur 1.2). De waterdiepte varieert van droogvallende platen tot een waterdiepte van rond de 25 meter in de diepe geul.



Figuur 2.1: Bathymetrie van het Amelander Zeegat in 2011. Uit Fu (2018).

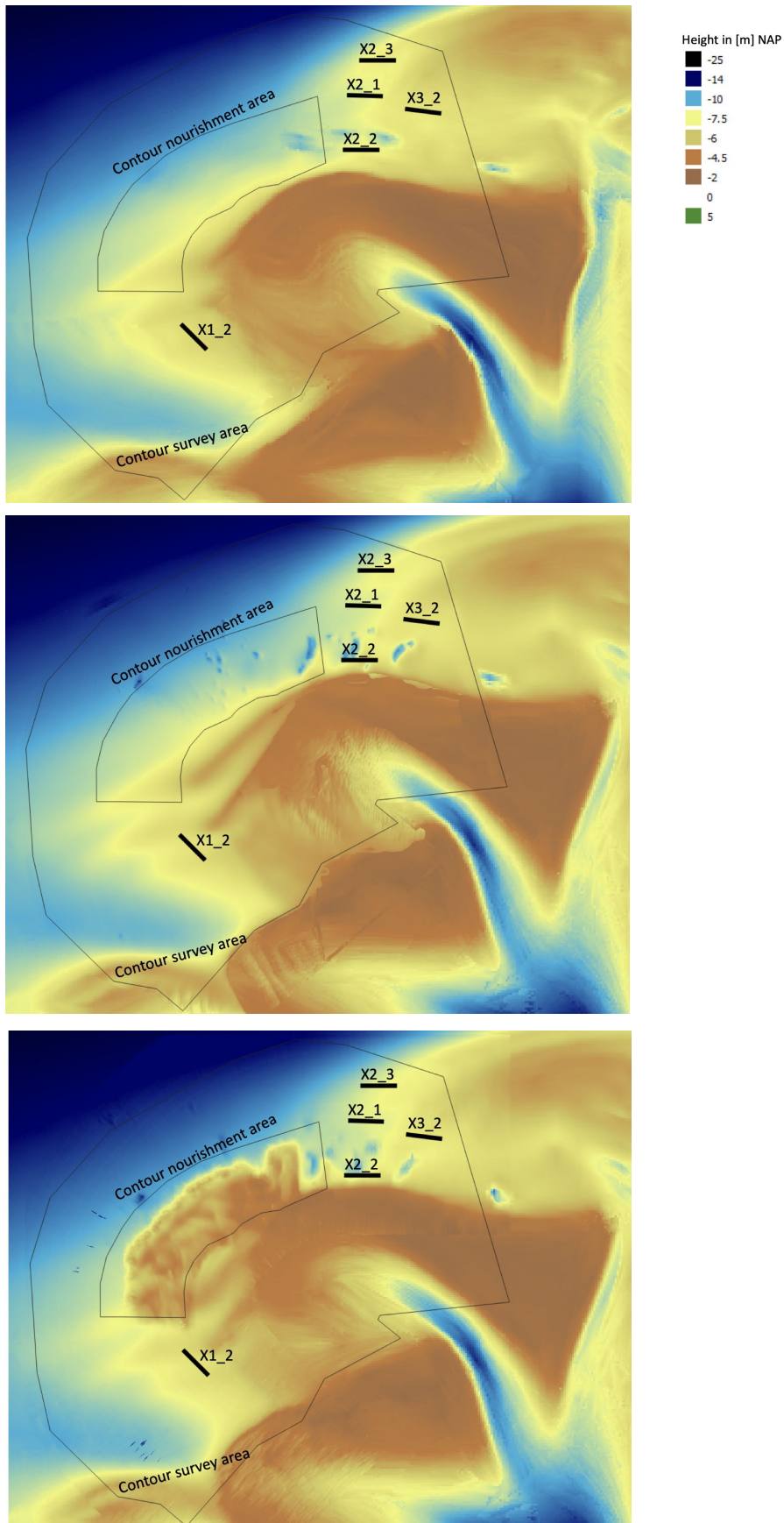
De sturende kracht hierin is de getijstrooming, welke samen met wind en golfwerking het transport van sediment bepaalt en daarmee grotendeels de processen van sedimentatie en erosie. Dat hierbij in relatief korte tijd grote hoeveelheden zand worden verplaatst is zichtbaar in recente bathymetrie kaarten van kort voor de suppletie, en tijdens de suppletieactiviteiten (Figuur 2.3). Met name de verandering in de diepere putten (10-14 m), zichtbaar aan de oostkant en verder oostelijk van de suppletielocatie suggereert de verplaatsing van grotere hoeveelheden zand. Deze grote hoeveelheden zand die in de waterkolom terecht komen hebben weer effect op de troebelheid en het doorzicht van het water.

Tijdens de verplaatsing van het sediment, van Noordzee naar Waddenzee en omgekeerd, vindt sortering plaats waarbij de zwaarste deeltjes in de geulen bezinken en de lichtere deeltjes verder naar buiten. Hierdoor ontstaat een verscheidenheid aan sedimenten met een "binnenring" van grove zanden en een "buitenring" van fijner sediment (Leopold en Baptist, 2016). Maar op plaatsen waar de golfenergie hoog is zal het fijnere sediment uitspoelen en resteert grover sediment (Figuur 2.2).

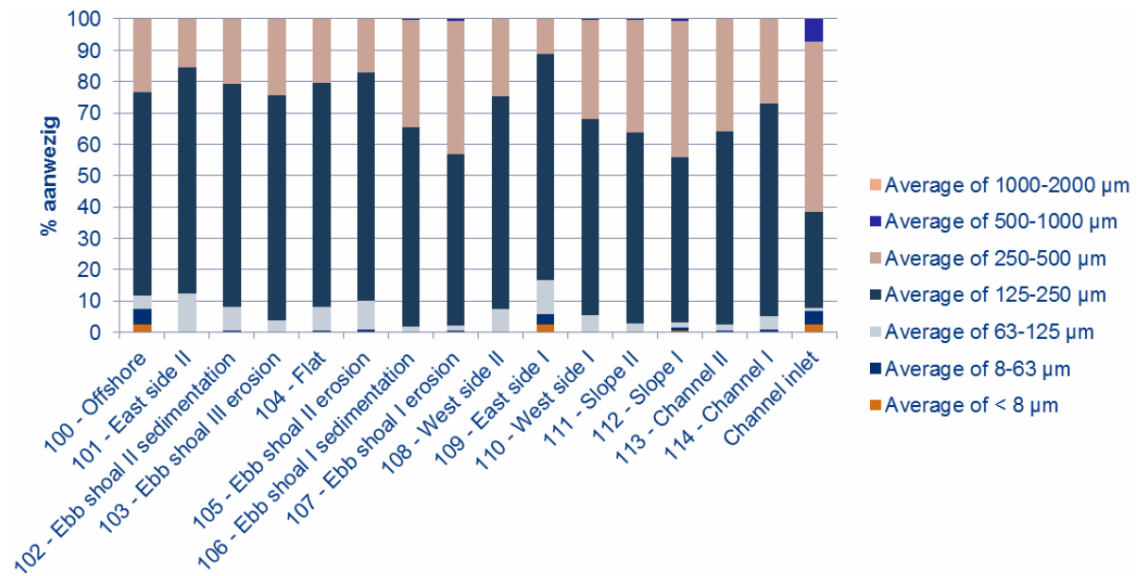


Figuur 2.2: Diepte (m) en gemiddelde korreldeur (D50), sedimentatie/erosie, richting van de hellingshoek en de bodemschuifspanning in het Amelander Zeegat (Holzhauer, 2017).

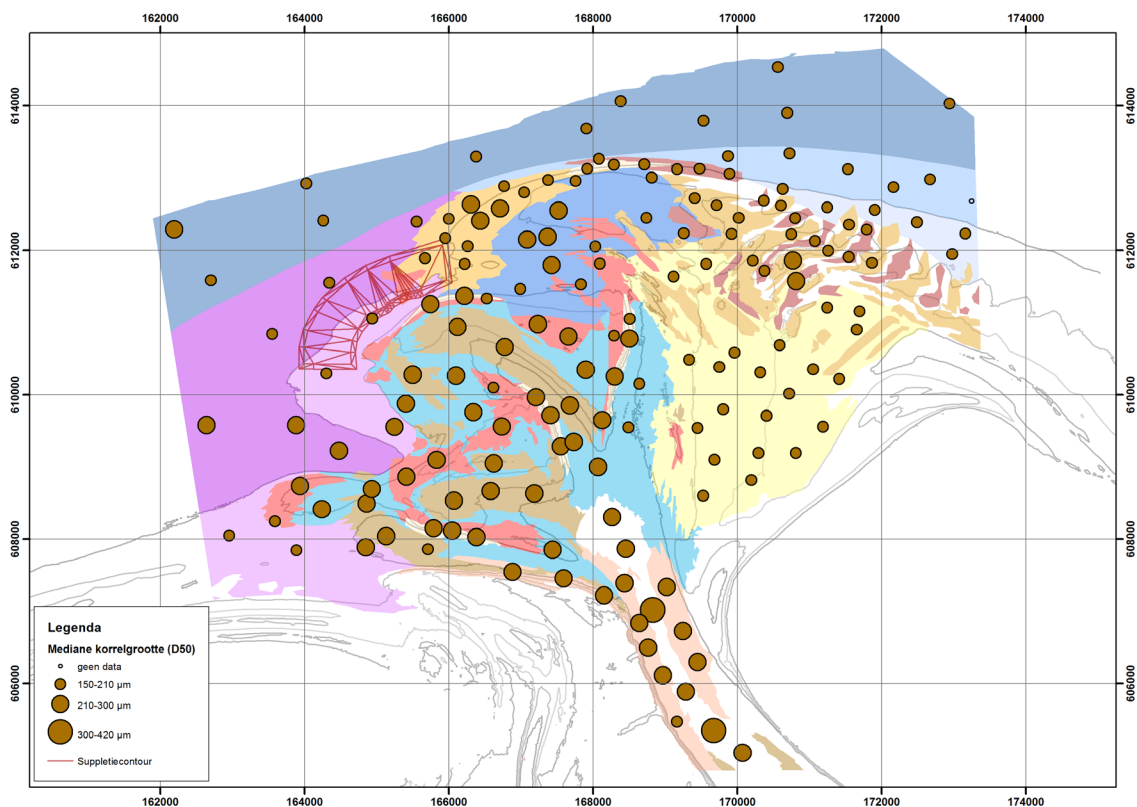
Tijdens de T_0 -meting van het macrozoobenthos in het Amelander Zeegat in september 2017 zijn sedimentmonsters verzameld (Verduin en Leewis, 2018). Deze monsters geven een gedetailleerder beeld en laten zien dat het sediment in het Amelander Zeegat voornamelijk bestaat uit fijn (125-250 μm) tot matig fijn (250-500 μm) zand (Figuur 2.4, op basis van de Wentworthschaal). Het sediment in de Borndiep/ebgeul is wat grover dan de andere gebieden en bestaat voor 60% uit zand > 250 μm . Van deze 60% bestaat iets minder dan 10% uit grof zand (500-1000 μm). Dit grove zand is in de gebieden buiten Borndiep niet of nauwelijks aangetroffen. Daarnaast werden in de ebgeul grote hoeveelheden schelpengruis aangetroffen. De aanwezigheid van het grovere materiaal is te relateren aan de grote stroomsnelheid in de ebgeul waardoor het fijnere zand wordt weggespoeld. De meer oostelijk gelegen gebieden in het Amelander Zeegat bestaan uit fijnzandiger materiaal (Figuur 2.7). De ruimtelijke verspreiding van het sediment is weergegeven als de mediane korrelgrootte (D50) (Figuur 2.5).



Figuur 2.3: Bathymetrie in het Amelandier Zeegat. Boven: najaar 2017, midden: 10 maart 2018, onder: 18 oktober 2018. Bron: RWS.

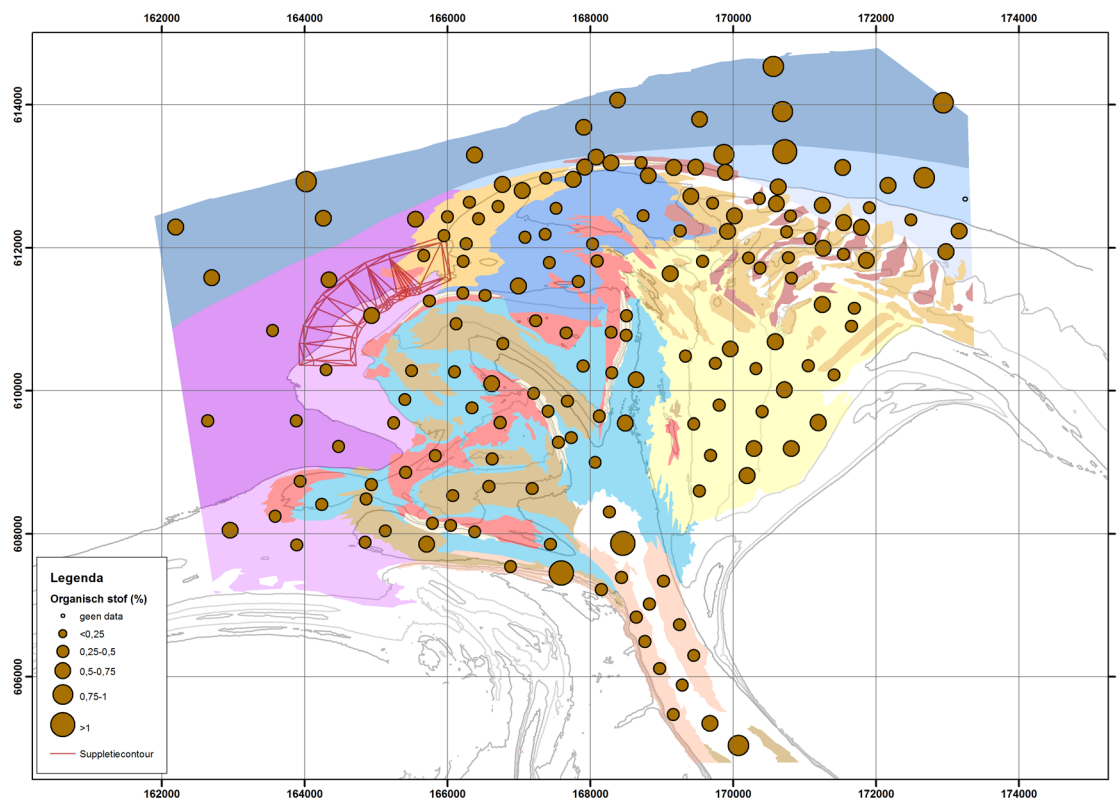


Figuur 2.4: Procentuele verdeling van de aanwezige korrelgroottes in de verschillende habitats (Figuur 2.7) in het Ameland Zeevat (Verduin en Leewis, 2018), indeling klassen op basis van de Wentworthschaal.



Figuur 2.5: Mediane korrelgrootte (D50) in het Ameland Zeevat september 2017 op basis van de NEN 5104 classificatie (suppletielocatie indicatief ingetekend, voor definitieve locatie zie Figuur 2.3) (Verduin en Leewis, 2018).

Op basis van de sedimentmonsters is ook het gehalte organische stof bepaald. Het organisch stof gehalte is zeer laag (<1%) en sterk gecorreleerd aan de mediane korrelgrootte. Ondanks dit lage gehalte is er verschil in verspreiding, het is hoger in de fijnere sedimenten in de meer oostelijk en offshore gelegen locaties dan in de stroomgeul en de westelijke platen (Figuur 2.6). Het percentage organische stof verschilt niet tussen de monsters van de suppletielocatie en vergelijkbare gebieden.

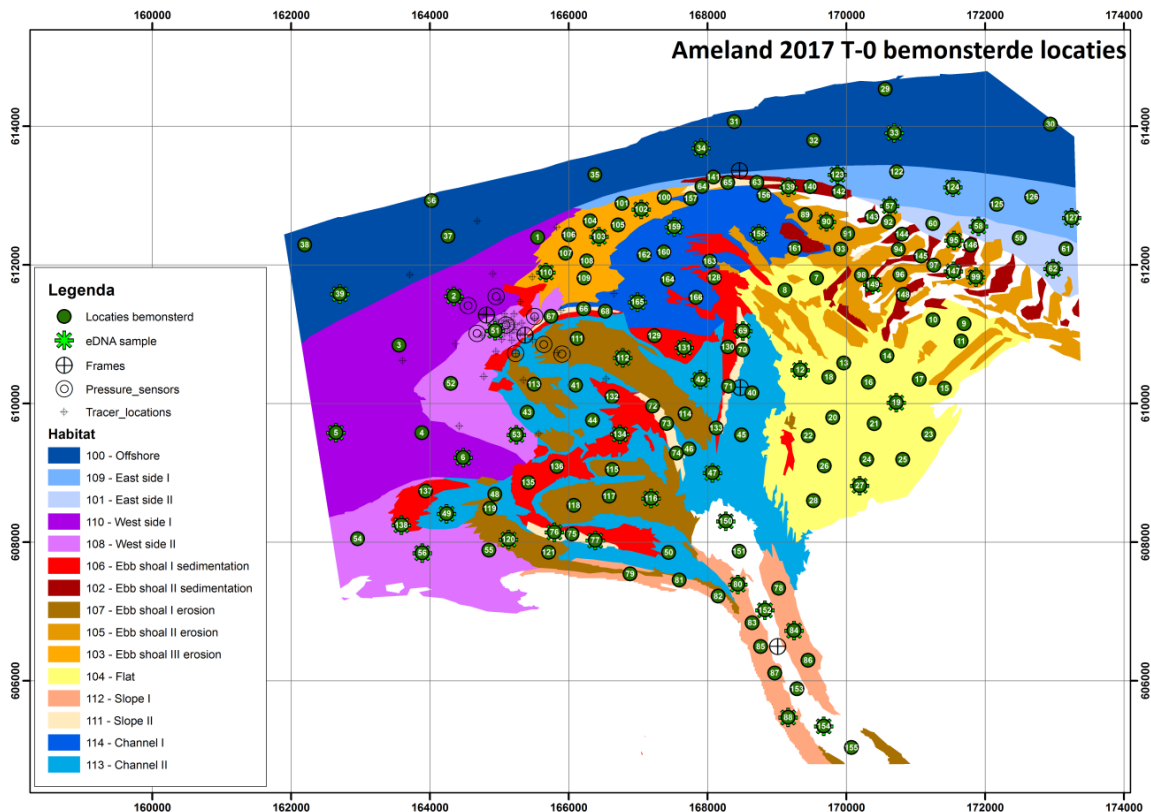


Figuur 2.6: % organische stof in het Ameland Zeevat in september 2017 (suppletielocatie indicatief ingetekend, voor definitieve locatie zie Figuur 1.2) (Verduin en Leewis, 2018).

2.1.2 Habitats

Op basis van de bathymetrie (Vaklodingen Rijkswaterstaat), helling, hellingsrichting, en sedimentatie erosie en stromingsgegevens uit modellering (Figuur 2.2) is door middel van groepering een indeling gemaakt van het Ameland Zeevat in acht verschillende deelgebieden, hier verder 'habitats' genoemd (Holzhauer, 2017). Deze acht habitats zijn verfijnd op basis van hydrodynamiek en sedimentsamenstelling en de geografisch ligging (oost/west) (Figuur 2.7).

De suppletielocatie bevindt zich op basis van deze groepering binnen vier van de habitats (West side I, West side II, Ebb shoal I sedimentation, Ebb shoal III erosion). Op de uiteindelijke suppletielocatie zijn drie monsters genomen. De samenstelling van het sediment van deze drie monsters is vergelijkbaar met de sedimentsamenstelling in de vergelijkbare habitats buiten de suppletielocatie; er is geen significant verschil in korrelgrootte (D10, D50, D90) aangetoond (Verduin en Leewis, 2018). Op basis van eerdere onderzoeken is gesuggereerd dat sedimenttype een goede voorspeller is voor de kwaliteit van een habitat, omdat dit samenhangt met de dichtheid aan bodemdieren en de mogelijkheid voor vissen om zich in te graven (Baptist e.a., 2017). Een hoge dichtheid van bodemdieren zoals kreeftachtigen, borstelwormen en kleine tweekleppigen wordt in het algemeen gevonden bij fijnere korrelgroottes (Van Hoey e.a., 2004).



Figuur 2.7: Onderscheiden habitats in de buitendelta van het Amelandse Zeegeat op basis van een aantal gemeten en gemodelleerde fysische kenmerken (Verduin en Leewis, 2018). De groene rondjes zijn de locaties van de benthos bemonstering (Holzhauer, 2017).

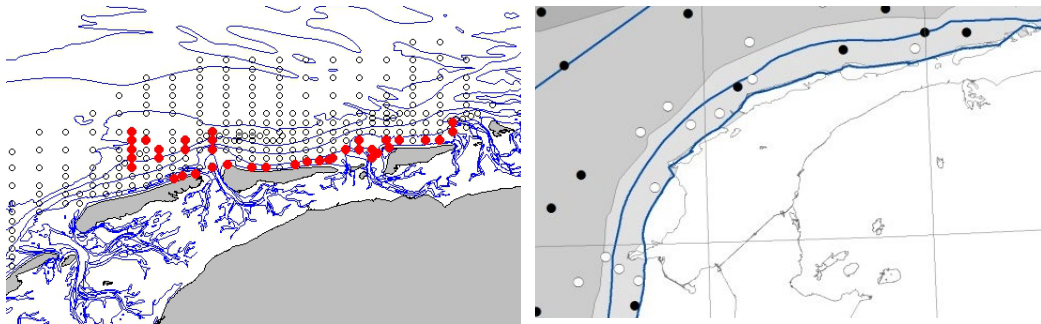
2.2 Benthos in de buitendelta

2.2.1 Algemeen

Benthische soorten zijn voor hun voedselvoorziening afhankelijk van de primaire productie in de waterkolom en van organische detritus dat op en in de zeebodem terecht komt. Zelf vormt de benthische gemeenschap in de kustzone een belangrijke schakel in de voedselketen, vooral als prooi voor vogels als duikeenden en (juvenile) vissen. De laatste vormen weer prooien voor andere en grotere vissen, vogels als duikers en sterns, en voor de toppredatoren als de grijze en de gewone zeehond en de bruinvis (en de mens). Informatie over veranderingen in bodemfauna geeft daardoor ook informatie over veranderingen in de voedselsituatie voor andere dieren die de bodemfauna als voedsel benutten (van Dalssen, 2016; Schipper en van Dalssen, 2017).

De verspreiding van bodemdieren langs de Nederlandse kust is niet homogeen. Belangrijke sturende factoren die de dichtheid en soortensamenstelling van het benthos bepalen zijn de heersende hydrodynamiek (stroming en golfwerking), de kwaliteit, aanbod en dynamiek van sediment en de voedselrijkdom. De variatie en dynamiek in de abiotische factoren bepalen in hoge mate de kwaliteit en stabiliteit van een habitat en daarmee de kansen voor vestiging en overleving (van Dalssen, 2016). Seizoensfluctuaties en veranderingen in benthische gemeenschappen over langere perioden zijn vaak sterk gekoppeld aan de variatie in de fysische factoren (Dippner e.a., 2010). Daarnaast zijn broedval en mortaliteit belangrijke factoren. Goede broedval van schelpdieren in een gebied leidt doorgaans tot een stijgende biomassa in de jaren erna. Voor bepaalde soorten kan de broedval ook negatief beïnvloed worden door klimaatverandering met een dalende populatiegrootte als gevolg (Kleijberg e.a., 2017). Ook spelen interacties tussen soorten als onderlinge concurrentie om ruimte en voedsel en predatie een belangrijke rol.

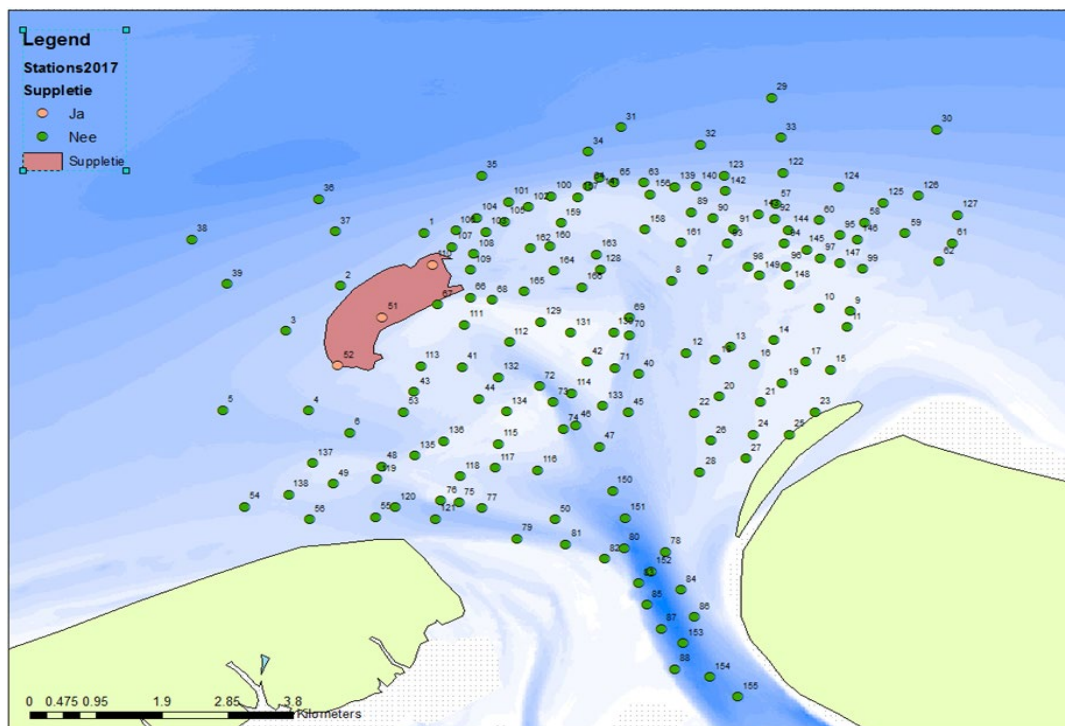
Vanuit de WOT schelpdiersurvey wordt jaarlijks het bodemleven (>5 mm) in de Noodzeekustzone in kaart gebracht (Troost e.a., 2017). In het voorjaar van 2018 is het aantal locaties in het gebied ten noorden van de Waddenzee uitgebreid. Het betreft zowel een verdichting van de monsterlocaties als een uitbreiding naar de kust. De extra locaties zijn met rode punten aangegeven in Figuur 2.8. Ook bij de driejaarlijkse MWTL surveys wordt het macrobenthos (> 1 mm) bemonsterd (Rijkswaterstaat, 2017). Naast de reguliere MWTL monitoring in het jaar 2015, is in dat jaar tevens een T₀-studie uitgevoerd in het kader van Natura2000 en de Kaderrichtlijn Mariene strategie (KRM). Voor deze bemonstering zijn er 65 extra stations ingepland in de Natura 2000 gebieden en de zoekgebieden KRM. Bij deze surveys wordt echter niet specifiek in de buitendelta's bemonsterd (Figuur 2.8), vanwege de slechte bevaarbaarheid, en ook omdat er in de zeegaten weinig biomassa aan schelpdieren verwacht wordt. De daadwerkelijke kennis van het benthos in de buitendelta's is dus beperkt (Leopold en Baptist, 2016).



Figuur 2.8: De ligging van de WOT monsterpunten in 2018 (links, extra punten zijn met rode stip weergegeven) en van het MWTL programma (rechts, zwarte stippen zijn reguliere MWTL stations, witte stippen geven nieuwe stations weer in het kader van N2000 en KRM) in 2015 rondom het Amelandse Zeegat.

2.2.2 T₀-meting benthos

Bij de T₀-meting macrozoobenthos in september 2017 zijn in totaal 166 locaties bemonsterd (Figuur 2.9 (Verduin en Leewis, 2018)). Bij de keuze van de locaties is rekening gehouden met de ligging van de onderscheiden habitats (Figuur 2.7). Op de geplande suppletielocatie lagen relatief weinig



Figuur 2.9: Overzicht van de bemonsterde locaties in september 2017. De oranje punten liggen in het suppletiegebied.

monsterlocaties omdat op deze plek tijdens de bemonsteringscampagnes meetframes waren geplaatst waardoor er niet bemonsterd kon worden. Op de uiteindelijke suppletielocatie zijn slechts drie monsters genomen (stations 51, 52 en 110, Figuur 2.9). Daarom zijn er in maart 2018 nog eens 53 monsters genomen waarvan 21 in het suppletiegebied (van Dalfsen, 2018). Deze monsters zijn echter nog niet uitgezocht, waardoor hiervan geen resultaten gepresenteerd kunnen worden. Op elke locatie is één bodemmonster genomen met een Reineck boxcorer en zijn de waterdiepte, coördinaten, datum, tijd, steekdiepte, sedimenttype en de waargenomen fauna vastgelegd. De uitvoering van de bemonstering is in meer detail beschreven in de veldrapportage (Verduin en Engelberts, 2017).

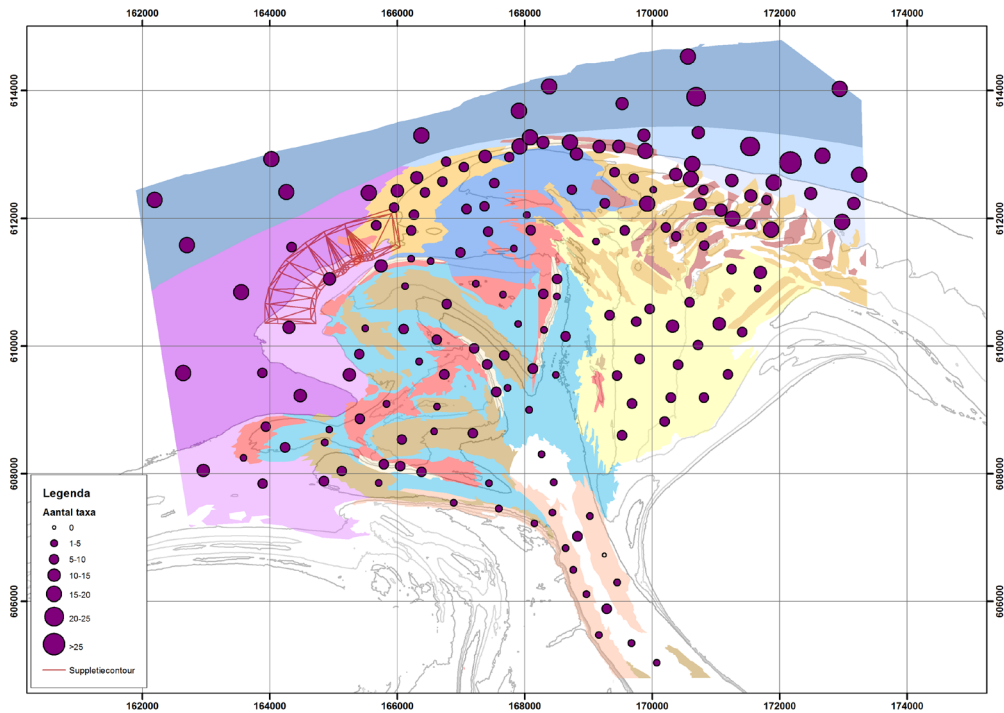
In de 166 monsters genomen tijdens de T₀-meting in september 2017 zijn in totaal 96 taxa aangetroffen, naar schatting is dit 70 tot 80 procent van de totale diversiteit van het macrozoobenthos in het Amelander Zeegat (Verduin en Leewis, 2018). Van de 96 taxa zijn er 71 tot op soort gedetermineerd, waaronder 24 soorten wormen, 29 soorten kreeftachtigen, 9 soorten weekdieren (tweekleppigen en slakken) en 2 soorten stekelhuidigen. Het hoogste aantal taxa en de hoogste dichtheid zijn aangetroffen aan de noordoostelijke kant van het zeegat. Het laagste aantal taxa en de laagste dichtheid zijn gevonden in de diepe stoomgeulen en op de ondiepe zandplaten van het zeegat (Figuur 2.10 en Figuur 2.11). Het aantal soorten en de dichtheid van soorten laten voornamelijk in de oostelijk en offshore gelegen gebieden een significant positieve correlatie zien.

Het suppletiegebied lijkt in vergelijking met locaties aan de oostzijde een qua soorten relatief arm gebied te zijn. Het suppletiegebied overlapt deels met de rand naar het diepere deel van de westkant van het Amelander Zeegat, hier zijn voornamelijk wormen (*Magelona johnstoni* en *Nephtys cirrosa*) en kleine kreeftachtigen (*Urothoe poseidonis* en *Bathyporeia elegans*) aangetroffen.

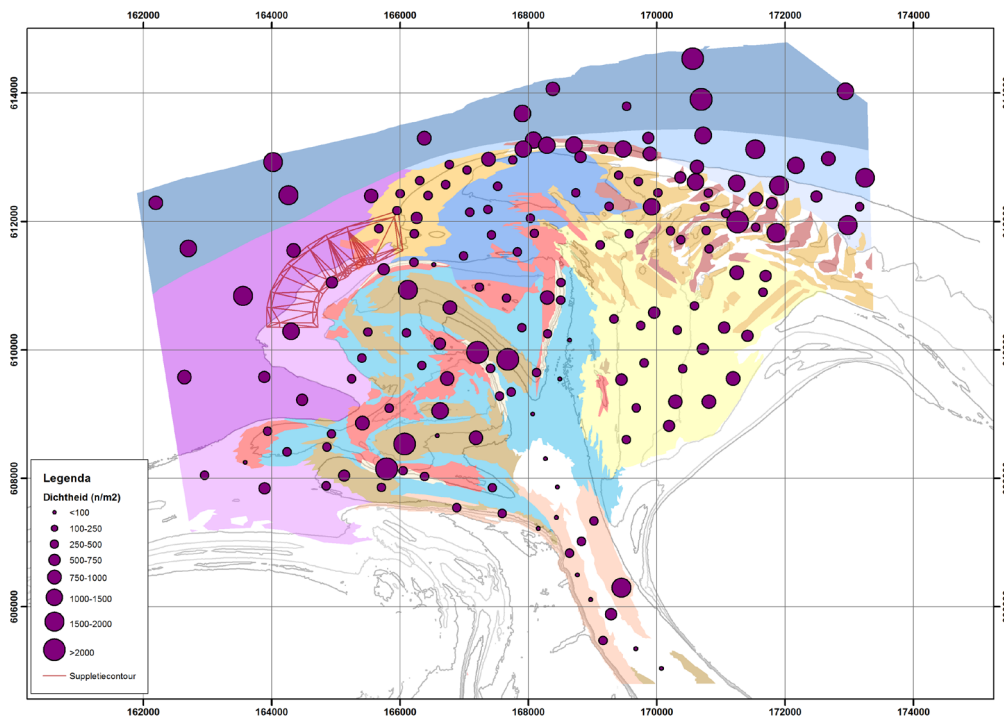
Het aantal taxa, totale dichtheid, de Margalef index (maat voor soortenrijkdom, hoe hoger de uitkomst, hoe meer soorten aanwezig), de Shannon en Wiener index (mate van biodiversiteit: een grotere soortenrijkdom en een gelijkmatige verdeling over het aantal soorten leiden tot een hogere uitkomst) en de Simpson index (mate van biodiversiteit: hoe hoger de uitkomst, hoe lager de diversiteit) op de suppletielocatie verschilden niet significant vergeleken met de overige locaties (tabel 2.1).

Tabel 2.1: Gemiddeld aantal taxa van macrozoöbenthos, densiteit, Margalef index, Shannon en Wiener index en Simpson index per habitat waarbinnen de suppletie zich bevindt en Totaal voor alle monsters tezamen in het Amelander Zeegat.

Habitat	n taxa	Densiteit (n/m ²)	Margalef	Shannon	Simpson
Ebb shoal III erosion	9 (± 2)	414 (± 193)	1.49 (± 0.4)	1.8 (± 0.41)	0.76 (± 0.12)
Ebb shoal I sedimentation	6 (± 2)	440 (± 309)	0.88 (± 0.34)	1.26 (± 0.42)	0.6 (± 0.16)
West side II	11 (± 2)	573 (± 265)	1.59 (± 0.32)	1.9 (± 0.22)	0.78 (± 0.07)
West side I	15 (± 5)	933 (± 474)	2.13 (± 0.71)	2.02 (± 0.43)	0.79 (± 0.11)
Totaal (gem.)	9 (± 5)	629 (± 575)	1.43 (± 0.71)	1.63 (± 0.54)	0.71 (± 0.16)

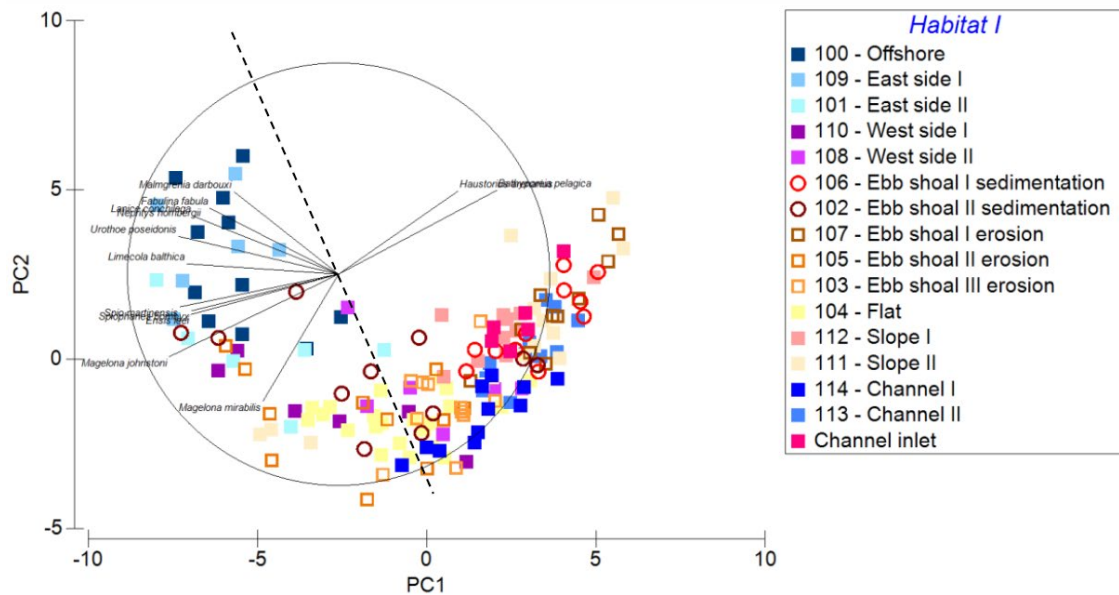


Figuur 2.10: Aantal taxa in het Ameland Zeevat in september 2017 (Verduin en Leewis, 2018).



Figuur 2.11: Totale macrobenthosdichtheid (n/m^2) in het Ameland Zeevat in september 2017 (Verduin en Leewis, 2018).

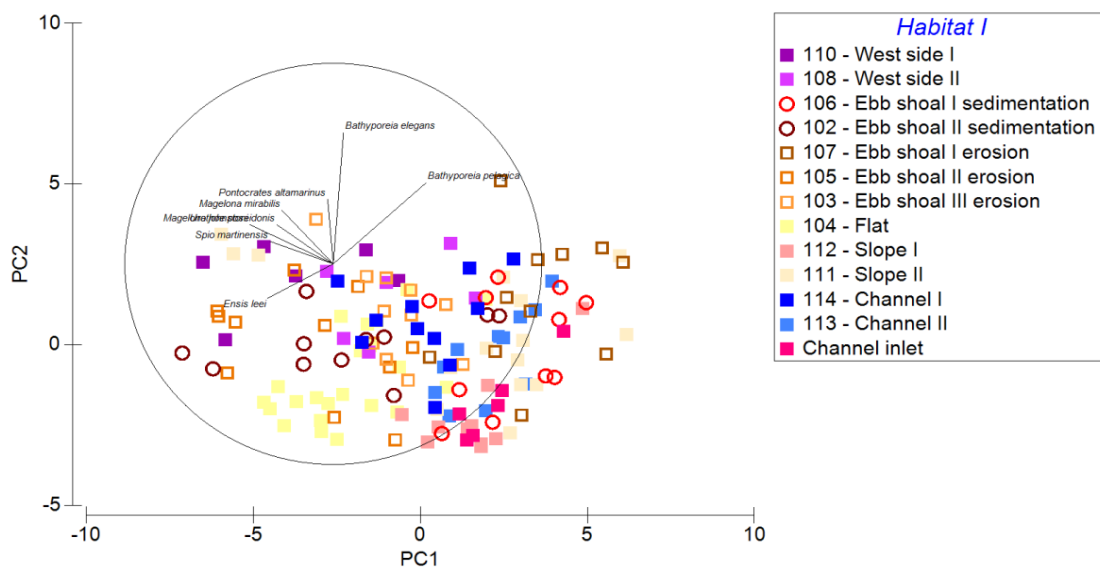
Op basis van gemeenschapsanalyses blijkt dat de noordelijke en noordoostelijk gelegen habitats (Offshore, East side I en II) een andere bodemdiersamenstelling hebben dan de overige locaties (Figuur 2.12). Dit komt doordat een aantal soorten vrijwel uitsluitend in deze gebieden is aangetroffen en relatief weinig in andere gebieden. Dit zijn bijvoorbeeld soorten als de kreeftachtige *Urothoe poseidonis*, de borstelwormen *Nephtys hombergii*, *Lanice conchilega* en *Spio martinensis* en de bivalven *Fabulina fabula* en *Limecola balthica*. De biodiversiteit in deze habitats is tevens hoger dan in de rest van het onderzochte gebied. Waarschijnlijk als gevolg van de grotere diepte en de aanwezigheid van fijnere sedimenten met meer organisch materiaal.



Figuur 2.12: PCA-plot van de soortensamenstelling van de 2017 benthosmonsters (Verduin en Leewis, 2018).

De soortensamenstelling aan de linkerkzijde van de figuur (links van de stippellijn) wordt daarnaast bepaald door de soorten als de Amerikaanse zwaardschede *Ensis leei* en de wormen *Spiophanes bombyx*, *Spio martinensis*, *Magelona johnstoni* en *Magelona mirabilis*, welke vooral voorkomen in de habitats Flat, East side I en II, West side I en Ebb shoal II Erosion. De suppletie overlapt deels met het habitat West side I. Het sediment bestaat uit iets fijner zand en de soorten indiceren een minder dynamisch gebied, waarin op sommige delen sprake is van mogelijke schelpdierbanken.

Een PCA van de soortenindeling zonder de noordoostelijke habitats (Offshore, East side I en II), laat het verschil tussen de overige habitats duidelijker zien (Figuur 2.13).



Figuur 2.13: PCA-plot van de soortensamenstelling van de 2017 benthosmonsters exclusief de habitats Offshore, East I en East II (Verduin en Leewis, 2018).

De ordening van de monsterlocaties in het PCA vlak wordt bepaald door de soorten *Bathyporeia elegans*, *B. pelagica*, *Magelona johnstoni*, *M. mirabilis* en *Ensis leei*. De monsters uit het habitat noordwest van Ameland (Flat, geel) liggen dicht bij elkaar, wat verklaard kan worden door het voorkomen van relatief grote hoeveelheden *Ensis leei*. De monsters van de soortenarme habitats tussen de eilanden (Channel inlet, Slope I en II en Channel I en II) liggen voornamelijk aan de rechterzijde van de figuur. In deze gebieden met grover sediment is sprake van een relatief

soortenarme bodemdierensamenstelling bestaande uit voornamelijk kleine kreeftachtigen (*Bathyporeia pelagica*, *Bathyporeia elegans*, *Pontocrates altamarinus*, *Haustorius arenarius* en *Gastrosaccus spinifer*) en wormen (*Nephtys cirrosa*, *Spio martinensis* en *Scolelepis bonnieri*). Deze soorten zijn kenmerkend voor dynamische kustgebieden waar golven het sediment regelmatig verstoren (Wijsman e.a., 2017; Wijsman e.a., 2018).

De vier deelhabitats die binnen de suppletielocatie voorkomen (Ebb shoal I sedimentation, Ebb shoal III erosion, West side I en West side II) vormen niet een apart cluster in de PCA en de bodemfaunagemeenschap daar wijkt dus niet systematisch af van ander plekken.

De soorten die aangetroffen zijn in de buitendelta van het Ameland Zeegat zijn veelal kenmerkende soorten voor dynamische gebieden. Om een inschatting te kunnen maken van het effect van de suppletie op deze soorten, is gebruik gemaakt van een studie uitgevoerd ten tijde van een vooroeversuppletie in 2010/2011 op Ameland. In de periode van 2009 tot en met 2012 zijn hierbij jaarlijks bemonsteringen uitgevoerd om de ecologische ontwikkeling van het benthos te kunnen monitoren, ter referentie werden er ook monsters genomen in een vergelijkbaar gebied bij Schiermonnikoog. Het macrobenthos in de vooroever is eenmalig voorafgaand en twee keer na uitvoering van de suppletie bemonsterd. Uit de resultaten blijkt dat het macrobenthos grote variaties laat zien in dichtheden en biomassa over de jaren. In de vooroever van Ameland werden de grootste dichtheden van *Ensis leei* en *Magelona johnstonii* aangetroffen. In de vooroever van Schiermonnikoog was er een duidelijke dominantie van *E. leei*. Ook *Lanice conchilega* werd in vrij hoge aantallen gevonden. Qua biomassa werden beide eilanden gedomineerd door de bivalven *E. leei* en *Macoma balthica*, op Ameland aangevuld met de stekelhuidige *Echinocardium cordatum* (Holzhauer e.a., 2014).

Vlak na het uitvoeren de suppletie werden bijna geen organismen aangetroffen op de buitenste brekerbank. Echter op de helling van de buitenste brekerbank werden wel dichtheden vergelijkbaar met de dichtheden voorafgaand aan de suppletie waargenomen, ondanks dat ze onder invloed stonden van de suppletie. In 2012 (twee jaar na de suppletie) waren de dichtheden op de brekerbank vergelijkbaar met de dichtheden van vóór de suppletie. Op soortniveau is de situatie echter nog niet geheel vergelijkbaar met die van voor de suppletie. Enkele soorten lijken juist te profiteren van de suppletie terwijl andere, voornamelijk tweekleppigen, na twee jaar nog niet geheel waren teruggekeerd. Een deel van de aangetroffen soorten in de vooroever bij Ameland komt overeen met de soorten aangetroffen in de buitendelta van het Ameland Zeegat. Dit zijn ook de soorten die typisch zijn aangetroffen tijdens de bemonstering voorafgaande aan de suppletie bij Callantsoog (Wijsman e.a., 2017).

Een andere studie waarbij onderzocht wordt wat het effect is van een suppletie op het benthos is het monitoring en evaluatieprogramma Zandmotor. Sinds 2010 wordt er regelmatig een benthos bemonstering met een Van Veen happer en een bodemschaaf uitgevoerd in de dynamische ondiepe vooroever op en rond de Zandmotor (Wijsman e.a., 2018). Veelvoorkomende soorten in de Van Veen bemonstering waren borstelwormen als *Nephtys cirrosa*, *Spiophanes bombyx*, *Spio martinensis* en *Magelona johnstoni* en schelpdieren als *Ensis*, *Donax vittatus*, *Spisula subtruncata* en *Fabulina fabula*. Dit zijn ook typische soorten die zijn aangetroffen in de monsters die zijn verzameld in het Ameland zeegat. Soorten die karakteristiek zijn voor de zeer dynamische brandingszone van de Zandmotor zoals de wormen *Scoloplos armiger* en *Scolelepis (Scolelepis) squamata* en de nagelkrab *Portumnus latipes* zijn niet in vergelijkbare dichtheden aangetroffen bij het Ameland zeegat. De schelpdieren die in de schaaf zijn aangetroffen in de vooroever van de Zandmotor zoals *Ensis*, *Donax vittatus*, *Abra alba*, *Limecola balthica*, *Fabulina fabula* en *Spisula subtruncata* zijn ook regelmatig gevonden in de monsters die zijn verzameld bij het Ameland zeegat. De meeste van deze schelpdieren zijn gevonden in de diepere delen in het noordoosten van het Ameland zeegat en binnen het ondiepe, laagdynamische habitat "Flat", nabij Ameland.

De soorten die in het Ameland zeegat gevonden zijn in de habitats waar de suppletie binnen valt, betreffen opportunistische soorten waarvan de belangrijkste hieronder beschreven worden.

Magelona johnstoni

Deze polychaete is een opportunistische soort die zich snel herstelt en zelfs in beperkte mate profiteert van verstoring. De soort heeft een pelagisch larvaal stadium van circa 2 maanden waardoor rekrutering van verder gelegen populaties kan komen (Bosselmann, 1989). Dat kan leiden tot een snelle toename van de populatie na een verstoring (Gittenberger en Van Loon, 2011). Bij de vooroever-suppletie bij Ameland is dit terug te zien. In 2010 (vóór de suppletie) ontbrak de soort bijna volledig. In 2011 (binnen 1 jaar na suppletie) kwam de soort in hoge dichtheden voor in het gehele gebied, behalve op de suppletielocatie. In 2012 kwam de soort overal in hoge dichtheden voor (Holzhauer e.a., 2014).

Deze grote jaarlijkse variatie is er ook te zien in de resultaten van de bemonstering bij Callantsoog. In het najaar van 2015 was *M. johnstoni* de een na dominantste soort, terwijl *M. johnstoni* in het najaar van 2016 niet meer in de top 10 van dominante soorten aanwezig was. De soort werd in 2015 vooral in de zuidelijkste en het midden gebied aangetroffen. Terwijl in 2016 de soort nauwelijks meer in het middengebied maar juist wel in hogere dichtheden in het noordelijkste gebied werd aangetroffen (Wijsman e.a., 2017; Wijsman e.a., 2018). Ook in de Waddenzee wordt deze soort veelvuldig aangetroffen, en hoort bij verschillende bemonsteringen tot de meest dominante soorten in box-corer monsters en ook hier is grote fluctuatie in abundantie tussen jaren zichtbaar (Compton e.a., 2012; Dekker en Drent, 2013).

Nephtys cirrosa

N. cirrosa is een kleine polychaete worm. Het is eveneens een opportunistische soort waar geen lange-termijn effecten van een suppletie op worden verwacht. Bij de monitoring van de vooroever-suppletie was *Nephtys* in 2010 en 2012 frequent aanwezig in het bankensysteem voor Ameland (en Schiermonnikoog), maar vlak na de suppleties in 2011 was de soort volledig afwezig. Echter, aangezien de soort in 2011 ook op de controlelocatie bij Schiermonnikoog niet aanwezig was, lijkt het onwaarschijnlijk dat dit een gevolg was van de suppletie (Holzhauer e.a., 2014).

Urothoe poseidonis

Deze opportunistische vlokreeft heeft een korte levensduur (1 tot 3 jaar) en leeft op de bodem of in de eerste paar centimeters van het sediment. De soort is gevoelig voor grote fluctuaties in sedimentatie maar populaties herstellen snel na een verstoring en kunnen zelfs profiteren van verstoring, wat leidt tot een snelle toename van de populatie (Gittenberger en Van Loon, 2011).

Bathyporeia elegans

Deze kreeftachtige heeft een korte levensduur van minder dan 1 jaar en zal volledig verdwijnen na een suppletie. Echter, populaties herstellen zich snel na een verstoring (opportunist) en kunnen zelfs profiteren van de verstoring, wat kan leiden tot een snelle toename van de populatie (Gittenberger en Van Loon, 2011).

Concluderend kan gesteld worden dat de meeste soorten die zijn aangetroffen in het Amelander Zeegat opportunistische soorten zijn die ook in de Waddenzee en kustzone worden aangetroffen. Het Amelander Zeegat is een dynamisch gebied, waardoor de soorten die er voorkomen regelmatig aan verstoringen blootgesteld worden. De soortensamenstelling van het benthos is voor een groot deel afhankelijk van de heersende abiotische factoren. De variabelen mediane korrelgrootte, diepte en het organisch stof gehalte blijken een effect te hebben op de samenstelling van het benthos. Voor de suppletie in de buitendelta van het Amelander Zeegat wordt verwacht dat de bodemfauna zich snel herstelt waarbij veel soorten maximaal 1 jaar nodig zullen hebben om weer op hun oorspronkelijke biomassa en hoeveelheid te komen.

2.2.3 Macrozoöbenthos als voedsel voor vogels

Om een beeld te krijgen van het potentiële effect van de suppletie op andere trofische niveaus, is de relatie tussen benthos als voedsel en het voorkomen van bepaalde vogelsoorten (met name beschermde vogelsoorten zoals Zwarte zee-eend, topper, eidereend en roodkeelduiker) van belang. In 2013 is door Leopold et al. onderzoek gedaan naar de relatie tussen voedsel en het voorkomen van Zwarte zee-eenden (Leopold e.a., 2013). Het nonnetje (*Limecola balthica*), Amerikaanse zwaardschede (*Ensis leei*), de halfgeknotte strandschelp (*Spisula*) en het zaagje (*Donax vittatus*) zijn

met zekerheid soorten die door deze eenden gegeten worden (Tabel 2.2). De belangrijkste prooi-soort is Halfgeknotte strandschelp, daarnaast zijn Amerikaanse zwaardschede en het Nonnetje belangrijke alternatieve prooi-soorten. Zwarte zee-eend blijkt zich te concentreren op soorten die lokaal in hoge dichtheden voorkomen, op waterdieptes waar de prooidieren nog profijtelijk op te duiken zijn. In de praktijk zijn de meest geschikte voedselbronnen tweekleppige schelpdieren, die op of net in de bodem voorkomen (niet dieper dan circa 3 cm), in niet te grof zand, zonder veel stenen en zonder veel fijn slib, op waterdieptes van maximaal 20 meter (Brinkman e.a., 2007).

Tabel 2.2: Macrozoöbenthos soorten, die van belang zijn als voedsel voor de Zwarte zee-eend (aangepast naar Leopold e.a., 2013). Per soort de gemiddelde aantallen per m² (N gem.) en het aantal van in totaal 166 stations in het Amelanders Zeegat, waarin de soort in 2017 aangetroffen is (stations).

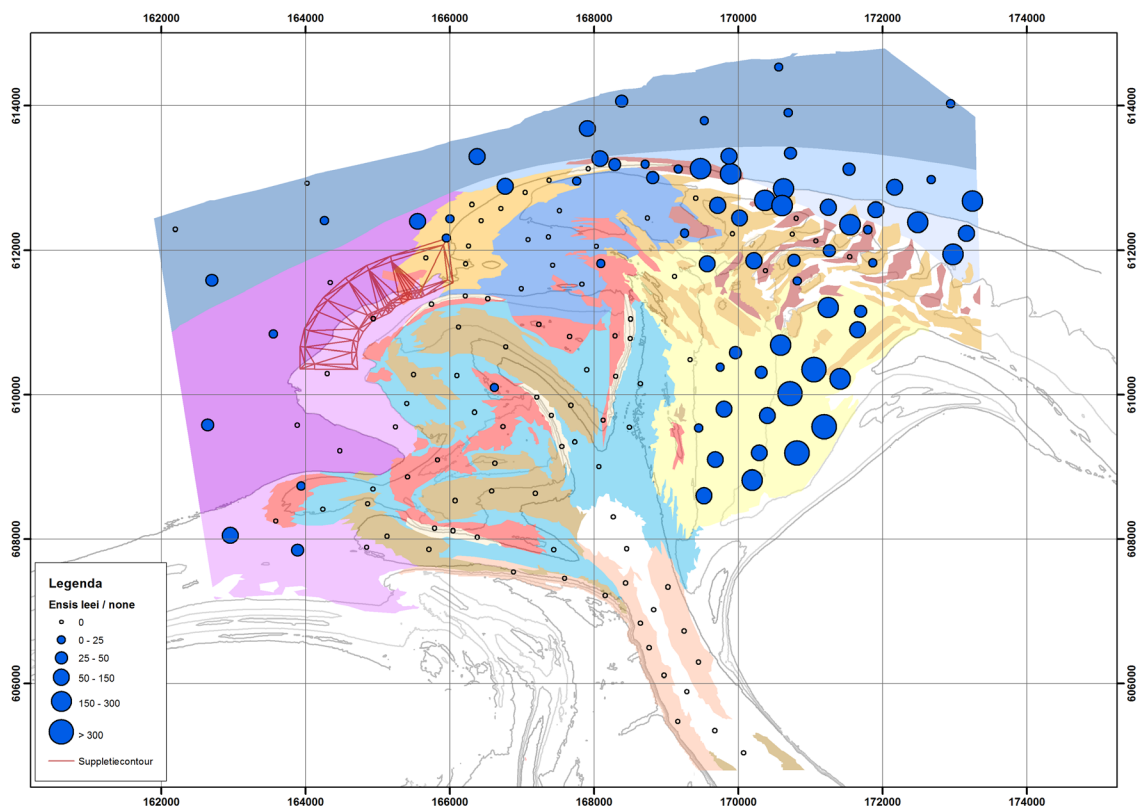
Taxon	NL naam	Vogelvoedsel	N gem.	Stations
<i>Abra alba</i>	Witte dunschaal	Mogelijk	0.9	6
<i>Donax vittatus</i>	Zaagje	Ja	5.1	35
<i>Ensis leei</i>	Am. Zwaardschede	Ja	43.3	72
<i>Fabulina fabula</i>	Rechtsgestreepte platschelp	Mogelijk	7.2	28
<i>Limecola balthica</i>	Nonnetje	Ja	19.6	55
<i>Macomangulus tenuis</i>	Tere platschelp	Mogelijk	1.4	16
<i>Ophiura ophiura</i>	Gewone slangster	Mogelijk	0.2	1
<i>Spisula</i>	Halfgeknotte strandschelp	Ja	13	26

De voedselbehoefte voor Zwarte zee-eend waarbij de vogel geen gewichtsverlies of -toename kent, is geschat op basis van theoretische kennis (Leopold e.a., 1998). Uitgedrukt in versgewicht, dus inclusief de schelp, en het ingesloten water en zand in verse levende schelpen, komt dit neer op circa 3,5 tot 4 kg verse *Spisula*, ofwel circa 3 keer het eigen lichaamsmassa aan schelpdieren per dag (1075 tot 1200 stuks).

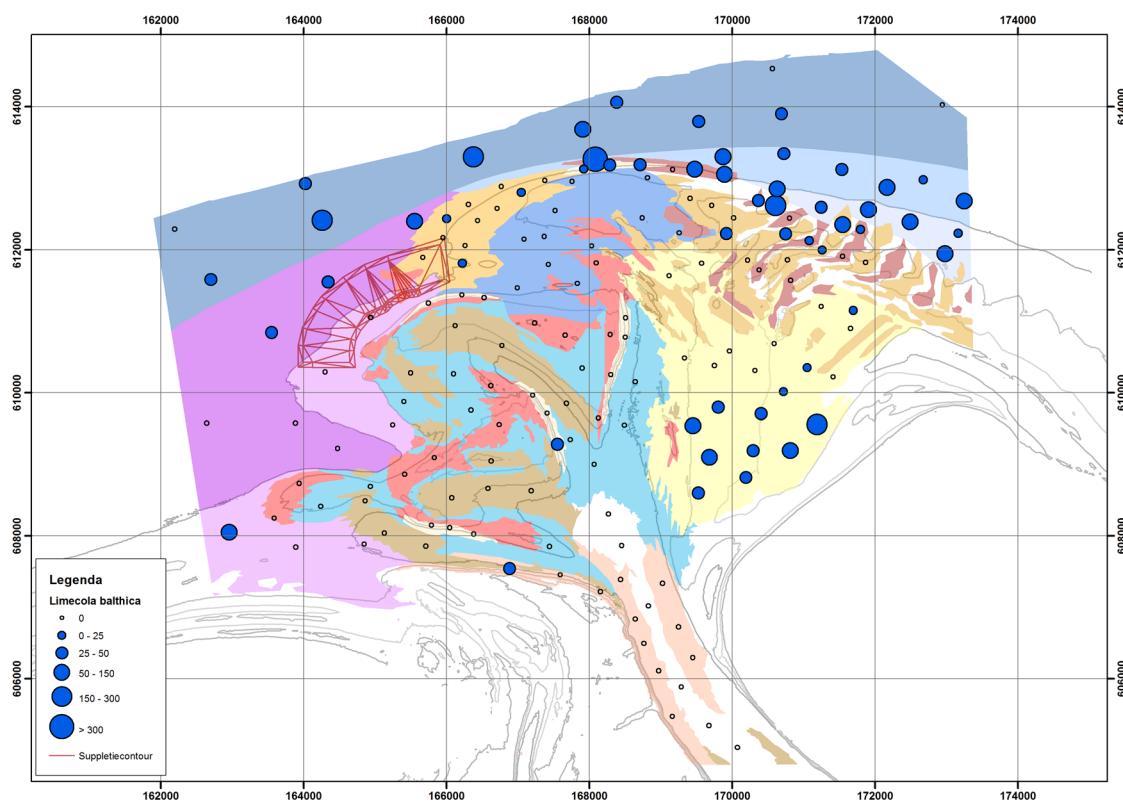
Het voedsel voor de eidereend is samengevat in een studie uit 2001 (Leopold e.a., 2001). Alle soorten schelpdieren lijken geschikt voedsel, als ze maar in voldoende dichtheid voorkomen, op een bereikbare diepte en van geschikt formaat zijn. Onder "geschikt formaat" valt alles boven de halve centimeter, tot een formaat dat nog net kan worden ingeslikt. De neutrale voedselbehoefte voor eidereend is geschat op basis van theoretische kennis (Leopold e.a., 1998). Uitgedrukt in verse levende schelpen komt dit neer op circa 5 tot 6 kg verse *Spisula*, ofwel circa 2,5 keer het eigen lichaamsmassa aan schelpdieren per dag (1600 tot 1800 stuks).

Over de voedselkeuze voor de topper is niet veel bekend. Er is vrijwel uitsluitend informatie over zoetwatergebieden (in Nederland: IJsselmeer) bekend. 's Winters worden kleine tot middelgrote schelpdieren (schelpenlengte < 3 cm) gegeten, zoals de driehoeksmossel (*Dreissena polymorpha*). Tijdens de rui (IJsselmeer) worden vooral kleine schelpdieren (<1 cm) en ostracoden gegeten. 's Zomers is het menu divers, en bestaat uit muggenlarven, wormachtigen, viseieren en kleine schelpdieren. *Mytilus edulis* is in de Waddenzee een goede mogelijkheid, maar die keuze is niet echt onderzocht. Ze zijn voornamelijk nachtactief en laten nachtelijke vluchten zien boven de Waddenzee, wat zou kunnen duiden op foerageergedrag (Tulp e.a., 1999). Het is echter onduidelijk in hoeverre toppers ook daadwerkelijk foerageren in de Waddenzee (Brinkman e.a., 2007).

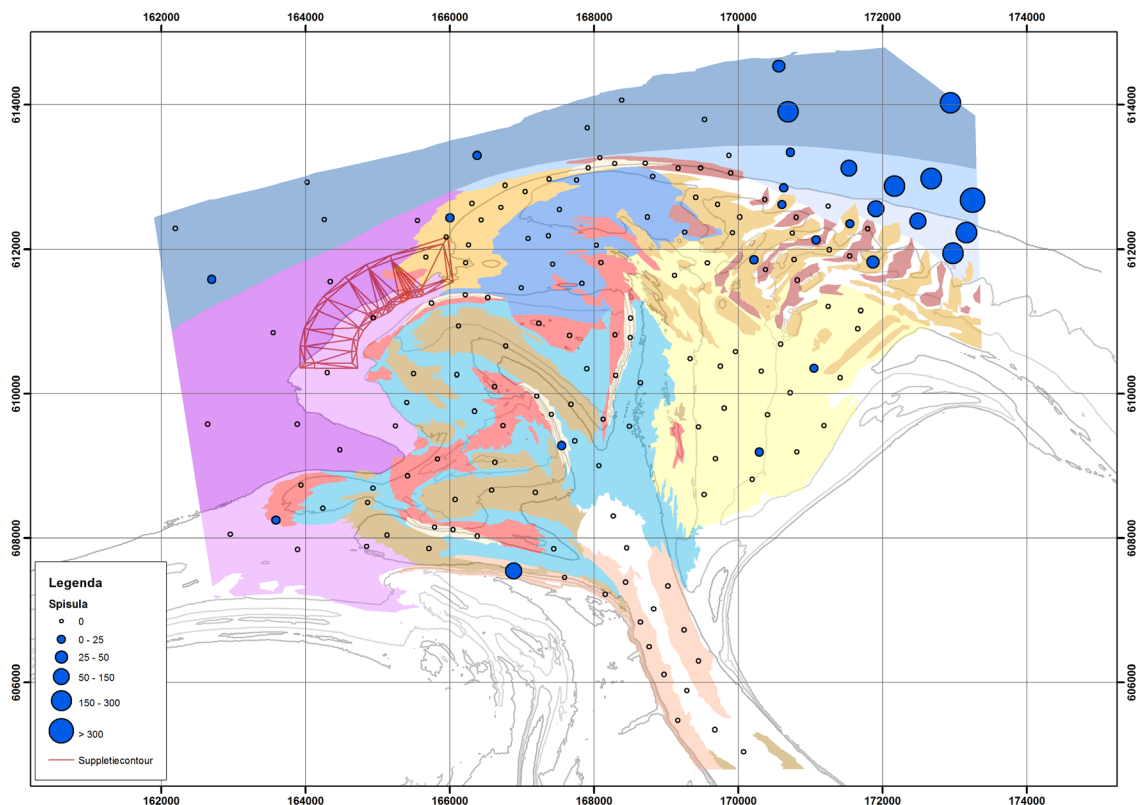
De drie meest voorkomende schelpdiersoorten zijn weergegeven in Figuur 2.14 t/m Figuur 2.16. Voor alle soorten geldt dat ze voornamelijk voorkomen aan de oostelijke kant van het Amelanders Zeegat. De halfgeknotte strandschelp komt vrijwel uitsluitend in het uiterste noordoostelijke deel van het gebied voor. De Amerikaanse zwaardschede komt meer verspreid voor over de oostzijde van het Zeegat, maar de hoogste dichtheden en biomassa vinden we in het ondiepe deel voor het strand van Ameland. Het nonnetje (*Limecola balthica*) heeft een vergelijkbare verspreiding.



Figuur 2.14: Aantallen (n/m^2) van Amerikaanse zwaardschede (*Ensis leei*) in het Amelandse Zeevat in 2017 (Verduin en Leewis, 2018).



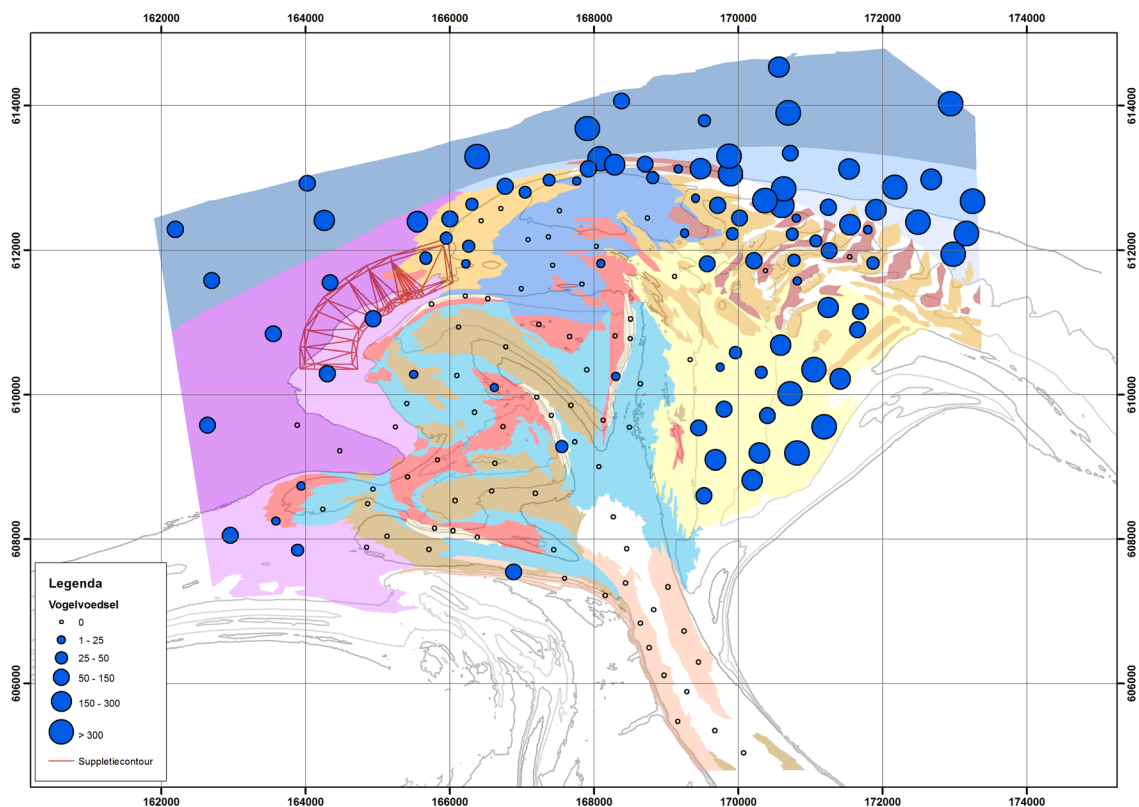
Figuur 2.15: Aantallen (n/m^2) van nonnetje (*Limecola balthica*) in het Amelandse Zeevat in 2017 (Verduin en Leewis, 2018).



Figuur 2.16: Aantallen (n/m^2) van halfgeknotte strandschelp (*Spisula*) in het Ameland Zeegat in 2017 (Verduin en Leewis, 2018).

Te samen zijn deze drie schelpdiersoorten als proxy van de dichtheid van het totaal potentiële vogelvoedsel (n/m^2) weergegeven (gebaseerd op de aantallen uit tabel 2.2). Deze proxy impliceert dat het voedsel voor vogels voornamelijk voorkomt aan de oostzijde en in het offshore gedeelte van het Ameland Zeegat (Figuur 2.17).

In de drie monsters genomen op de uiteindelijke suppletielocatie zijn geen Amerikaanse zwaardschede, halfgeknotte strandschelp of nonnetje aangetroffen. Op basis van deze monsters en het voorkomen in dezelfde habitats buiten het suppletiegebied gelegen lijkt het erop dat er op de geplande suppletielocatie relatief weinig voedsel beschikbaar is voor schelpdieretende vogels en dat de suppletie daarmee geen nadelig effect zal hebben. Op basis van theoretische kennis naar de neutrale energiebehoefte voor schelpdieretende vogels, blijkt dat zwarte zee-eend en Eidearend meer dan 1000 stuks aan *Spisula* per dag moeten consumeren. Aangezien er op de suppletielocatie slechts in zeer kleine aantallen schelpdieren zijn aangetroffen, wordt niet verwacht deze locatie een belangrijk foerageergebied is voor deze vogelsoorten. Echter, er zijn slechts drie monsters genomen op de suppletielocatie, waardoor de mogelijke effecten van de suppletie op het benthos en daarmee op beschermde vogelsoorten moeilijk in te schatten zijn. Daarvoor zijn meer monsters nodig op de suppletielocatie .



Figuur 2.17: Verspreiding van het totaal potentiële voedselaanbod in het Amelandier Zeegat in 2017.

2.3 Vis in de buitendelta

2.3.1 Algemeen

Het Amelandier Zeegat vormt de verbinding tussen de Waddenzee en de Noordzeekustzone, waarmee het de verwachting is dat vissen die in deze gebieden voorkomen ook de mogelijkheid hebben het Amelandier Zeegat in te trekken. Gezien de omvang van het gebied en verschillende habitatkarakteristieken is het niet aannemelijk dat er unieke vissoorten in dit gebied zullen worden aangetroffen. Door de hoge dynamiek wordt verwacht dat het gebied geen voorkeurs habitat vormt voor een groot aantal vissoorten die algemeen voorkomen verder offshore. Verwacht wordt dat de ondiepere zones vergelijkbare habitatkarakteristieken hebben als ondiepe kustzones en het Balgzand en dus voornamelijk aantrekkelijk zijn voor juveniele platvis (Van der Veer en Bergman, 1986; Beyst e.a., 2001; Teal en van Keeken, 2011; Wijsman e.a., 2015) en garnaal. Verder zal het gebied gebruikt worden door vis die door het gebied trekt van of naar de Waddenzee en mogelijk van belang zijn voor pelagische vissoorten.

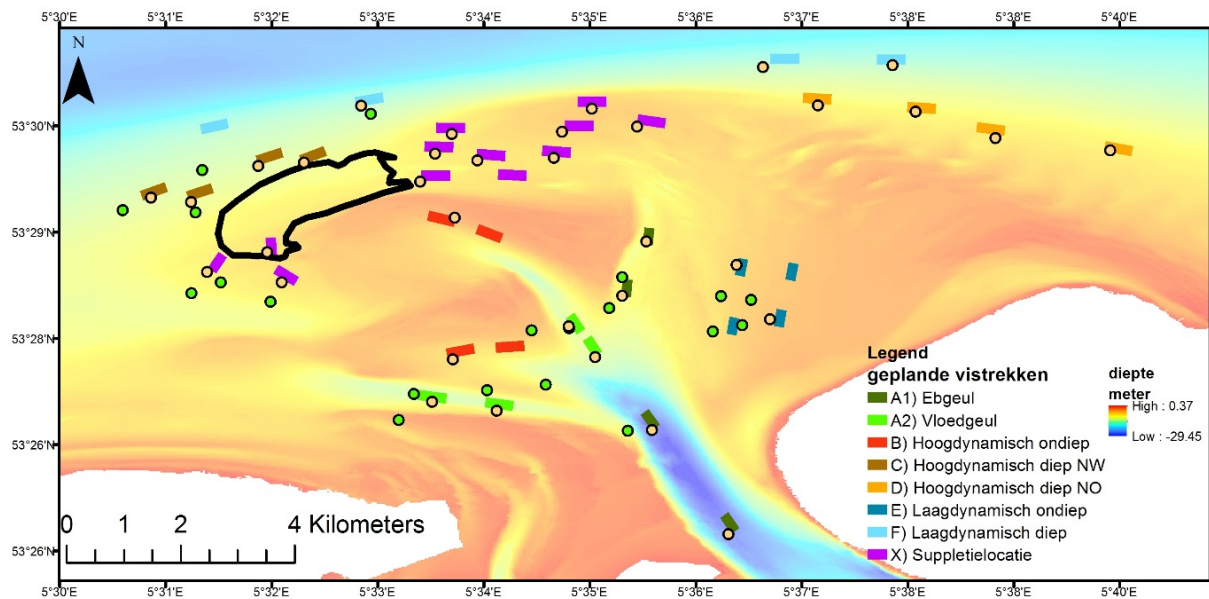
Het is ook de verwachting dat zandspiering in de zeegaten voorkomt op basis van waarnemingen van het foerageergedrag van vogels en vanwege vergelijkbare omstandigheden als in het Marsdiep (Couperus e.a., 2016), de Voordelta (Tien e.a., 2017) en de kustzone (van Hal e.a., 2017) waar ze zijn aangetroffen. Met name vanwege de link met vogels is er gekozen gericht zandspiering te bemonsteren, met andere bodemgebonden soorten als mogelijke bijvangst.

2.3.2 T₀-meting zandspiering

In september 2017 en juni 2018 is zandspiering bemonsterd met een zogenoemde zandspieringkor (aangepast bodemvstuig waarbij pinnen het sediment ingaan en de zandspiering eruit jagen) in het Amelandier Zeegat (van Hal, 2017; van Hal, 2018). Het Amelandier Zeegat was hiervoor ingedeeld in acht deelgebieden op basis van diepte, stroming en locatie (Figuur 2.18), gebaseerd op de acht deelgebieden uit de habitat definiëring (Paragraaf 2.1.2). Het meetplan bevatte 20 locaties, waarvan zes in de geplande suppletie locatie. In het werkplan waren voor het geval er tijd overbleef 20 extra

locaties gepland. Van de 40 geplande locaties overlapt er maar één locatie met de werkelijke suppletie, doordat in het suppletiegebied meetframes waren geplaatst. In september 2017 zijn er 34 en in juni 2018 20 locaties bemonsterd (Figuur 2.18). Met name in juni 2018 was de ruimtelijke dekking beperkt omdat er aan de noordoostzijde van het gat (suppletielocatie, laagdynamisch, en hoogdynamisch diep) niet bemonsterd kon worden vanwege de zeecondities. Bemonstering op de werkelijk suppletielocatie was ook niet mogelijk, omdat de werkzaamheden hier al begonnen waren.

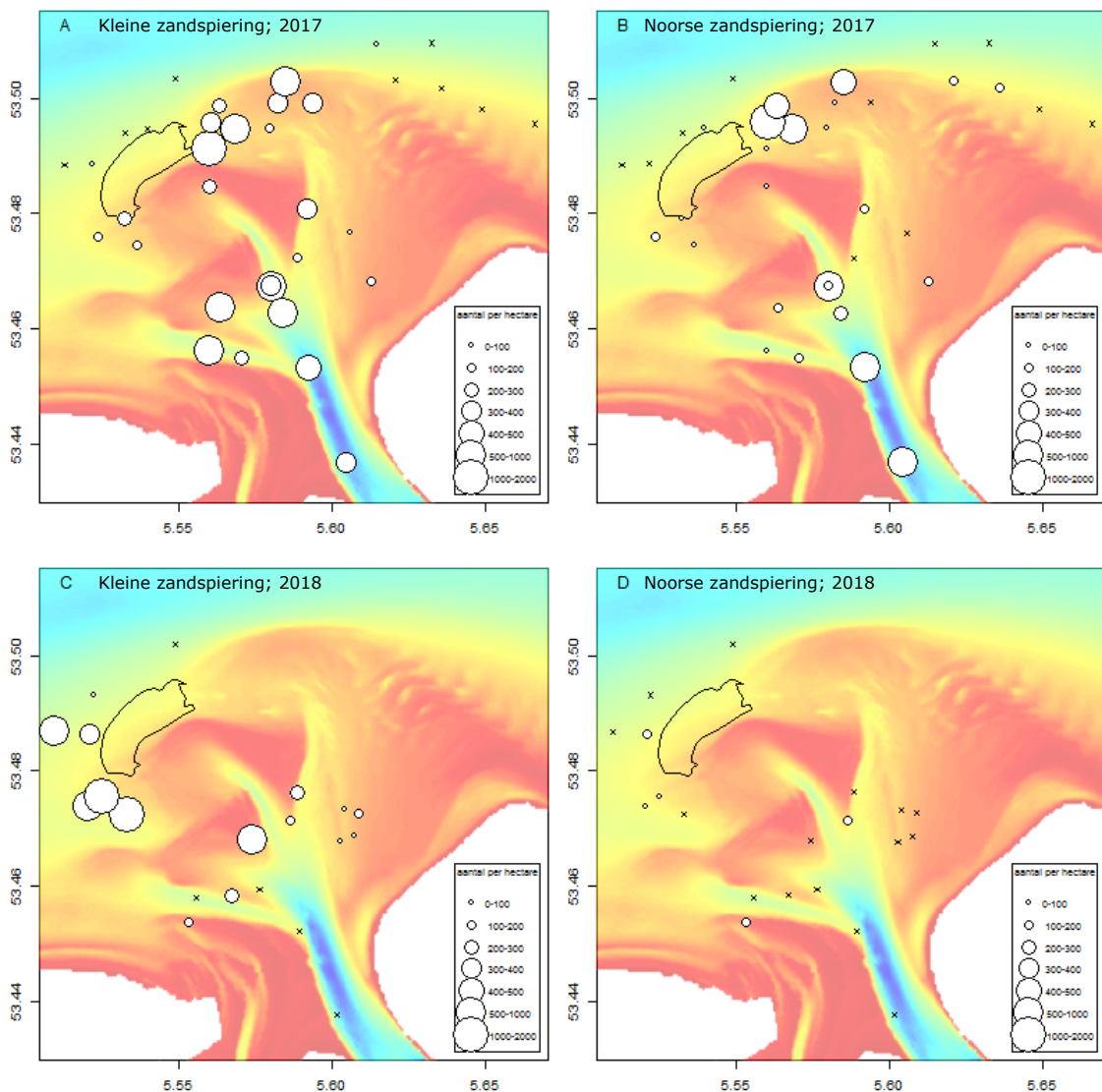
De vangsten van de zandspieringkor zijn van iedere monsterlocatie op soort gebracht, geteld en van de vissoorten is de lengte gemeten. Van zandspieringen zijn daarnaast leeftijdsgegevens verzameld. Een uitgebreide beschrijving van de methode is te vinden in het meetplan (van Hal en Couperus, 2017).



Figuur 2.18: De locaties van de zandspiering bemonstering in 2017 (ruiten geel) en 2018 (ruiten groen) en de geplande locaties.

2.3.3 Aanwezigheid zandspieringen

Er zijn drie soorten zandspieringen aangetroffen: kleine zandspiering (*Ammodytes tobianus*), Noorse zandspiering (*A. marinus*) en Smelt (*Hyperoplus lanceolatus*). Van de laatste soort zijn slechts een paar exemplaren aangetroffen in de september 2017 bemonstering. De andere twee soorten zijn in het hele bemonsterde gebied aangetroffen met uitzondering van de laagdynamische diepe zone aan de buitenzijde (Figuur 2.19). De verhouding in aantallen tussen beide soorten geeft aan dat Noorse zandspiering een voorkeur heeft voor de diepere gebieden, terwijl de kleine zandspiering de gebieden van gemiddelde diepte prefereert. Dit is in overeenstemming met de waarnemingen in de voordelta (Tien e.a., 2017) en het algemene veronderstelde verspreidingspatroon waarbij de kleine zandspiering voornamelijk in de kustzone voorkomt en de Noorse zandspiering vooral offshore.



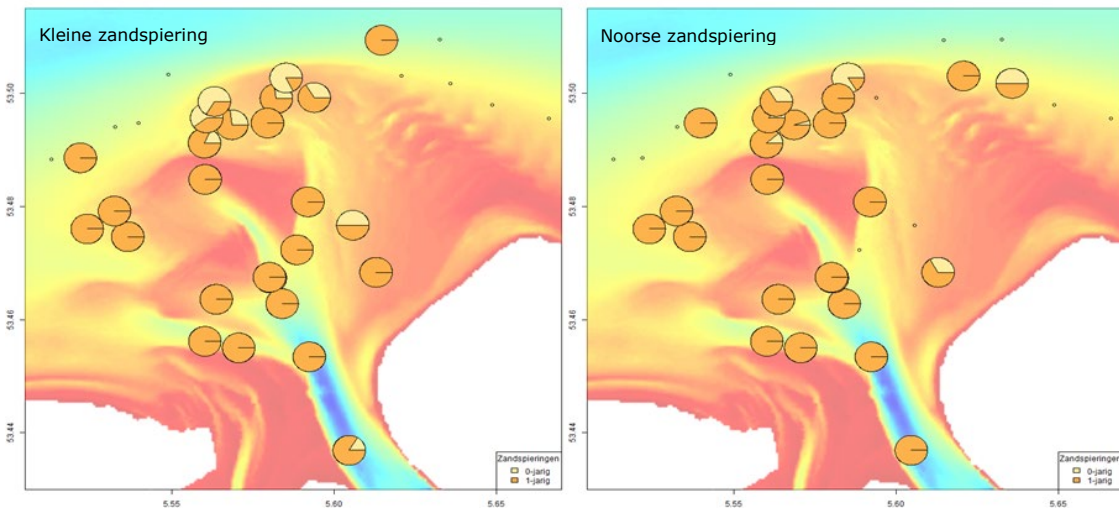
Figuur 2.19: Aantal zandspiëringen per hectare. Boven september 2017 (A,B), onder juni 2018 (C,D). Links Kleine zandspiëring (A,C); Rechts Noorse zandspiëring (B,D). De kruisjes zijn de nulvangsten.

De aantallen gevangen zandspiëring verschilden duidelijk tussen de twee periodes. In juni werd veel minder zandspiëring aangetroffen dan in september. Van Noorse zandspiëring werden in de juni bemonstering slechts 9 exemplaren aangetroffen.

Een effect van de suppletiewerkzaamheden die al gestart waren in juni 2018 is op basis van de beschikbare gegevens echter niet uit te sluiten. Daarnaast is de vangstefficiëntie van het niet eerder gebruikt vistuig onbekend, varieert de vangstefficiëntie waarschijnlijk onder invloed van verschillende zeecondities en is er mogelijk een scheepseffect (in september gevist met de WR82 en in juni met de VLI5). Hierdoor is het trekken van conclusies over seizoensvariatie niet mogelijk en zijn er aanvullende gegevens uit beide seizoenen nodig.

De absolute aantallen, gemiddeld 0.06 m² en max 0.35 m², zijn laag in vergelijking met studies uitgevoerd in andere gebieden (Holland e.a., 2005; Greenstreet e.a., 2006; Brown & May Marine Ltd., 2012; Tien e.a., 2017). De Noorse zandspiëring (Holland e.a., 2005; Tien e.a., 2017) en kleine zandspiëring (Tien e.a., 2017) hebben een voorkeur voor middel tot grof zand. Noorse zandspiëringen vermijden gebieden met meer dan 20% fijn zand (63 tot 250 µm) en hebben een voorkeur voor sediment met > 60% medium zand (250-710 µm) en >20% grof zand (710-2000 µm) (Holland e.a., 2005). Het sediment in alle gebieden van het Ameland Zeegat bevat meer dan 35% fijn zand (<250 µm), en bestaat voor meer dan 90% uit zand <500 µm (Verduin en Lewis, 2018)(Figuur 2.4). Dit fijnere sediment is een mogelijke verklaring voor de relatief lage aantallen zandspiëring.

De leeftijdssamenstelling van beide soorten zandspiering geeft aan dat bijna uitsluitend 0-jarige en 1-jarige zandspiering voorkomt. In de september survey kwam 0-jarige zandspiering voornamelijk voor in het oostelijke deel van de geplande suppletiegebied (Figuur 2.20). Dit is de reden geweest om de pilotsuppletie in te perken en niet in dit specifieke gebied uit te voeren.



Figuur 2.20: Leeftijdssamenstelling van de zandspiering vangsten in september 2017. Links kleine zandspiering; rechts Noorse zandspiering. De kruisjes zijn nulvangsten.

2.3.4 Overige vissoorten

Naast zandspieren werden de vangsten in beide periodes vooral gedomineerd door garnalen (*Crangon crangon*) die voorkwamen in nagenoeg alle trekken (van Hal, 2017; van Hal, 2018). In de juni 2018 bemonstering zijn daarnaast de juveniele platvissen schol (*Pleuronectes platessa*), tong (*Solea solea*) en schar (*Limanda limanda*) gevangen, die voornamelijk voorkwamen in de noordwestelijke trekken (maar niet heel het zeegat was bemonsterd in juni).

Andere dan de hiervoor genoemde vissoorten zijn zeer beperkt gevangen. Het gebruikte vistuig is niet ontworpen om de gehele visgemeenschap te bemonsteren maar toegespitst op in de bodem levende zandspiering. Daarnaast is er niks bekend over de vangstefficiëntie van het vistuig waardoor het lastig is om concrete uitspraken te doen over de gehele visgemeenschap. Op basis van deze gegevens kan dus niet geconcludeerd worden dat andere vissoorten niet of niet in hogere dichtheden voorkomen in het gebied.

Het verschil in vangsten van juveniele platvis wordt met name veroorzaakt door de seizoensvariatie, maar mogelijk speelt ook de jaarlijkse variatie een rol. 0-jarigen platvis vestigt zich in ondiepe gebieden en verspreidt zich naar andere gebieden naarmate ze groeien (van Keeken e.a., 2007; van Hal e.a., 2016). Aan het eind van het groeiseizoen (september) zijn de meeste verdwenen uit het gebied waar ze geboren zijn. Jaarlijkse variatie in aantallen wordt veroorzaakt door de hoeveelheid aanwas maar ook waar deze terechtkomt langs de kust (Bolle e.a., 2009). Uit voorlopige resultaten van de jaarlijkse visbemonstering in de kustzone en de Waddenzee in augustus-oktober 2018 komt naar voren dat er met name heel veel 0-jarige schol is aangetroffen, zelfs tot buiten het bekende verspreidingsgebied. Het is hierdoor aannemelijk dat er ook eerder in het jaar tijdens de bemonstering in het Amelandse Zeegat al veel meer 0-jarige schol aanwezig was dan in het voorjaar van 2017 en logischerwijze in september 2017.

2.3.5 Macrobenthos

Naast vis werd er met de zandspieringkor ook epi-macrobenthos gevangen. Ook hierbij wordt de kanttekening geplaatst dat het tuig niet ontworpen is voor deze soorten, waardoor de vangstefficiëntie lager is dan van de boxcore eerder al beschreven.

In de september bemonstering, maar ook in de juni bemonstering was duidelijk dat schelpdieren, halfgeknotte strandschelp (*Spisula subtruncata*), zaagje (*Donax vittatus*) en nonnetje (*Limecola balthica*) voornamelijk in het offshore gebied voorkwamen (Figuur 2.21), waar zandspiering niet of in beperkte aantallen was aangetroffen (Figuur 2.19). Halfgeknotte strandschelp is ook gevangen in het laagdynamisch ondiepe deel. Hier is ook zaagje aangetroffen welke ook in trekken noordoost van de suppletie is aangetroffen.

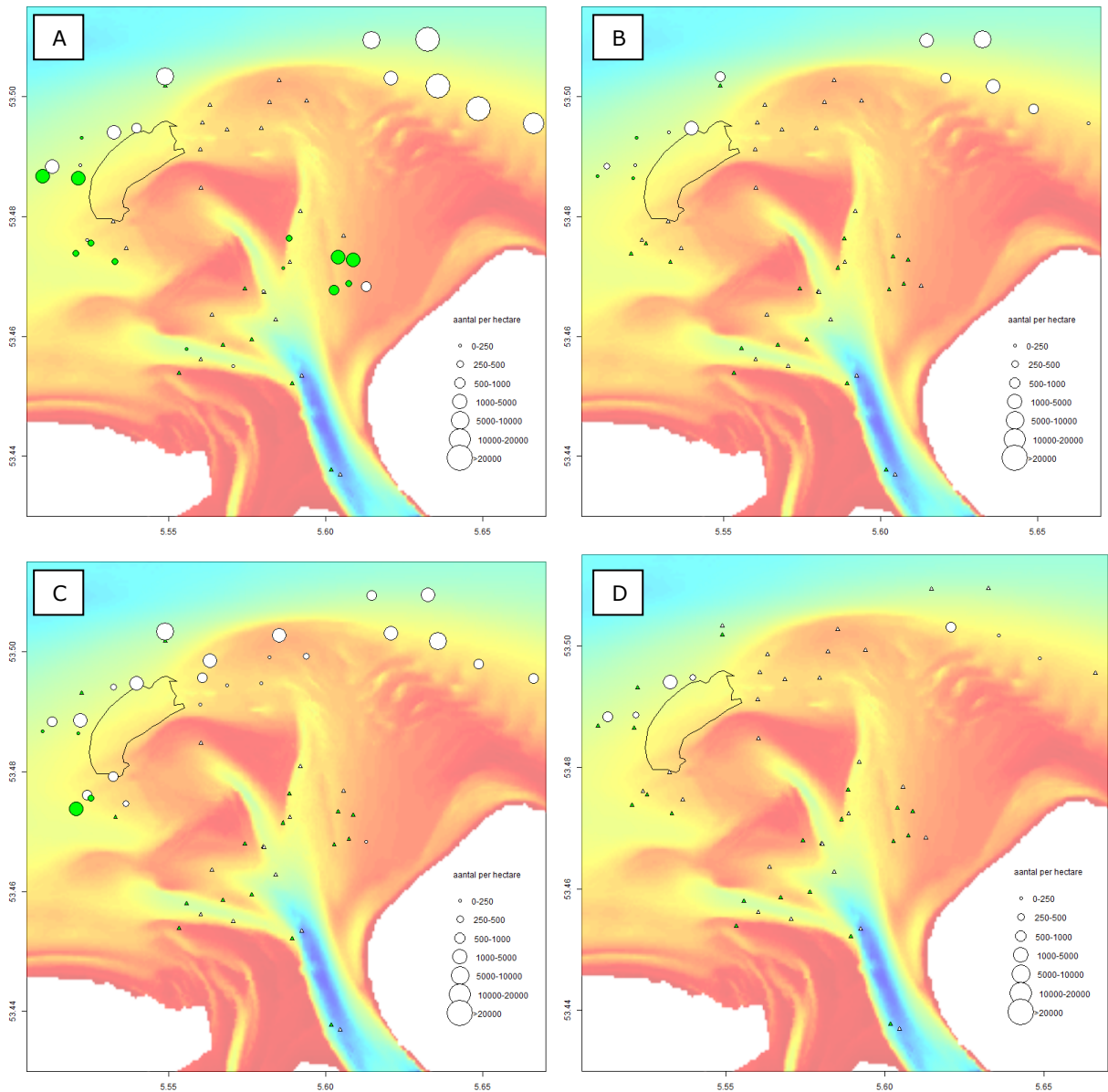
In de benthos bemonstering in september 2017 was halfgeknotte strandschelp vooral aangetroffen in het noordoostelijke gebied (Figuur 2.18). Hier zijn ook tijdens de visbemonstering de hoogste aantallen halfgeknotte strandschelp aangetroffen (Figuur 2.21A). In tegenstelling tot de benthosbemonstering werden ze in de visbemonstering ook aangetroffen in het laagdynamische ondiepe gebied, maar nog opvallender zowel in 2017 als 2018 in locaties dicht tegen de uiteindelijke suppletielocatie.

De verspreiding van nonnetje is in het offshore gebied vergelijkbaar voor beide bemonsteringen (Figuur 2.15 en Figuur 2.21B), echter zijn er op het laagdynamisch ondiepe gebied in tegenstelling tot de benthosbemonstering geen nonnetjes aangetroffen in de visbemonstering.

Zwaardschede is in verhouding tot de benthosbemonstering maar zeer beperkt aangetroffen in de visbemonstering (Figuur 2.14 en Figuur 2.21D). Dit heeft mogelijk te maken met de diepte-positionering van zwaardschede, waardoor deze veel beter wordt gevangen in de dieperstekende box-corer.

De aanwezigheid van halfgeknotte strandschelp, nonnetje, zwaardschede en zaagje in de monsters genomen tegen de noordrand van de uiteindelijke suppletie suggereert in tegenstelling tot de 3 benthosmonsters op de suppletie dat er mogelijk toch meer voedsel voor vogels aanwezig zou kunnen zijn. Op basis van de nu beschikbare gegevens valt daar echter weinig meer over te concluderen, het uitwerken van de 2018 benthosmonsters zou daar meer inzicht in kunnen geven.

Het overige macrobenthos gevangen in de visbemonstering bestond voornamelijk uit verschillende soorten krabben, o.a. gewone zwemkrab (*Liocarcinus holsatus*), strandkrab (*Carcinus maenas*) en hermiëtkreeften, met name kleine hermiëtkreeft (*Diogenes pugilator*).



Figuur 2.21: Aantal schelpdieren per hectare: A) halfgeknotte strandschelp; B) nonnetje, C) zaagje, en D) Ensis sp. Wit=2017; Groen=2018, de driehoekjes zijn de nulvangsten.

2.4 Zeevogels in de buitendelta

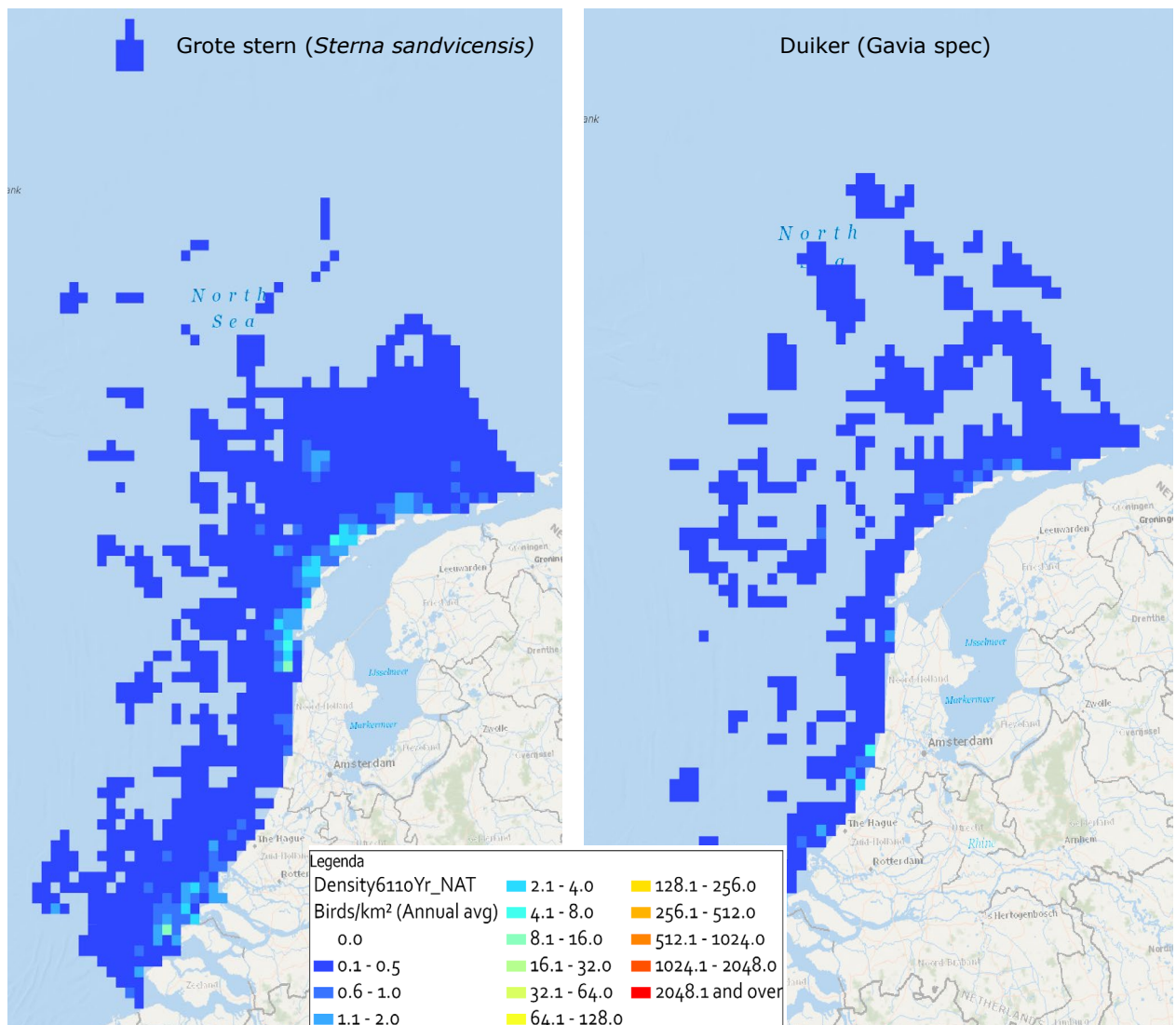
2.4.1 Algemeen

Zeevogels kunnen worden ingedeeld in schelpdiereters en viseters. Typische voorbeelden van schelpdiereters zijn de Zwarte zee-eend, topper en eider. Voorbeelden van viseters zijn meeuwen, duikers, aalscholvers en sterns.

Voor verschillende soorten visetende zeevogels is gesuggereerd dat ze, binnen de Noordzeekustzone, een voorkeur zouden hebben voor de zeegaten (Leopold en Baptist, 2016). De resolutie van zeevogelsurveys is echter meestal te grof om hier met zekerheid iets over te zeggen. Sinds augustus 2014 heeft Rijkswaterstaat het surveydesign van de lange termijn zeevogel-vliegtuigtellingen (sinds 1991) laten aanpassen waardoor de resolutie in de kustzone is verbeterd¹.

¹ https://www.buwa.nl/fileadmin/buwa_upload/posters/poster-zeevogels-tellingen-print-verkleind.pdf

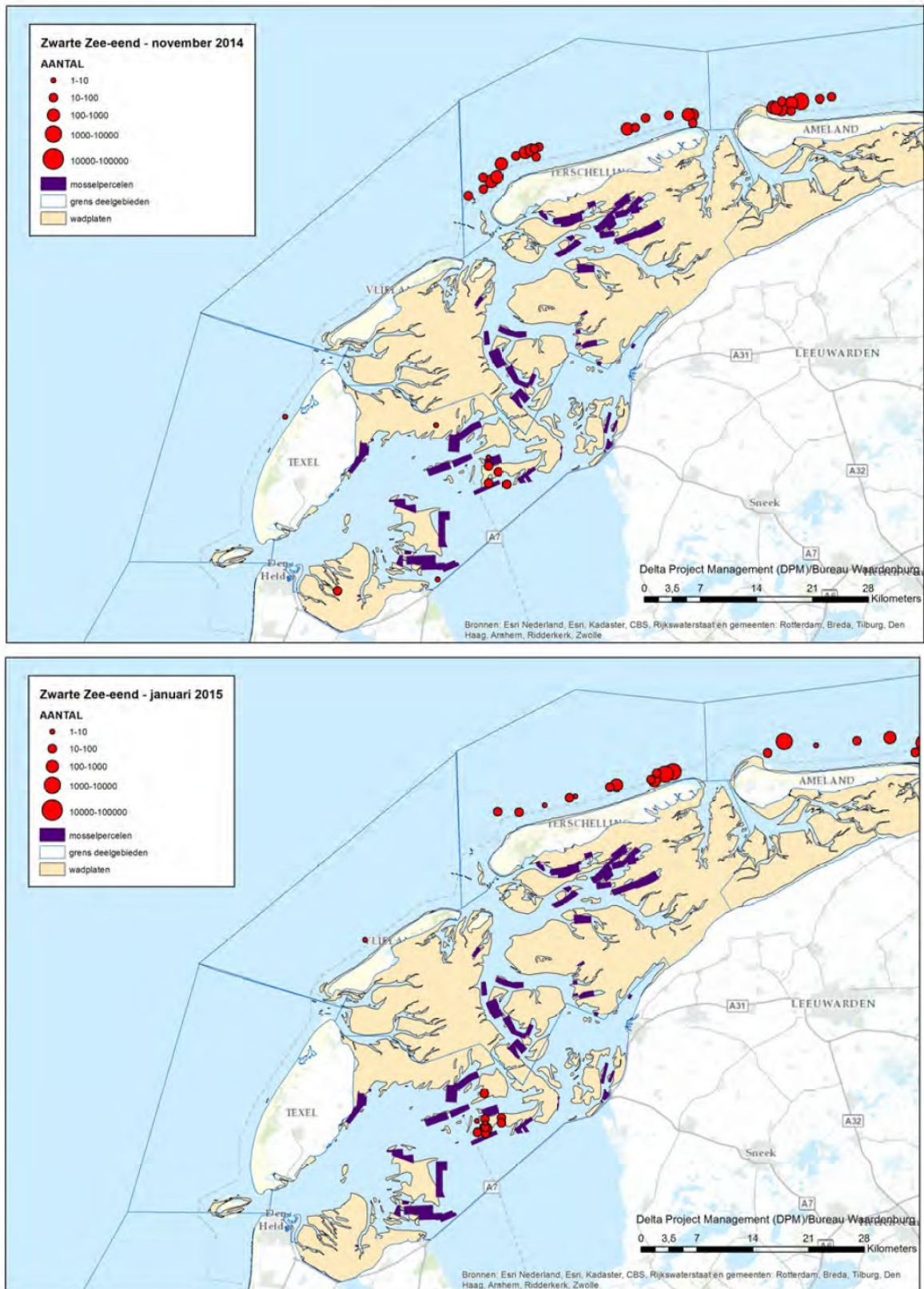
Er zijn geen zeevogelsoorten die exclusief voorkomen in de zeegaten, maar er lijkt een tendens te zijn dat grote sterns een voorkeur hebben voor de buitendelta's van de zeegaten (Figuur 2.22), dit is in mindere mate het geval voor duikers (Figuur 2.22).



Figuur 2.22: Gemiddelde jaarlijkse verspreiding van grote stern (*Sterna sandvicensis*) (links) en duiker (*Gavia spec*) (rechts) gebaseerd op de ESAS en MWTL gegevens tot en met 2017. Bron: (van der Wal e.a., 2018).

Zeevogels zullen een zeegat of buitendelta opzoeken als daar voedsel (vis) te halen valt. Voor sommige soorten is dit incidenteel vastgesteld (Jan van Gent: Leopold & Platteeuw 1987) en voor een soort als de grote stern is dit niet onaannemelijk gezien het voorkomen van een van zijn favoriete prooien, de zandspiering. Daarbij is het zo, dat de golfwerking in de buitendelta's vissen beter beschikbaar kan maken voor foeragerende zeevogels, die hen vanuit de lucht belagen. Ook voor een soort als de dwergstern, broedvogel van kale kustgedeelten en in het Waddengebied veelal op eilandkoppen en –staarten aanwezig, zijn buitendelta's zeker van belang. In 2018 zijn dwergsterns gaan broeden op de Feugelpôlle op Ameland (aan het Amelander Zeegat), nadat in 2017 alle jongen van de grote stern na hoog water opgegeten zijn door stormvogels. De groter sterns zijn in 2018 niet teruggekeerd. Op Texel foerageren deze vogels vooral succesvol op de noord- en zuidpunt van het eiland, en op de Razende Bol, gelegen in de buitendelta van het Marsdiep. Ook deze soort heeft zandspiering als een zeer belangrijke prooisoot en heeft slechts een actieradius van een paar honderd, tot maximaal ongeveer 1500 meter rond zijn nest (Beijersbergen, 2016) en moet dus in de onmiddellijke omgeving foerageren. Buitendelta's met een vermoedelijk goed aanbod aan zandspiering lijken voor deze soort van levensbelang in het Waddengebied (Leopold en Baptist, 2016). Het is belangrijk dat deze vermoedens worden gestaafd met data.

Vanwege het spaarzame voorkomen van schelpdieren in een buitendelta zijn deze relatief van minder groot belang voor schelpdieretende vogels. Schelpdierbanken bevinden zich voornamelijk zeewaarts van de buitendelta's op dieper water met rustigere condities en hier houden zich groepen zee-eenden op (Figuur 2.23)(Troost e.a., 2017).



Figuur 2.23: Verspreiding van Zwarte Zee-eend in november 2014 (boven) en januari 2015 (onder). Bron: (Arts e.a., 2015).

2.4.2 Zenderstudie grote sterns

In 2018 is een pilotstudie uitgevoerd naar het in kaart brengen van de foerageerlocaties van grote sterns broedend op Texel. Vijf grote sterns zijn gevangen op hun nest en voorzien van een UvA-BiTS GPS-logger. Deze loggers slaan GPS-locaties van de sterns op in het geheugen, dat vervolgens wordt uitgelezen door een ontvangststation dat in de kolonie staat opgesteld. Naast GPS-posities meten de loggers ook temperatuur en versnelling. De nesten van de gezenderde sterns, alsmede 12 controle-nesten, zijn in de kolonie gemarkeerd. Met een webcam is het gedrag en het broedsucces van de sterns geobserveerd. Wat betreft de interpretatie van de resultaten moet er rekening mee gehouden worden dat de studie slechts vijf individuen betreft en dat het gedrag van de sterns mogelijk wordt beïnvloed is door de zenders.



Pilotstudie naar grote sterns. Vanaf linksboven met de klok mee: opstelling basisstation, grote stern met GPS-logger, gemarkeerd nest, gezenderde grote stern op nest, geringde grote stern met kuiken.

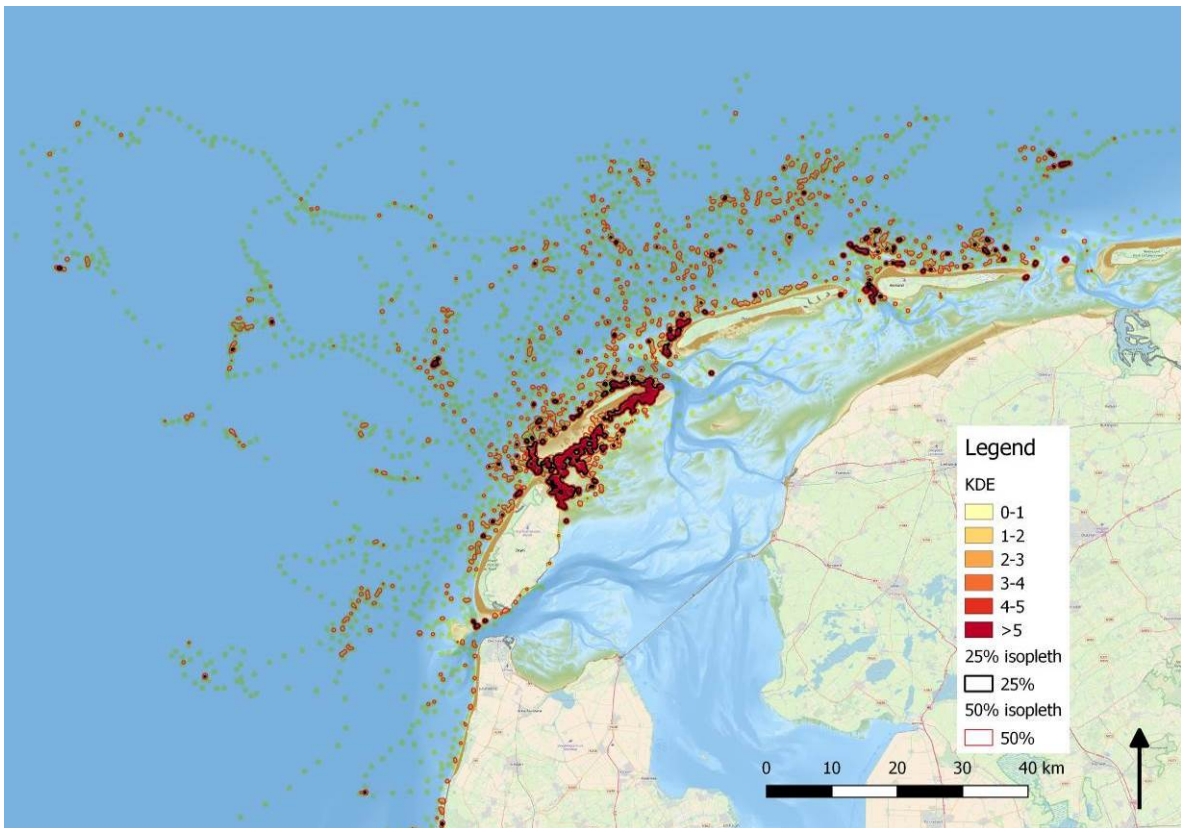
2.4.2.1 Resultaten van de GPS-tracks

Van de drie gezenderde sterns waar GPS-tracks van zijn vastgelegd zijn zogenaamde 'heatmaps' gemaakt. De heatmaps zijn samengesteld op basis van GPS-locaties die zich boven zee bevinden; rustplaatsen op land, op zandplaten en op boeien zijn verwijderd. De kaarten geven daarmee aan op welke locaties er vliegende sterns zijn geregistreerd, zodat deze plekken met grote waarschijnlijkheid foerageerlocaties zijn.

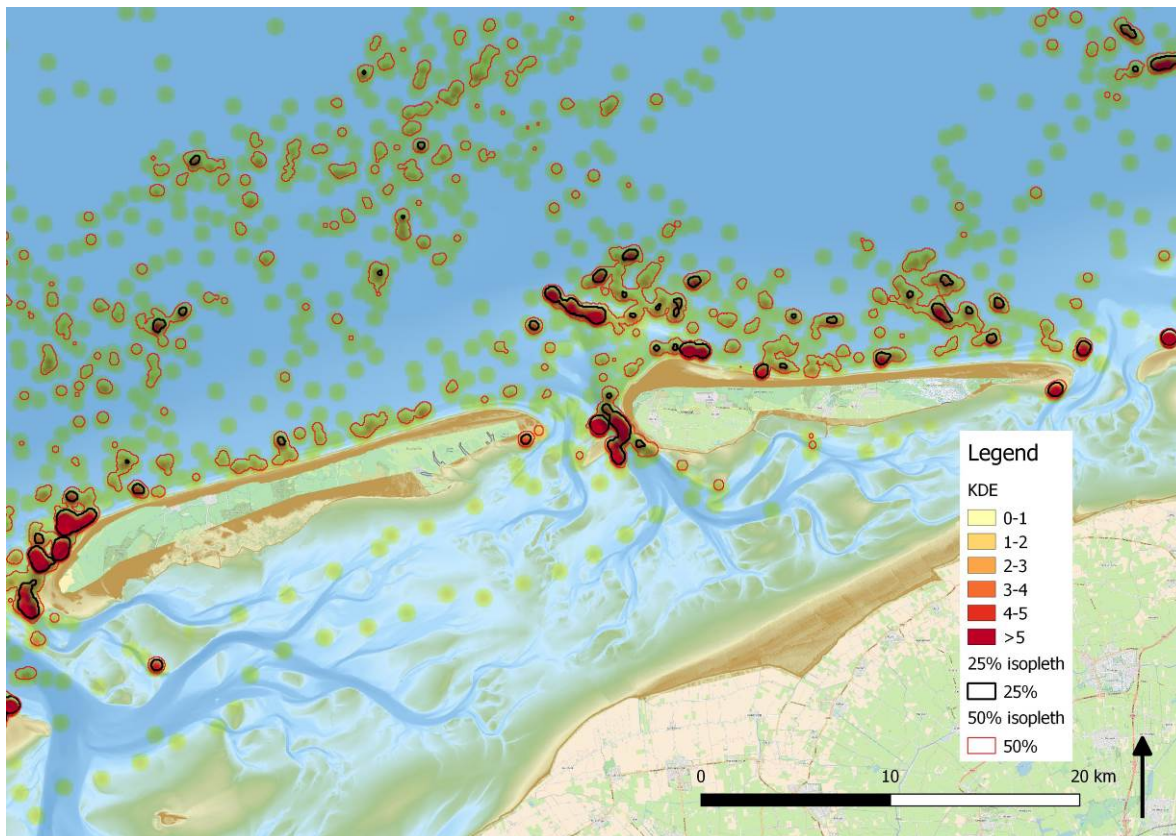
Het eerste dat opvalt is het gebruik van de Waddenzee onder Vlieland door een individu. In dit gebied liggen ondiepe geulen in een zandig substraat en het gebied ligt vlakbij de kolonie van Utopia. Daarnaast wordt er vaak gefoerageerd aan de noordzijde van Vlieland, zowel aan de wadzijde als aan de Noordzezijde. Er wordt ook gefoerageerd in de buitendelta van het Eierlandse Gat, maar bijna uitsluitend aan de kant van Vlieland. Daarnaast is ook de noordwestzijde van Terschelling en de zee tussen Engelschoek en Terschelling een foerageerlocatie. Het Amelander Zeegat werd ook een aantal malen bezocht door Texelse sterns. Hier werd vooral vlak ten westen van Ameland en in het noordelijke gedeelte van de buitendelta gefoerageerd (Figuur 2.24, Figuur 2.25). Tot slot maakten de sterns ook offshore foerageervluchten boven de Noordzee. Hierbij viel op dat ze rusten op boeien en van hieruit foerageervluchten ondernemen.

De foerageervluchten van de grote sterns strekten zich uit over een groot areaal. Echter, uit de resultaten van vogel 2420 die gevolgd kon worden tijdens de periode van het voeren van het kuiken, bleek dat gedurende deze periode de foerageervluchten dichterbij de kolonie werden uitgevoerd (Figuur 2.26, Figuur 2.27).

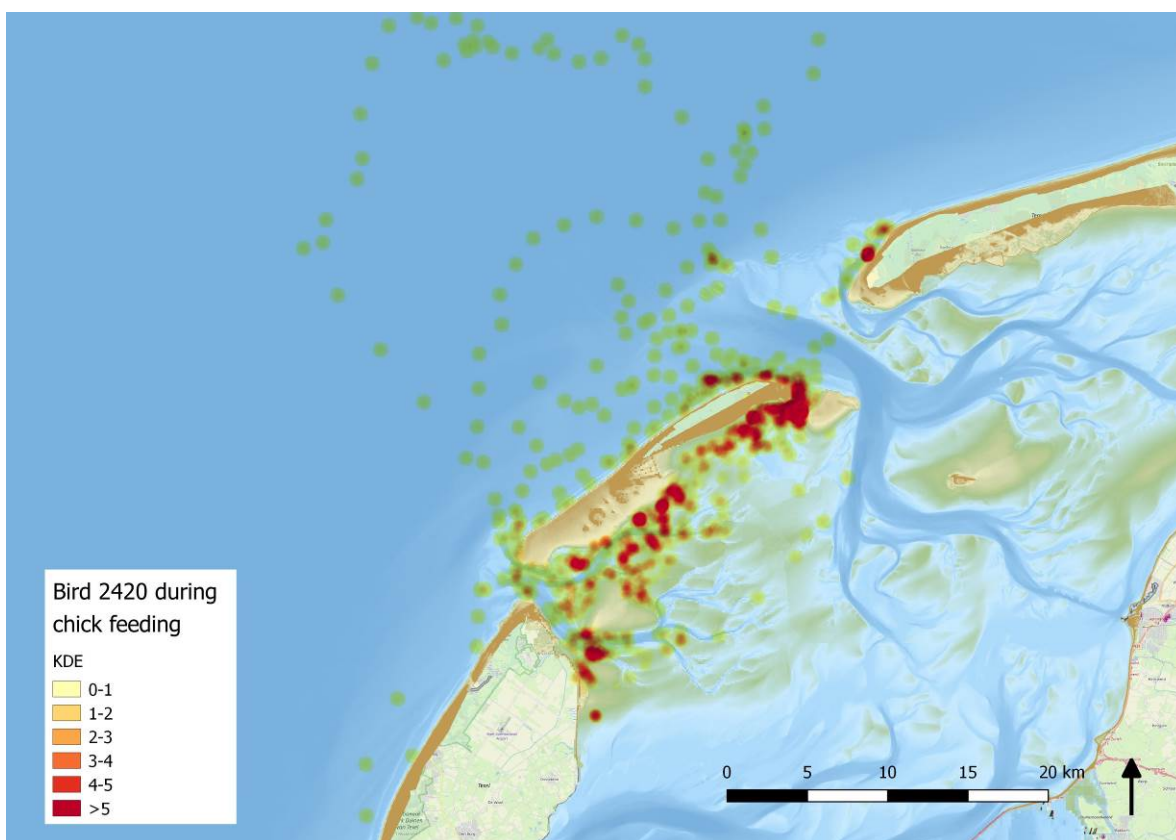
Uit deze pilotstudie bleek verder dat door gebruik van hoge resolutie GPS-data, in combinatie met accelerometer data en temperatuurdata, het mogelijk is om het aantal foerageerduiken en de exacte posities te registreren. Hiermee kan een nauwkeuriger verband worden gelegd tussen de foerageerlocaties en lokale omgevingsfactoren (diepte, helling, sedimentsamenstelling), gekoppeld aan het foerageersucces (af te lezen door camerawaarneming) van de grote sterns.



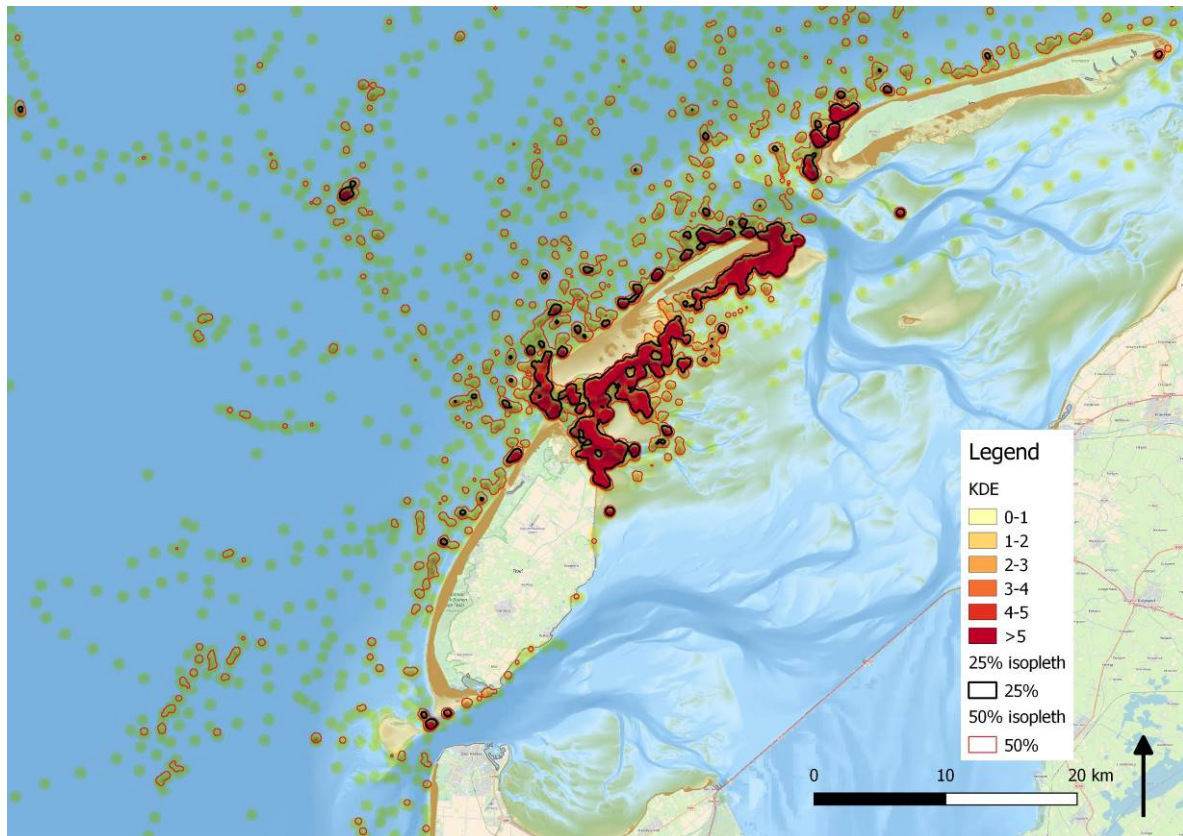
Figuur 2.24: Heatmap voor de foerageervluchten van drie grote sterns in Waddengebied en Noordzee.



Figuur 2.25: Heatmap voor de foerageervluchten van drie grote sterns nabij Terschelling en Ameland.



Figuur 2.26: Heatmap voor de foerageervluchten van één stern tijdens het voeren van kuikens.



Figuur 2.27: Heatmap voor de foerageervluchten van drie grote sterns nabij Texel, Vlieland en Terschelling.

2.5 Zeezoogdieren in de buitendelta

2.5.1 Algemeen

De gewone zeehond, grijze zeehond en de bruinvissen zijn de meest voorkomende zeezoogdieren in Nederlandse mariene wateren.

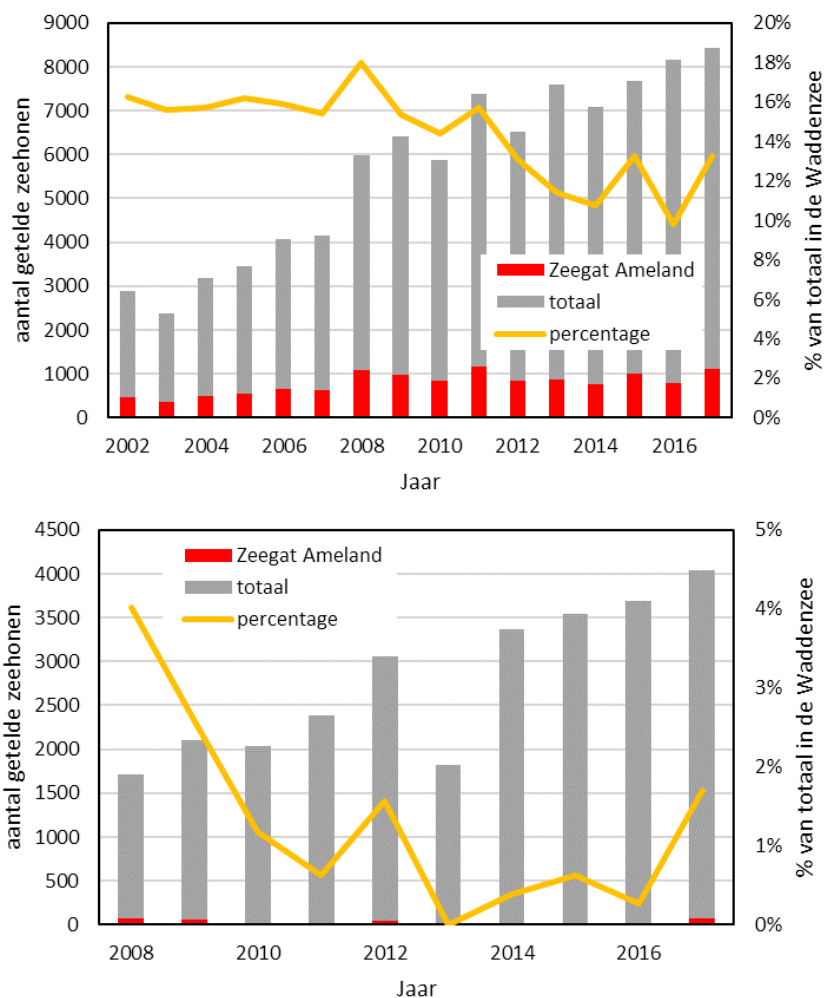
De gewone en grijze zeehond besteden hun tijd afwisselend aan foerageren in de wateren van de Noordzee en uitrusten op droogliggende platen in de Waddenzee en van enkele buitendelta's (Schipper en van Dalftsen, 2017). De populaties van de gewone (*Phoca vitulina*) en de grijze zeehond (*Halichoerus grypus*) in de Waddenzee worden sinds 1959 jaarlijks gemonitord in opdracht van het ministerie van LNV. De tellingen worden uitgevoerd als wettelijke onderzoekstaak (WOT) (Brasseur e.a., 2013).

Bruinvissen worden regelmatig gezien langs de Nederlandse kust en steeds vaker in de zeegaten. De verspreiding van bruinvissen wordt gemonitord in het kader van internationaal gecoördineerde metingen, zoals die door het programma Small Cetacean Abundance survey in the North Sea and adjacent waters (SCANS) (van Dalftsen, 2016). Sinds de 90'er jaren is het aantal bruinvissen toegenomen (Camphuysen, 2004). Bruinvissen zijn goed in staat te bivakkeren in ondiepe getijdewateren en komen in de Noordzeekustzone praktisch tot aan de branding voor. Ook worden de laatste jaren steeds vaker bruinvissen in de zeegaten en in de Eems gezien en kwamen ze, voordat de Afsluitdijk werd aangelegd, tot in de Zuiderzee voor. Of bruinvissen ook gericht gebruik maken van de (vis in de) buitendelta's is evenwel onbekend (Leopold en Baptist, 2016). Een studie in de Buiten-Hebriden (westelijk Schotland) heeft laten zien dat bruinvissen een voorkeur kunnen hebben voor foerageren in gebieden met een zeer sterke getijdestroming en hoge turbulentie (Benjamins e.a., 2016). Directe observaties aan bruinvissen in andere gebieden met een sterke getijdestroming hebben ook laten zien dat deze dieren gebruik maken van dit type habitats (Pierpoint, 2008; IJsseldijk e.a.,

2014). Zeegaten, inclusief buitendelta's, zijn dus in potentie gebieden waar bruinvissen voorkomen. Echter, het belang van de buitendelta's als specifiek leefgebied en/of foerageergebied voor bruinvissen is niet bekend.

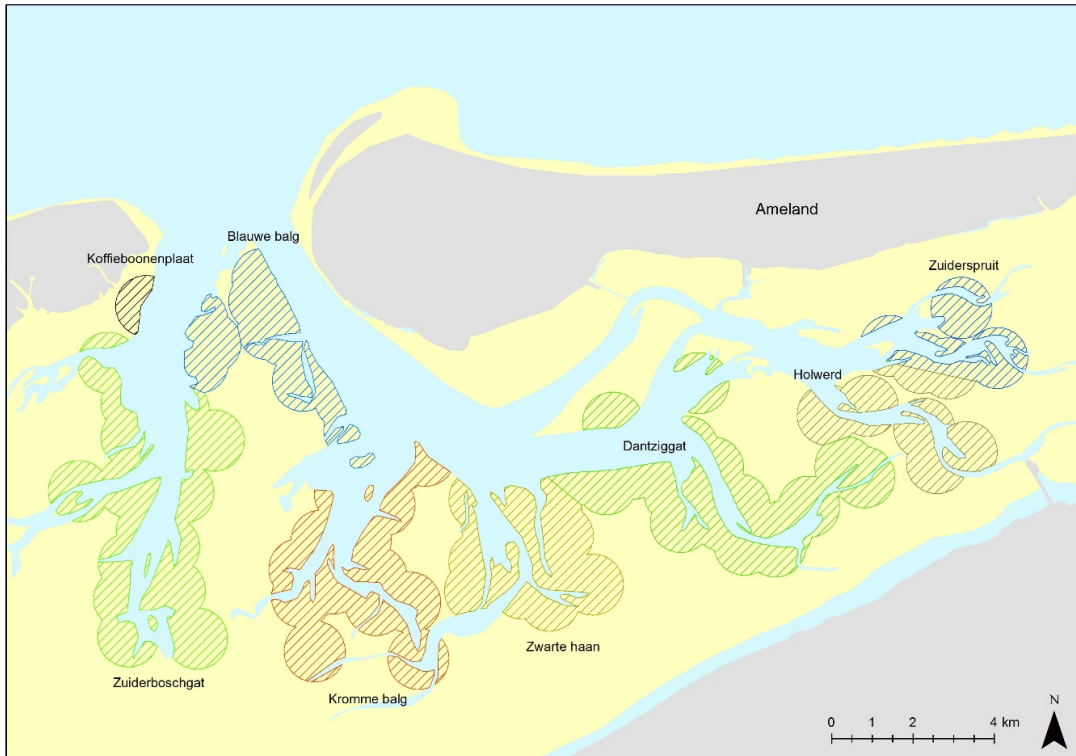
2.5.2 Ontwikkeling en verspreiding van zeehonden rondom het Amelander Zeegat

Zowel de gewone als de grijze zeehond maken deel uit van internationale zeehondenpopulaties waarbij er regelmatige uitwisseling is tussen de verschillende landen. Jaarlijks worden de zeehonden daarom tijdens de verharing geteld bij internationaal gecoördineerde tellingen. Deze aantallen dienen als index voor het werkelijke aantal zeehonden in het gebied. De index kan gebruikt worden om bijvoorbeeld de ontwikkeling van de populatie (Cremer e.a., 2017) te volgen. Tijdens de verharing maken de dieren relatief meer gebruik van zandplaten en daarom worden in die periodes vaak ook de grootste totale aantallen geteld. Lokaal kan het aantal dieren op de zandplaten echter variëren. De ligplaatsen die veel gebruikt worden tijdens de voortplanting hoeven niet per definitie gebruikt te worden tijdens het verharen of bij het foerageren. In de Waddenzee verhaart de grijze zeehond in maart/april, en de gewone zeehond in augustus. Figuur 2.28 laat zien hoe in deze periode de aantallen zich in het Nederlands deel van de Waddenzee hebben ontwikkeld en hoe naar verhouding de ontwikkeling is in het Amelander Zeegat. Opvallend is de daling sinds 2010 in het relatief belang van het Amelander Zeegat voor de aantallen zeehonden ten opzichte van de totale aantallen.



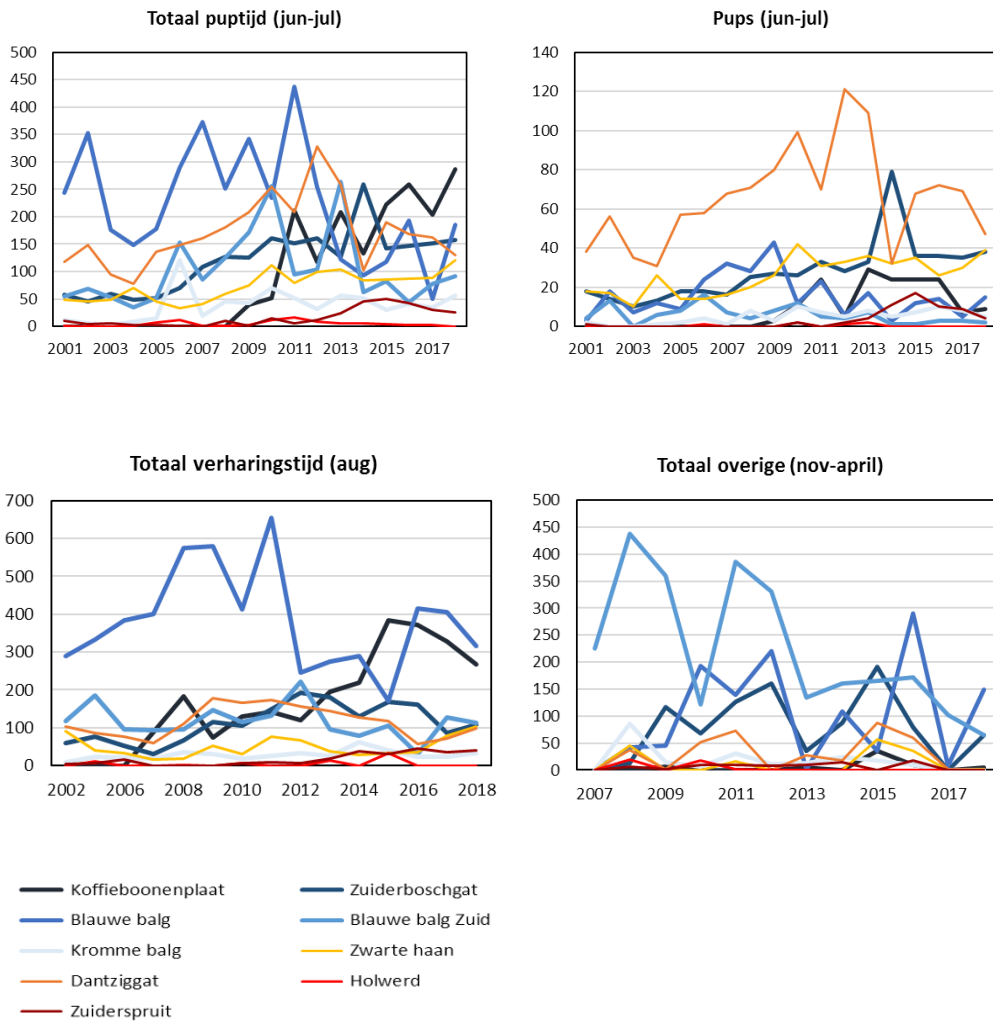
Figuur 2.28: Aantal gewone zeehonden (boven) en grijze zeehonden (onder) die gebruik maken van het zeegat ten westen van Ameland (rood; zie voor de definitie van gebied (Cremer e.a., 2017)) ten opzichte van de totale aantallen in de Nederlandse Waddenzee. Ter verduidelijking is met de gele lijn het relatief belang t.o.v. de gehele Nederlands Waddenzee aangegeven in percentages.

Deze tellingen zijn een index voor de totale aantallen. Op populatieschaal kan men aannemen dat in de zomermaanden ongeveer 32% zich in het water bevindt (Ries e.a., 1998). Dit geldt echter op populatieniveau en kan per ligplaats variëren, afhankelijk van bijvoorbeeld de samenstelling van de groep op de plaat. Jonge dieren die niet aan de voortplanting meedoen zullen naar verwachting minder lang en frequent op de kant liggen dan de volwassenen. Ook kan afhankelijk van het geslacht of leeftijd de timing van bijvoorbeeld de verharing variëren (Härkönen e.a., 1999). Het wadgebied tussen Terschelling en Ameland, dat omsloten wordt door land en wantijen, kan grofweg in acht gebieden opgedeeld worden waarbinnen zeehonden op ligplaatsen gezien worden (Figuur 2.29). Zeehonden gebruiken het gebied verschillend in het seizoen, maar ook per jaar. In het algemeen verspreiden de dieren zich vooral op de zandplaten in het westen in de buurt van de kustdelta. Uit Figuur 2.30 wordt duidelijk dat buiten de puptijd vooral de gebieden die in Figuur 2.29 met een blauwe kleur zijn aangeduid (Blauwe Balg (zuid), Koffiebonenplaat) en het dichtst bij de delta zijn gelegen, de grootste aantallen herbergen. Echter de pups worden vooral gezien op de platen bij het Dantziggat, Zwarte haan en Zuiderbosgat.

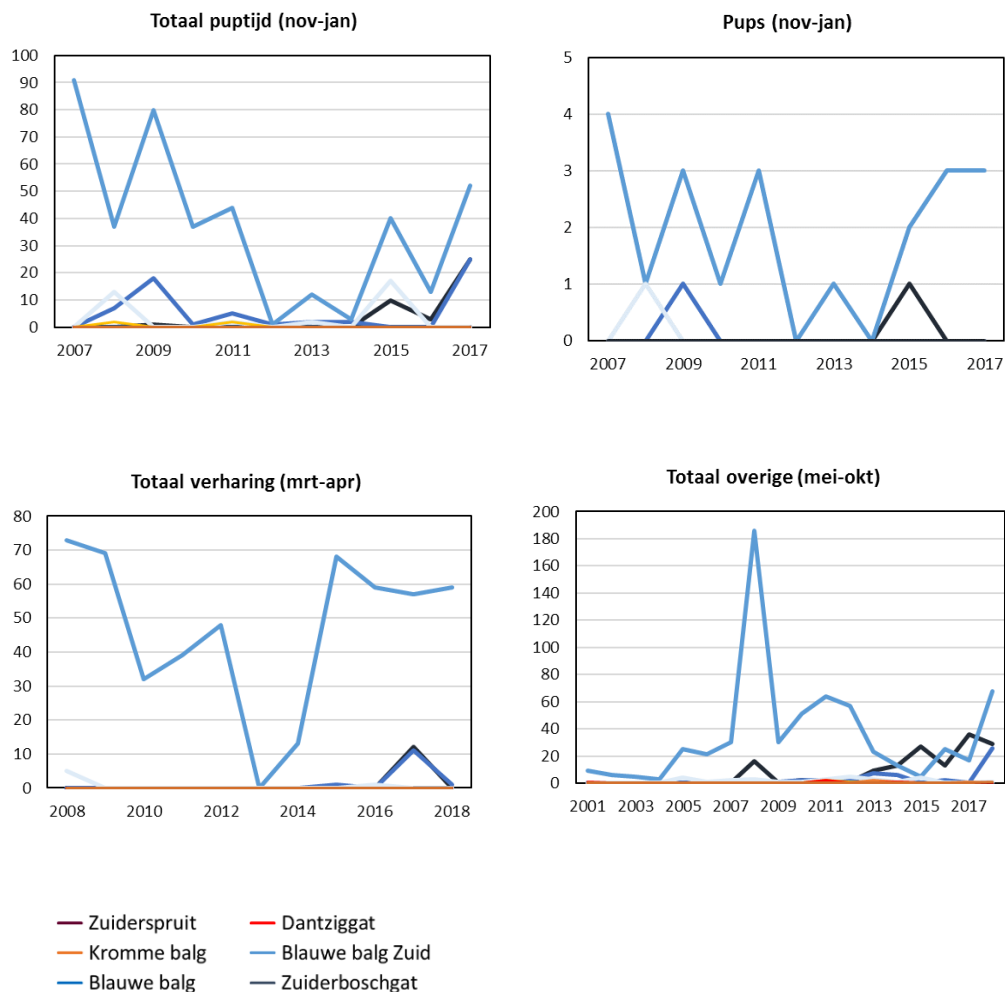


Figuur 2.29: Verspreiding van de ligplaatsen van zeehonden in het stroomgebied onder Ameland.

Grijze zeehonden worden weinig gezien op de platen in het oostelijke deel van het gebied. Verreweg de hoogste aantallen worden geteld op en rond de Blauwe balg (Figuur 2.31). Het aantal grijze zeehonden is beduidend lager dan het aantal gewone zeehonden, en er worden voornamelijk weinig grijze zeehondenpups geteld in dit gebied. De groeiende populatie grijze zeehonden wordt vooral in het westelijk deel van de Waddenzee op de ligplaatsen tussen Texel en Terschelling gezien (Brasseur e.a., 2015). Naar verwachting zullen ze zich met de jaren ook meer naar het oosten uitbreiden.



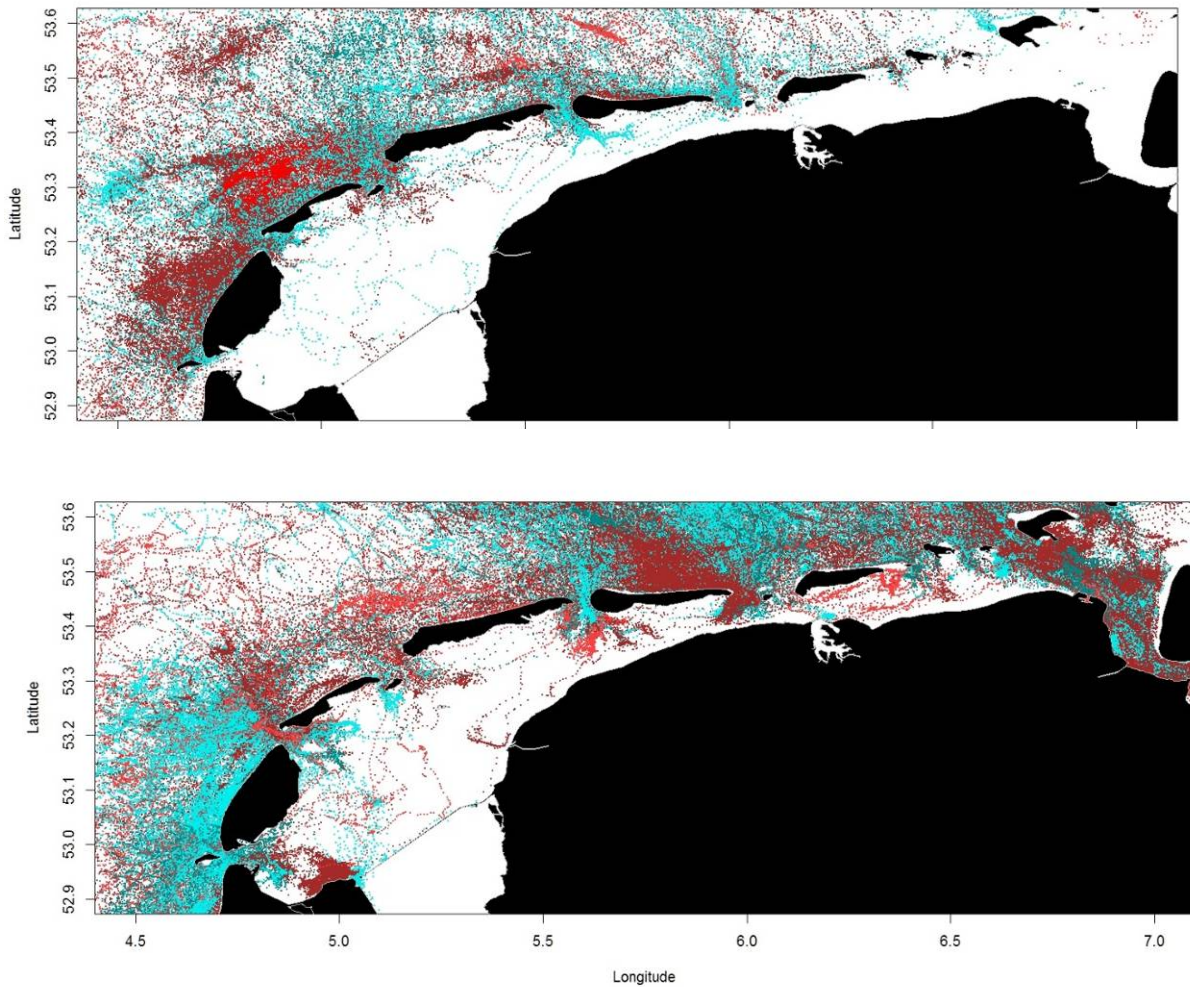
Figuur 2.30: Aantalsverhouding van de maximaal getelde gewone zeehonden in het gebied bij Ameland (zie Figuur 2.28) in verschillende seizoenen. Verschillende gebieden (Figuur 2.29) worden met verschillende kleuren aangegeven.



Figuur 2.31: Aantalsverhouding van de maximaal getelde grijze zeehonden in het gebied bij Ameland in verschillende seizoenen. Verschillende gebieden worden met verschillende kleuren aangegeven.

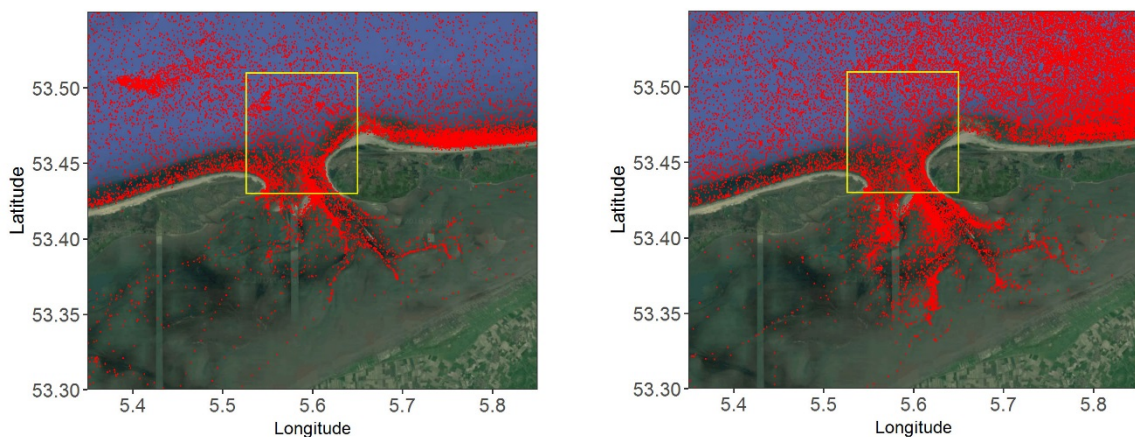
2.5.3 Zenderdata zeehonden

Beide zeehondensoorten worden op de zandplaten waargenomen en geteld; ze brengen in Nederland echter ongeveer 80% van hun tijd door op zee (Brasseur, 2017). In het kader van diverse projecten zijn in de afgelopen decennia in Nederland regelmatig gewone en grijze zeehonden gezenderd om hun gedrag en bewegingen op zee te kunnen volgen (Brasseur e.a., 2012; Aarts e.a., 2013; Brasseur en Kirkwood, 2016; Kirkwood e.a., 2016; Brasseur, 2017). Meer recente zenders, waarbij de gegevens per GSM worden doorgestuurd en de locatie door GPS wordt bepaald, maken het mogelijk ook gedetailleerde duik informatie te verkrijgen. Zonder dat de data specifiek hiervoor zijn verzameld, kan men hiermee een eerste beeld krijgen van de gedragingen van de zeehonden in het doelgebied de kustdelta bij Ameland. Uit Figuur 2.32 blijkt de dekking van deze zenderdata voor zowel de gewone als de grijze zeehond langs de kustzone van de Waddenzee. Gewone zeehonden spenderen een groot deel van de tijd door in de kustzone waarbinnen de kustdelta's vallen, waarbij ze gemiddeld 31% van die tijd aan het duiken zijn (Aarts e.a., 2019). Voor grijze zeehonden is dit percentage niet bepaald, echter naar verwachting is dat het in dezelfde orde van grootte zal zijn. De verwachting is dat er voldoende data zijn voor een eerste analyse.



Figuur 2.32: *Overzicht van de beschikbaar zeehondendata. Boven grijze zeehonden beneden gewone zeehonden. Blauwe tinten geven vrouwtjes aan; rode mannetjes. De locatie van de dieren is afhankelijk van waar de dieren gezenderd zijn, duidelijk is echter dat de kustdeltas veelvuldig gebruikt worden. Data van o.a.: (Kirkwood e.a., 2015; Aarts e.a., 2016; Brasseur en Kirkwood, 2016).*

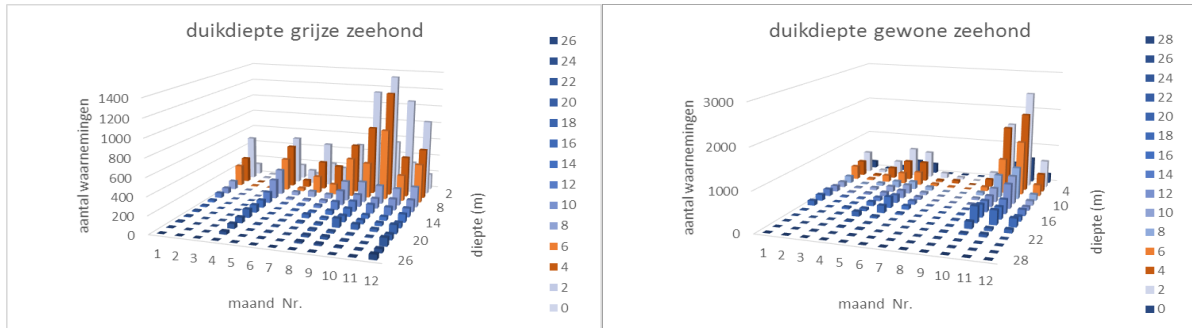
Bij gebrek aan een duidelijke begrenzing van het gebied waarbinnen de duikgegevens moesten worden geanalyseerd, is er voor de eerste analyse gefocust op een gebied rondom het zeegat (tussen 5.52 en 5.65° Oost en 53.43 en 53.51° N; Figuur 2.33). In het kombergingsgebied achter de Amelander delta werd maar een deel van de dieren gezenderd; 14 grijze zeehonden en 3 gewone zeehonden. Het gebied werd echter door 65 gezenderde gewone zeehonden en 34 grijze zeehonden bezocht, wat betekent dat deze afkomstig zijn van andere gebieden.



Figuur 2.33: *GPS locaties van grijze (links) en gewone zeehonden (rechts) gebruikt voor de analyse*

gele vierkant laat de uitsnede zien.

In totaal werden er bijna 55.000 duiken van zeehonden in dit gebied geregistreerd (23.000 duiken van grijze zeehonden en 31.000 gewone zeehonden). Omdat de zeehonden een duidelijk seizoenspatroon vertonen, is voor beide soorten per maand een histogram van de duiken gemaakt (Figuur 2.34). Er zijn echter geen zendergegevens verzameld in de aanloop naar de verharingsperiode, aangezien de zenders die op de vacht van de zeehonden geplakt worden in die periode loslaten. De eerstvolgende mogelijkheid om te zenderen is vlak na de verharing, ongeveer een maand later.



Figuur 2.34: Seizoensvariatie in de verdeling van de duiken in verschillende diepte categorieën. Histogrammen zijn per maand gepresenteerd. Links de grijze zeehond, rechts de gewone. Duikdiepte categorieën van 4 en 6 meter zijn in een bruine kleur.

Uit de figuur is duidelijk dat er meer data zijn verzameld in sommige maanden dan in anderen. Toch is duidelijk dat de duikdieptes tussen 4 en 6 meter in dit gebied voor beide soorten belangrijk zijn. Dit zou men kunnen interpreteren als foerageerdiepte (Aarts e.a., 2019). Echter zeehonden kunnen ook onderweg naar de bodem duiken, waarbij ze niet noodzakelijk foerageren. Een meer uitgebreide analyse van de duiken waarbij niet alleen de maximale diepte zoals hier, maar ook de diepteprofielen worden meegenomen zou hier mogelijk een uitweg bieden.

Samenvattend kan men aannemen dat zowel een groot aantal gewone zeehonden (een maximale telling van >1300 dieren in 2012; recente telling >1000) als grijze zeehonden (maximum van <200 in 2008, recentelijk <80 dieren), gebruikmaken van het stroomgebied onder Ameland. Duidelijk is ook dat de dieren afhankelijk zijn van de buitendelta's tussen de eilanden. Immers de dieren liggen op de zandplaten in de Waddenzee en trekken naar de Noordzee om te foerageren. In de delta's duiken grijze zeehonden, afhankelijk van onder andere het seizoen, 27% en 45% van de tijd naar dieptes van 4 tot 6 meter- een diepte die overeenkomt met de ondiepe delen in de delta's. Bij gewone zeehonden varieert dit tussen 15% en 36%. Op basis van de gegevens gepresenteerd in dit rapport wordt aangetoond dat beide soorten zeehonden een deel van hun tijd in de kustdelta's doorbrengen. Dit geldt ook voor de kustdelta van Ameland. Niet alleen de dieren die in het zeegat van Ameland op de kant komen, worden in dit gebied gezien, maar ook, zo blijkt uit de zender data, zeehonden uit andere gebieden. Deze eerste analyse is niet gedetailleerd genoeg om te kunnen aantonen of de buitendelta's belangrijke foerageergebieden vormen voor zeehonden. Meer gedetailleerd onderzoek naar dieet, duikgedrag en mogelijk modelleren van het gedrag in vergelijking met aanwezige vis kan uitwijzen of er sprake is van foerageerduiken in het gebied of dat de dieren aan het doorreizen zijn naar foerageerplekken op de Noordzee.

3 Conclusies en aanbevelingen

In dit synthese rapport hebben we de beschikbare informatie over de ecologie van buitendelta's op een rij gezet om mogelijke effecten van zandsuppleties in kaart te brengen. Hierbij vormden een aantal onderzoeksvragen de leidraad. We geven hieronder de conclusies en aanbevelingen voor elk van die onderzoeksvragen.

- “Wat zijn de kenmerken en natuurwaarden van het (eco)systeem van de buitendelta's van de waddenkust en wat zijn mogelijke effecten van suppleties op dit ecosysteem”.

Dit synthesesrapport bouwt voort op drie studies naar de ecologische waarden van buitendelta's (Leopold en Baptist, 2016; van Dalssen, 2016; Schipper en van Dalssen, 2017). Aanvullend op deze studies zijn de resultaten van de T₀-metingen aan benthos en zandspiering samengevat en zijn de resultaten uit de pilotstudie naar de foerageerlocaties van grote sterns en zenderstudies van zeehonden opgenomen. Het rapport bevat ook een literatuuroverzicht van mogelijke effecten van suppleties op ecosystemen.

Uit de T₀-meting benthos bleek dat het geplande suppletiegebied uit grof zand (NEN 5104 classificatie) met weinig organisch materiaal bestaat en qua soorten een relatief arm gebied is. Er komen voornamelijk kleine kreeftachtigen en wormen voor die kenmerkend zijn voor ondiepe dynamische kustgebieden. Deze soorten zullen worden begraven door een laag sediment van enkele meters. Na afloop van de suppletiewerkzaamheden zal rekolonisatie plaatsvinden. De soortensamenstelling in de T₀ bestond uit soorten die zijn ingesteld op een dynamisch milieu, waarbij de bovenste laag van het zand regelmatig wordt omgewoeld door golfactie en waar organisch materiaal slechts sporadisch tot bezinking komt. Dit zijn kortlevende opportunistische soorten met een hoge reproductie- en verspreidingscapaciteit (r-strategen). De verwachting is dat rekolonisatie tot de huidige soortensamenstelling en dichtheden zich binnen een jaar kan instellen.

Het is niet bekend hoe het traject van rekolonisatie binnen een termijn van een jaar verloopt, en bijvoorbeeld, of er in het voorjaar al kleine wormen en kreeftachtigen in voldoende dichtheid voorkomen om als voedsel te dienen voor juveniele vissen. Het is daarom aan te bevelen om benthosbemonsteringen uit te voeren op de locatie van de pilotsuppletie kort na de afronding van de suppletie. De suppletie heeft plaatsgevonden in fases, waardoor de meeste gebieden al in de loop van 2018 afgerond zijn, en maar in enkele gebieden nog verstoring plaatsvindt begin 2019. De mogelijkheid bestaat dat bij een bemonstering direct na afronding van de suppletie rekolonisatie in de meeste gebieden al vergevorderd is. Deze bemonstering zou dan verschillen in rekolonisatie tussen deelgebieden binnen het gesuppleerde gebied inzichtelijk kunnen maken. Eventueel kan er met een frequentie van bijvoorbeeld twee maanden een opvolgingsbemonstering plaats om zo het rekolonisatie proces in beeld te krijgen tot aan september 2019. Er wordt verder aanbevolen om dan in september 2019 een T₁-meting te doen naar de benthische soortgemeenschap op dezelfde wijze en in dezelfde stations als de T₀-meting, waarmee een vergelijking met de benthos gemeenschap in de totale buitendelta in de T₀ mogelijk wordt.

- “Wat is de samenstelling van de visgemeenschap in tijd en ruimte in het gebied van de buitendelta van het Amelander Zeegat en is een suppletie van 5 tot 6 Mm³ hierop van invloed?”

Dit synthesesrapport heeft een samenvatting gegeven van de resultaten van de beide T₀-metingen in september 2017 en juni 2018 die waren gericht op de ruimtelijke verspreiding en dichtheid van zandspiering. De gebruikte vismethode is niet geschikt om de samenstelling van de gehele visgemeenschap te bepalen. De onderzoeksvraag gericht op de samenstelling van de visgemeenschap kan daardoor niet beantwoord worden. Er zijn echter wel meer vissoorten aangetroffen dan de doelsoort zandspieringen. Met name in het juni zijn er juveniele platvissen aangetroffen ook in de

locaties het dichtstbij de suppletie locatie. Overige vissoorten zijn maar sporadisch gevangen. Doordat gebruikte vismethode niet geschikt is voor deze soorten valt hier geen conclusie aan te verbinden.

De resultaten van de T_0 -metingen aan zandspiering lieten zien dat er drie soorten zandspiering in de buitendelta van het Amelandse Zeegat voorkomen. Het meest algemeen waren de Kleine zandspiering en de Noorse zandspiering. Sporadisch werd ook Smelt aangetroffen. De metingen lieten zien dat Noorse zandspiering zich vaker ophoudt in diepere stroomgeulen en diepere delen aan de buitenzijde van het zeegat, terwijl Kleine zandspiering zich voornamelijk in de ondiepere gedeelten ophield.

Er is maar één monster genomen op de rand van het suppletiegebied. Hier zijn kleine en Noorse zandspiering aangetroffen. Direct ten oosten van de suppletie locatie zijn de hoogste aantallen Noorse en kleine zandspiering aangetroffen, met name juveniele kleine zandspiering (de reden dat de suppletie hier niet is uitgevoerd). Direct ten noorden van de suppletie locatie is geen zandspiering aangetroffen. De noordelijke monsters liggen echter veel dieper, terwijl de trekken direct oostelijk in een vergelijkbaarder gebied zijn uitgevoerd. Naar verwachting komt er zandspiering voor in het suppletiegebied.

Het is op dit moment nog niet mogelijk om te beoordelen of een suppletie van 5 tot 6 Mm^3 in de buitendelta van het Amelandse Zeegat van invloed is op de samenstelling van de zandspiering-gemeenschap in deze buitendelta. Hiervoor zullen vervolgmetingen moeten plaatsvinden. Aangezien het voorkomen van zandspiering in deze studie met name van belang is tijdens de broedperiode van de grote stern is het aan te bevelen om de survey te herhalen in juni 2019. Hierbij kan dan ook worden onderzocht of zandspiering voorkomt in het gesuppleerde gebied waarmee de vraag kan worden beantwoord of er na de pilotsuppletie nog de mogelijkheid is voor zandspiering om zich te vestigen in de suppletie locatie.

- “Zijn er vogelsoorten waarvoor de buitendelta van het Amelandse Zeegat een belangrijk rust- en of foerageergebied vormt en zo ja, is er een relatie tussen de verspreiding over en het gebruik door vogels van deze buitendelta en specifieke onderdelen van de buitendelta en is een suppletie van 5 tot 6 Mm^3 hierop van invloed?”

Uit eerdere studies bleek dat er slechts spaarzame gegevens bekend zijn over de belang van buitendelta's voor vogelsoorten, en hieruit blijkt dat het vooral van belang is als foerageergebied voor viseters zoals sterns, duikers en aalscholvers. Er ontbreken echter gerichte tellingen aan het voorkomen van deze soorten in buitendelta's.

Eén van de soorten waarvoor buitendelta's van belang zijn, is de grote stern, een beschermde broedvogel van de Waddeneilanden. Dit syntheserapport beschrijft de eerste resultaten van de pilotstudie naar grote sterns uit de broedkolonie Utopia op Texel. Uit deze studie blijkt dat grote sterns foerageren in zandige dynamische milieus nabij de eilandkoppen en in de buitendelta's, maar ook in zandige geulen in de Waddenzee. Het onderzoek liet zien dat de vliegrange van een grote stern beperkt is tijdens de kuikenperiode tot een gebied dichterbij de kolonie, maar hiervoor en hierna worden grote afstanden afgelegd tijdens foerageervluchten.

Er is geen onderzoek uitgevoerd naar grote sterns of andere vogelsoorten in het Amelandse Zeegat. Hiermee is de vraag of een suppletie van 5 tot 6 Mm^3 van invloed is op het gebruik van deze buitendelta door vogels niet goed te beantwoorden. De eerste resultaten van de studie met gezenderde grote sterns geeft aan dat er buiten de kuikenperiode een grote flexibiliteit aan keuze voor foerageerlocaties is en dat er voldoende alternatieven lijken te zijn voor een verlies aan foerageerhabitat. Hoe dit uitpakt voor (eventuele) broedende grote sterns op Ameland in het geval van een suppletie op de buitendelta gedurende de kuikenperiode is op basis van deze studie niet te zeggen.

- “Vormen de buitendelta's belangrijke foerageergebieden voor de grijze zeehond, de gewone zeehond en de bruinvis en zo ja, is er dan een relatie tussen het gebruik als foerageergebied en specifieke onderdelen van de buitendelta en is een suppletie van 5 tot 6 Mm^3 hierop van invloed?”

Dit synthese rapport geeft een overzicht van de ontwikkeling en verspreiding van zeehonden rondom het Amelandse Zeegat. De twee beschermde zeehondensoorten, de gewone zeehond en de grijze zeehond, komen in grote aantallen voor in het gebied. Er werden in 2017 circa 1000 gewone zeehonden en >70 grijze zeehonden geteld. Dit is een onderschatting omdat bij de telling een deel van de dieren in het water zijn en niet geteld kunnen worden (geschat op circa een derde van de populatie gedurende de zomermaanden).

Naast de tellingen, wordt een overzicht gegeven van de duiken van gezenderde zeehonden. Deze data zijn verzameld in het kader van eerdere projecten. Zeehonden bevinden zich gemiddeld ongeveer 80% van de tijd op zee om te foerageren. De dieren die de zandplaten tussen Terschelling en Ameland gebruiken, zullen de geul tussen deze eilanden gebruiken om tussen de ligplaatsen en hun foerageergebied te trekken, mogelijk wordt ook een deel van de tijd daar ook gefoerageerd. Het foerageergedrag is seizoensafhankelijk en gezien de verschillen in voortplantingsseizoenen zullen de seizoenspatronen verschillen tussen de gewone zeehond en de grijze zeehond. Afhankelijk van de timing en locatie kan dus een suppletie zowel de uitwisseling tussen de platen in de Noordzee als het foerageergedrag beïnvloeden. Er is specifiek gekeken naar het duikgedrag in de buitendelta. Hieruit blijkt dat gewone zeehonden 15% en 36% van de tijd naar dieptes van 4 tot 6 meter doken. Grijze zeehonden doken relatief vaker op deze diepte: 27% en 45%. Uit deze eerste analyse blijkt het waarschijnlijk dat zeehonden lokaal foerageren maar is dit niet met zekerheid te zeggen, het is immers bij deze eerste analyse niet op te maken of de dieren bij elke duik foerageren.

Voor meer detail over gedrag van de dieren is aan de ene kant een uitgebreidere analyse van de individuele duiken nodig en aan de andere kant inzicht in de beschikbare prooien en dieet van de zeehonden die dit gebied gebruiken. gedetailleerd onderzoek is nodig om het foerageergedrag te kunnen onderscheiden van verplaatsingen naar een foerageergebied. Dieet analyse zal nodig zijn om de lokale prooikeuze te identificeren en daarmee het relatieve belang van de kustdelta te bepalen. De mate waarin de dieren afhankelijk zijn van specifieke prooien uit dit specifieke gebied zal bepalen of een suppletie invloed zal hebben op zeehonden en hoe dit mogelijk doorwerkt op de populaties. Onafhankelijk hiervan moet men rekeninghouden met het feit dat dit gebied intensief door de dieren gebruikt wordt waarbij mogelijk verstoring op kan treden bij suppletiewerkzaamheden.

De mogelijke effecten van een suppletie zijn nog moeilijk in te schatten, dit zal afhangen van onder meer de exacte locatie (en eventuele overlap met trekroute of foerageerlocatie), de duur van de werkzaamheden en de periode waarin dit wordt uitgevoerd. Zo is het denkbaar dat een obstructie in een foerageergebied of op de trekroute een ander effect zal hebben in een periode waarin de zeehonden minder gefocust zijn op eten dan wanneer bijvoorbeeld na de verharing wanneer ze juist moeten herstellen van het energieverlies.

4 Lessons learned

Er was, en nog steeds is, zeer beperkte kennis over de ecologie van de zeegaten en buitendelta's van de Waddenzee. Nagenoeg alle kennis was gebaseerd op expert beoordeling of extrapolatie vanuit de Waddenzee dan wel de Noordzeekustzone gegevens. De reden is dat het een moeilijk te bemonsteren gebied is vanwege de ondiepte en de stromingen. De bemonsteringen uitgevoerd binnen het meetprogramma Ecologie Buitendelta Amelanders Zeegat hebben daarmee direct bijgedragen aan het vergroten van de kennis en bevestigden de aan- of afwezigheid van voorspelde soorten en gemeenschappen. De bemonsteringen hebben bevestigd dat het bentische systeem vooral bestaat uit soorten die aangepast zijn aan een hoog dynamisch systeem. Met uitzondering van de lager dynamische delen, waar o.a. schelpdieren zijn aangetroffen. Daarnaast is aangetoond dat juveniele en adulte zandspiering, zowel de Noorse als de Kleine, maar ook een aantal platvissoorten in hun juveniele stadium gebruikmaken van het Amelanders Zeegat.

Het is waarschijnlijk dat het aangetroffen beeld in aanwezigheid en verspreiding van de soorten in relatie tot de morfologie consistent is over de jaren, ofwel zandspiering zal er ieder jaar aanwezig zijn en het benthos zal een hoogdynamische gemeenschap blijven. Echter is er duidelijk seizoensvariatie waargenomen in zandspiering en platvis en is er op de kleine schaal ruimtelijke variatie in abundantie en soortensamenstelling van het benthos en vis. Ook zijn enkele soorten, zoals bijvoorbeeld de halfgeknotte strandschelp en juveniele schol, aangetroffen in dezelfde ordegrootte als in dezelfde periode in omliggende gebieden. Voor deze omliggende gebieden waren de aangetroffen dichtheden voor deze soorten hoog in vergelijking met eerdere jaren, wat het aannemelijk maakt dat ook de aangetroffen dichtheden in het Amelanders Zeegat hoog waren en niet het gemiddelde dichtheidsniveau representeren.

Als basisniveau, ofwel een T_0 , voor een zogenoemde BACI (Before-After-Control Impact) benadering, is een goed inzicht in de variatie in tijd en ruimte nodig om eventuele effecten van de ingreep te kunnen aantonen. Ook is het wenselijk om vergelijkbare controlegebieden te bemonsteren om algemene patronen te kunnen onderscheiden van de eventuele effecten van de ingreep. In de hier beschreven studie ontbreekt een goed controlegebied, is de uitgangssituatie beperkt bemonsterd, de variatie in de aangetroffen bemonstering groot, en kon in de zandspiering bemonstering niet het gehele programma bemonsterd worden. Daarom is hier geen sprake van een goede BACI opzet en kan als gevolg daarvan ook geen causale relatie met de suppletie gelegd worden. In het vervolgetraject dient er dus rekening mee gehouden te worden dat alleen overduidelijke effecten (volledig verdwijnen zandspiering of benthos of het verschijnen van schelpbanken op de suppletielocatie) aangetoond kunnen gaan worden, subtielere veranderingen zoals een afname in biomassa zullen niet kunnen toegeschreven worden aan de suppletie.

Het extrapoleren van de resultaten in het Amelanders Zeegat naar effecten van suppleties in de buitendelta's of naar effecten op populatieniveau zal beperkt mogelijk zijn. De omstandigheden verschil tussen de verschillende gaten, zoals de bemonstering van zandspiering in het Eierlandse Gat heeft laten zien. Voor het extrapoleren van veranderingen naar populatieniveau is kennis nodig over de populatie in het de Noordzeekustzone of zelfs de Noordzee. Deze kennis is voor de onderzochte soorten, benthos en zandspieringen zeer beperkt. Het zou goed zijn om te onderzoeken welk deel van de populatie zich bevindt in en of er eventuele cruciale levensfase afhankelijk zijn van de zeegaten en buitendelta's. Dat vereist echter onderzoek op een grotere schaal dan nu gebeurt en ook een aanpak die meer behelst dan alleen bemonsteringen.

Naast de ecologische kennis is er ook aanvullende kennis opgedaan op het praktische gebied. Het gebruikte tuig voor de zandspieringbemonstering was in de Nederlandse wateren niet eerder ingezet. Er werd zandspiering mee gevangen in het Amelanders Zeegat welke duidelijk uit de grond afkomstig was, net als de schelpdieren die in sommige gebieden in grote getalen gevangen werden. Deze zouden hoogstwaarschijnlijk met een standaard boomkor niet gevangen zijn. Uit de bemonstering in het

Eierlandse Gat blijkt echter dat het tuig (met de huidige maaswijdte om kleine zandspiering te vangen) niet overal met dezelfde configuratie inzetbaar is, doordat er veel sediment in het net komt. Als dat te grof is, spoelt het niet snel genoeg uit het net.

De vangstefficiëntie (welk deel van de aanwezige zandspiering wordt hiermee uit de grond gehaald) van de zandspieringkor is onbekend, waardoor een absolute inschatting van de aanwezigheid van zandspiering niet mogelijk is. Dit is bij de meeste andere vistuigen ook het geval, maar omdat deze al vaker ingezet zijn, is het wel kwalitatief (slecht, redelijk, goed) mogelijk een inschatting van de vangstefficiëntie te maken. Dit is voor de zandspieringkor nog niet mogelijk. Helaas waren de zandspierungen aangetroffen in de boxcorer monsters in het Amelander Zeegat niet geregistreerd. Dit wordt wel geadviseerd voor eventueel volgende bemonsteringen. Deze gegevens van de boxcorer zouden een indicatie kunnen geven van de dichtheid van zandspiering, waarmee de dichtheid gebaseerd op de vangst van de zandspieringkor vergeleken kan worden. Een relatieve vangstefficiëntiebepaling door middel van een vergelijking met andere tuigen, zoals de benthosschaaf, is praktisch moeilijk uitvoerbaar in de buitendelta omdat schepen die dit tuig kunnen hanteren dieper in het water liggen dan mogelijk is in de buitendelta. Deze vergelijking zou mogelijk wel in een ander gebied plaats kunnen vinden.

De begaanbaarheid van het gebied blijft voor volgende bemonsteringen een aandachtspunt. Tijdens de benthosbemonstering moest er eerder dan verwacht worden overgestapt naar een ondieper stekend schip. En zelfs met dit schip waren niet alle gebieden bereikbaar, in ieder geval niet onder alle weersomstandigheden. Ook tijdens de zandspieringbemonstering, met name in 2018 met een iets dieper stekend schip dan in 2017, waren locaties tijdens laag water niet te bereiken. Weersomstandigheden waarbij normaal gesproken bemonsteringen op zee uitgevoerd kunnen worden, blijken in het zeegat moeilijkheden te veroorzaken door de golfslag en stroming. Succesvolle bemonsteringen zijn dus sterk weersafhankelijk, en flexibiliteit in de uitvoering in tijd en personele inzet is noodzakelijk om een volledige bemonstering uit te kunnen voeren.

5 Kwaliteitsborging

Wageningen Marine Research beschikt over een ISO 9001:2015 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem. Dit certificaat is geldig tot 15 december 2021. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV GL.

Literatuur

- Aarts, G., S. Brasseur, S. Geelhoed, R. van Bemmelen en M. Leopold (2013) Grey and harbour seal spatiotemporal distribution along the Dutch West coast. C103/13 IMARES Wageningen UR, 63 pagina's.
- Aarts, G., J. Cremer, R. Kirkwood, J. T. van der Wal, J. Matthiopoulos en S. Brasseur (2016) Spatial distribution and habitat preference of harbour seals (*Phoca vitulina*) in the Dutch North Sea. Wageningen Marine Research report
- Aarts, G., S. M. J. M. Brasseur, J. J. Poos, J. Schop, R. Kirkwood, T. van Kooten, E. Mull, P. J. H. Reijnders, A. D. Rijnsdorp en I. Tulp (2019) Top-down pressure on a coastal ecosystem by harbor seals. *Ecosphere* 10(1): e02538.
- Arcadis (2017) Uitvoeringsprotocol pilotsuppletie Amelanders Zeegat Uitvoeringseisen met oog op de Wet natuurbescherming, 079607618 B.
- Arts, F. A., S. Lilipaly en P. A. Wolf (2015) Midwintertelling van zee-eenden in de Waddenzee en Nederlandse kustwateren in november 2014 en januari 2015. RWS Centrale Informatievoorziening BM 15.16.
- Baptist, M., J. Tamis, B. Borsje en J. Van der Werf (2009) Review of the geomorphological, benthic ecological and biogeomorphological effects of nourishments on the shoreface and surf zone of the Dutch coast. IMARES/Deltares.
- Baptist, M., L. Bolle, B. Couperus, I. Tulp en R. van Hal (2017) Ecologisch Gericht Suppleren: meetplan geïntegreerde ecosysteem survey 2017. Wageningen Marine Research.
- Beijersbergen, R. (2016) Reizen langs de waterkant. De ecologie van de dwergstern *Sterna albifrons* op de Hooge Platen. Uitg. Eburon, Delft, 195p.
- Benjamins, S., A. Dale, N. van Geel en B. Wilson (2016) Riding the tide: use of a moving tidal-stream habitat by harbour porpoises. *Marine ecology progress series* 549: 275-288.
- Beyst, B., D. Buysse, A. Dewicke en J. Mees (2001) Surf Zone Hyperbenthos of Belgian Sandy Beaches: Seasonal Patterns. *Estuarine, coastal and shelf science* 53: 877-895.
- Beyst, B., K. Hostens en J. Mees (2002) Factors influencing the spatial variation in fish and macrocrustacean communities in the surf zone of sandy beaches in Belgium. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 82: 181-187.
- Bijkerk, R. (1988) Ontsnappen of begraven blijven: de effecten op bodemdieren van een verhoogde sedimentatie als gevolg van baggerwerkzaamheden: literatuuronderzoek, RDD, Aquatic ecosystems.
- Birklund, J. en J. Wijsman (2005) Aggregate extraction: A review on the effect of ecological functions. Sand pit report WL Z3297.
- Bolle, L. J., M. Dickey-Collas, J. K. L. van Beek, P. L. A. Erftemeijer, J. I. J. Witte, H. W. van der Veer en A. D. Rijnsdorp (2009) Variability in transport of fish eggs and larvae. III. Effects of hydrodynamics and larval behaviour on recruitment in plaice. *Marine Ecology Progress Series* 390: 195-211.
- Bosselmann, A. (1989), Larval plankton and recruitment of macrofauna in a subtidal area in the German Bight.
- Brasseur, S., G. Aarts, E. Meesters, T. v. Polanen Petel, E. Dijkman, J. Cremer en P. Reijnders (2012) Habitat preferences of harbour seals in the Dutch coastal area: analysis and estimate of effects of offshore wind farms.
- Brasseur, S. M. en P. J. H. Reijnders (1994) Invloed van diverse verstoringsbronnen op het gedrag en habitatgebruik van gewone zeehonden: consequenties voor de inrichting van het gebied. IBN.
- Brasseur, S. M., J. Cremer, E. Dijkman en J. Verdaat (2013) Monitoring van gewone en grijze zeehonden in de Nederlandse Waddenzee 2002-2012. Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu.
- Brasseur, S. M. J. M., T. D. van Polanen Petel, T. Gerrodette, E. H. W. G. Meesters, P. J. H. Reijnders en G. Aarts (2015) Rapid recovery of Dutch gray seal colonies fueled by immigration. *Marine Mammal Science* 31: 405-426.

- Brasseur, S. M. J. M. en R. J. Kirkwood (2016) Seal monitoring and evaluation for the Gemini offshore windpark: T-construction - 2015 report. IMARES, 52 pagina's.
- Brasseur, S. M. J. M. (2017) Seals in motion, Wageningen University, Wageningen.
- Brinkman, A., J. De Leeuw, M. Leopold, C. Smit en I. Tulp (2007) Voedseleecologie van een zestal schelpdieretende vogels. IMARES Texel.
- Brown & May Marine Ltd. (2012) Dogger Bank Creyke Beck Environmental Statement Chapter 13. Appendix E - Dogger Bank Sandeel Survey Reports. Document F-ONC-CH-013 Appendix E.
- Burlas, M., G. Ray en D. Clarke (2001) The New York District's Biological Monitoring Program for the Atlantic Coast of New Jersey, Asbury Park to Manasquan Sections Beach Erosion Control Project: Draft Pre-construction Baseline Studies Report, US Army Corps of Engineers.
- Buzzelli, C. P., R. A. Luetlich Jr, S. P. Powers, C. H. Peterson, J. E. McNinch, J. L. Pinckney en H. W. Paerl (2002) Estimating the spatial extent of bottom-water hypoxia and habitat degradation in a shallow estuary. *Marine ecology progress series* 230: 103-112.
- Camphuysen, C. (2004) The return of the harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) in Dutch coastal waters. *Lutra* 47: 113-122.
- Cheung, K. F., F. Gerritsen en J. Cleveringa (2007) Morphodynamics and sand bypassing at Ameland inlet, the Netherlands. *Journal of Coastal Research* 23: 106-118.
- Cleveringa, J., S. Mulder en A. Oost (2004) Kustverdediging van de koppen van de Waddeneilanden: de dynamiek van de kust nabij buitendelta's en passende maatregelen voor het kustbeheer. Rijkswaterstaat, RIKZ, Rapportnr.: 2004.017.
- Compton, T., S. Holthuijsen, A. Koolhaas, A. Dekinga, J. Ten Horn, J. Smith, Y. Galama, M. Brugge, J. Van der Meer en H. van der Veer (2012) Synoptic Intertidal Benthic Survey SIBES across the Dutch Wadden Sea: report on data collected from 2008-2010.
- Couperus, B., S. Gastauer, S. M. M. Fässler, I. Tulp, H. W. van der Veer en J. J. Poos (2016) Abundance and tidal behaviour of pelagic fish in the gateway to the Wadden Sea. *Journal of Sea Research* 109: 42-51.
- Cremer, J. S. M., S.M.J.M. Brasseur, A. Meijboom, J. Schop en J. P. Verdaat (2017) Monitoring van gewone en grijze zeehonden in de Nederlandse Waddenzee, 2002-2017. Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, 40 pagina's.
- Dekker, R. en J. Drent (2013) The macrozoobenthos in the subtidal of the western Dutch Wadden Sea in 2008 and a comparison with 1981-1982. NIOZ report 5.
- Dippner, J. W., K. Junker en I. Kröncke (2010) Biological regime shifts and changes in predictability. *Geophysical Research Letters* 37.
- Elias, E., A. Oost, A. Bruens, J. Mulder, A. Van der Spel, J. De Ronde, Z. Wang en J. Stronkhorst (2012) Buitendelta's: samenvatting bestaande kennis en opties voor zandsuppletie-pilots. Deltares rapport 1206188.
- Elias, E. en C. Oeveren-Theeuwes (2016) Informatie- en meetbehoefte ten behoeve van Kustgenese-2. Deltares, 1230658-000-ZKS-0008, 26 pagina's.
- Eriksson, M. O. (1985) Prey detectability for fish-eating birds in relation to fish density and water transparency. *Ornis Scandinavica*: 1-7.
- Essink, K. (1993) Ecosystem effects of dredging and dumping in the Ems-Dollard estuary and the Wadden Sea. RWS, RIKZ.
- Fu, L. (2018) Modeling Nourishment in the Ameland Inlet-a long-term and short-term study with Delft3D.
- Gittenberger, A. en W. Van Loon (2011) Common Marine Macrozoobenthos Species in the Netherlands, their Characteristics and Sensitivities to Environmental Pressures. RWS Waterdienst GiMaRIS.
- Greene, K. (2002) Beach nourishment: a review of the biological and physical impacts.
- Greenstreet, S. P. R., E. Armstrong, H. Mosegaard, H. Jensen, I. M. Gibb, H. M. Fraser, B. E. Scott, G. J. Holland en J. Sharples (2006) Variation in the abundance of sandeels *Ammodytes marinus* off southeast Scotland: an evaluation of area-closure fisheries management and stock abundance assessment methods. *ICES Journal of Marine Science* 63: 1530-1550.

-
- Gregory, R. en T. Northcote (1993) Surface, planktonic, and benthic foraging by juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) in turbid laboratory conditions. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 50: 233-240.
- Härkönen, T., K. C. Hårding en S. G. Lunneryd (1999) Age- and sex-specific behaviour in harbour seals *Phoca vitulina* leads to biased estimates of vital population parameters. *Journal of Applied Ecology* 36: 825-841.
- Henkel, L. A. (2006) Effect of water clarity on the distribution of marine birds in nearshore waters of Monterey Bay, California. *Journal of Field Ornithology* 77: 151-156.
- Herman, P., H. Meijer-Holzauer, S. Vergouwen, J. Wijsman en M. Baptist (2016) Ecologische effecten van kustsuppleties. Systeembeschrijving (Deel A), onderzoeksprioriteiten (deel B), en ontwerp uitvoeringsplan (deel C) Deltares rapport.
- Holland, G. J., S. P. R. Greenstreet, I. M. Gibb, H. M. Fraser en M. R. Robertson (2005) Identifying sandeel *Ammodytes marinus* sediment habitat preferences in the marine environment. *Marine Ecology Progress Series* 303: 269-282.
- Holzauer, H., B. Van der Valk, P. Tonnon en M. Baptist (2009) Megasuppleties langs de Nederlandse kust. IMARES/Deltares.
- Holzauer, H., T. Vanagt, K. Lock, M. van Oeveren, K. de Backer, K. Hostens, J. Van Dalfsen en J. Reinders (2014) Ecologische effecten suppletie Ameland 2009-2012. Interim rapportage ihkv KPP B&O Kust Ecologie. Deltares rapport: 211.
- Holzauer, H. (2017) Meetlocaties benthos, bemonstering van de buitendelta van Ameland in september 2017 voorafgaand aan de proefsuppletie. versie 1.1, rapportage Universiteit Twente.
- Hurme, A. K. en E. J. Pullen (1988) Biological effects of marine sand mining and fill placement for beach replenishment: Lessons for other uses. *Mar. Min.* 7.
- IJsseldijk, L. L., K. C. Camphuysen, J. Nauw en G. Aarts (2014) Tidal influence on the occurrence of the harbour porpoise *Phocoena phocoena* in the Marsdiep area, The Netherlands.
- Janssen, G. (2013) Kennisdocument Denkkader Ecologisch Suppleren. KustAdvies.
- Kirkwood, R. J., G. M. Aarts en S. M. J. M. Bresseur (2015) Seal monitoring and evaluation for the Luchterduinen offshore wind farm: 2. T-construction - 2014 report. IMARES, 65 pagina's.
- Kirkwood, R. J., G. M. Aarts en S. M. J. M. Bresseur (2016) Seal monitoring and evaluation for the Luchterduinen offshore wind farm: 3. T1 - 2015 report. WMR, 83 pagina's.
- Kleijberg, R., M. J. Rozemeijer en J. T. van der Wal (2017) Zandwinning Noordzee 2018-2027: nadere verdieping effecten Natura 2000.
- Leopold, M., R. K. Kats, B. Ens, A. Texel en D. Burg (2001) Diet (preferences) of Common Eiders. *Somateria mollissima*: 25-31.
- Leopold, M., R. van Bemmelen, K. Perdon, M. Poot, C. Heunks, D. Beuker, R. Jonkvorst en J. de Jong (2013) Zwarte Zee-eenden in de Noordzeekustzone benoorden de Wadden: verspreiding en aantallen in relatie tot voedsel en verstoring. IMARES.
- Leopold, M. en M. Baptist (2016) De buitengewone biologie van de buitendelta's van de Nederlandse Waddenzee. IMARES.
- Leopold, M. F., M. Van der Land en H. Welleman (1998) *Spisula* en zee-eenden in de strenge winter van 1995/96 in Nederland. BEON Rapport= BEON-report.
- Leopold, M. F. en M. J. Baptist (2007) De effecten van onderwaterzandsuppleties op het habitat van de Kustzee, *Spisula* en enkele beschermde soorten zeevogels. IMARES.
- Ministerie van Economische Zaken Landbouw en Innovatie en Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2012) Hoe werkt het wad? Boekje open over de veranderingen in het wadgebied en hun mogelijke effecten op de veiligheid van de eilanden en de noordelijke vastelandskust. Deltaprogramma Wadgebied.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2016) Natura 2000-beheerplan Noordzeekustzone Periode 2016-2022.
- Nelson, D. en D. Dickerson (1989) Effects of beach renourishment on sea turtles. US Dep. Commer. NOAA Tech. Memo. NMFS-SEFC-232: 125-128.

- Nichols, M. M., G. S. Thompson en R. W. Faas (1978) A Field Study of Fluid Mud Dredged Material. Its Physical Nature and Dispersal. VIRGINIA INST OF MARINE SCIENCE GLOUCESTER POINT.
- Oost, A., R. van Buren en A. Kieftenburg (2017) Overview of the hydromorphology of ebb-tidal deltas of the trilateral Wadden Sea. Deltares rapport.
- Pierpoint, C. (2008) Harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) foraging strategy at a high energy, near-shore site in south-west Wales, UK. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 88: 1167-1173.
- Post, M. H., E. Blom, C. Chen, L. J. Bolle en M. J. Baptist (2017) Habitat selection of juvenile sole (*Solea solea* L.): Consequences for shoreface nourishment. *Journal of sea research* 122: 19-24.
- Reilly, F. J. en V. Bellis (1978) A study of the ecological impact of beach nourishment with dredged materials on the intertidal zone, East Carolina University.
- Ries, E. H., L. R. Hiby en P. J. H. Reijnders (1998) Maximum likelihood population size estimation of harbour seals in the Dutch Wadden Sea based on a mark-recapture experiment. *Journal of Applied Ecology* 35: 332-339.
- Rijkswaterstaat, C. I. R. (2017) Macrozoöbenthoosonderzoek in de zoute Rijkswateren, Jaarrapportage MWTL 2015.
- Rodil, I. en M. Lastra (2004) Environmental factors affecting benthic macrofauna along a gradient of intermediate sandy beaches in northern Spain. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 61: 37-44.
- RWS Zee en Delta (2018) RWS-werkwijze ecologie bij zandsuppleties.
- Schellekens, T. en R. Witbaard (2012) DEB ensis vs. data. IMARES.
- Schipper, C. en J. van Dalfsen (2017) Meetstrategie T-nulmeting Ecologie Pilotstudie Buitendelta Amelander Zeegat. RWS 2017.
- Speybroeck, J., D. Bonte, W. Courtens, T. Gheschiere, P. Grootaert, J. P. Maelfait, M. Mathys, S. Provoost, K. Sabbe en E. W. Stienen (2006) Beach nourishment: an ecologically sound coastal defence alternative? A review. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 16: 419-435.
- Stive, M. J., M. A. de Schipper, A. P. Luijendijk, S. G. Aarninkhof, C. van Gelder-Maas, J. S. van Thiel de Vries, S. de Vries, M. Henriquez, S. Marx en R. Ranasinghe (2013) A new alternative to saving our beaches from sea-level rise: The sand engine. *Journal of Coastal Research* 29: 1001-1008.
- Teal, L. R. en O. A. van Keeken (2011) The importance of the surf zone for fish and brown shrimp in The Netherlands IMARES, Report C054/11, 80 pagina's.
- Tien, N. S. H., J. Craeymeersch, C. van Damme, A. S. Couperus, J. Adema en I. Tulp (2017) Burrow distribution of three sandeel species relates to beam trawl fishing, sediment composition and water velocity, in Dutch coastal waters. *Journal of Sea Research* 127: 194-202.
- Troost, K., K. J. Perdon, J. Van Zwol, J. Jol en M. Van Asch (2017) Schelpdierbestanden in de Nederlandse kustzone in 2017. Wageningen Marine Research, 39 pagina's.
- Tulp, I., L. van den Bergh, S. Dirksen en H. Schekkerman (1999) Nachtelijke vliegbewegingen van Toppereenden bij de Afsluitdijk. Unknown Publisher.
- Van Alphen, J. en M. Damoiseaux (1986) Geomorfologische kaart van de Nederlandse kustwateren, 1: 150.000: Blad Hollandse kust. NZ-N-8616/MDLK-R-8621.
- van Dalfsen, J. (2016) Inventarisatie natuurwaarden Noordzeekustzone. Nature Based.
- van Dalfsen, J. A. (2018) Veldrapportage T01-meting Amelander zeegat, maart 2018. the fieldwork compagny, Rapport R1811-01.
- Van der Veer, H. W. en M. J. N. Bergman (1986) Development of tidally related behaviour of a newly settled 0-group plaice (*Pleuronectes platessa*) population in the western Wadden Sea. *Marine Ecology Progress Series* 31: 121-129.
- van der Wal, J. T., M. E. B. van Puijenbroek en M. F. Leopold (2018) Cumulatieve effecten van offshore wind parken: habitatverlies zeevogels. Wageningen Marine Research, Wageningen Marine Research rapport C059/18.
- Van Dolah, R. F., P. H. Wendt, R. M. Martore, M. V. Levisen en W. A. Roumillat (1992) A physical and biological monitoring study of the Hilton Head Beach nourishment project. Final Report, prepared by

the South Carolina Marine Resources Research Institute, SC Marine Resources Division for the Town of Hilton Head Island and the South Carolina Coastal Council: 159.

- van Hal, R., T. van Kooten en A. D. Rijnsdorp (2016) Temperature induced changes in size dependent distributions of two boreal and three Lusitanian flatfish species: A comparative study. *Journal of Sea Research* 107, Part 1: 14-22.
- van Hal, R. (2017) Zandspiering in het Amelanders Zeegat. Wageningen Marine Research, rapport C102/17.
- van Hal, R. en A. S. Couperus (2017) Uitvoeringsplan Amelanderszeegat, zandspiering bemonstering. draft report.
- van Hal, R., A. S. Couperus, A. Dijkman Dulkes en M. J. Baptist (2017) Reisverslag kustsurvey EGSII; Juni-juli 2017. Wageningen Marine Research Wageningen UR, C075/17, 25 pagina's.
- van Hal, R. (2018) Zandspiering in het Amelanders Zeegat T0-meting voorjaar 2018 Wageningen Marine Research, rapport C091/18.
- Van Hal, R., J. Wijsman, L. Van den Bogaart en M. J. Baptist (2018) Meetplan 2019 Amelanders Zeegat, T1 ecologie buitendelta. Wageningen Marine Research, C108/18, 39 pagina's.
- Van Hoey, G., S. Degraer en M. Vincx (2004) Macrobenthic community structure of soft-bottom sediments at the Belgian Continental Shelf. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 59: 599-613.
- van Keeken, O., M. Van Hoppe, R. E. Grift en A. D. Rijnsdorp (2007) Changes in the spatial distribution of North Sea plaice (*Pleuronectes platessa*) and implications for fisheries management. *Journal of Sea Research* 57: 187-197.
- van Rijn, S. H. M. en M. R. van Eerden (2001) Aalscholvers in het IJsselmeermeergebied: concurrent of graadmeter? RIZA rapport 2001.058: 90p.
- Van Tomme, J. (2013) Biotic interactions within sandy beach ecosystems, with implications for an ecologically-sound beach nourishment= Biotische interacties in zandstrandecosystemen, met zijn implicaties voor ecologisch onderbouwde strandopspuitingen.
- Verduin, E. en A. Engelberts (2017) T-nulmeting Benthos buitendelta Amelanders Zeegat 2017, Veldrapportage Benthos boxcorer. Eurofins AquaSense. Aquasense.
- Verduin, E. en L. Leewis (2018) T-nulmeting Benthos buitendelta Amelanders Zeegat 2017. Rapportage Benthos boxcorer. Eurofins AquaSense, 49 pagina's.
- Vergouwen, S. A. en H. Holzhauser (2016) Ontwikkeling van het bodemleven in de vooroever na aanleg van een onderwatersuppletie van het bodemleven in de vooroever na aanleg van een onderwatersuppletie. Case studie Ameland en Schiermonnikoog 2009-2014. Deltares rapport.
- Wang, Z. B., E. P. Elias, A. J. van der Spek en Q. J. Lodder (2018) Sediment budget and morphological development of the Dutch Wadden Sea: impact of accelerated sea-level rise and subsidence until 2100. *Netherlands Journal of Geosciences* 97: 183-214.
- Wijsman, J., M. Dedert, T. Schellekens, L. Teal en Y. van Kruchten (2012) Adaptive Monitoring Strategies in dredging; Case Study Mussels-Modeling the effect of dredging on filter-feeding bivalves. IMARES Wageningen UR Report C 123.
- Wijsman, J. W. M., R. Van Hal en R. J. Jongbloed (2015) Monitoring en Evaluatie Pilot Zandmotor - Fase 2 Evaluatie benthos, vis, vogels en zeezoogdieren 2010 - 2014, IMARES C125/15, 109 pagina's.
- Wijsman, J. W. M. en J. Craeymeersch (2016) Effect van diepe vooroeversuppletie bij Callantssoog op de benthosgemeenschap. Resultaat T0 bemonstering najaar 2015. IMARES, 43 pagina's.
- Wijsman, J. W. M., J. A. Craeymeersch en D. Gerla (2017) Effect van diepe vooroeversuppletie bij Callantssoog op de benthosgemeenschap : resultaat T0-bemonstering najaar 2016: Wageningen Marine Research rapport;C071/17. Yerseke, Wageningen Marine Research.
- Wijsman, J. W. M., D. Ende en E. Brummelhuis (2018) Bodemdiergemeenschap in de vooroever en op het natte strand van de zandmotor in het najaar 2017., 99 pagina's pagina's.

Verantwoording

Rapport C032/19

Projectnummer: 43.16.100.160

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. Ingrid Tulp
Senior onderzoekster

Handtekening:



Datum: 3 april 2019

Akkoord: Drs. Jakob Asjes
MT lid

Handtekening:



Datum: 3 april 2019

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 7, 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.
