



Het effect van het aanleggen van een stroomkabel door een droogvallende mosselbank

Auteurs: S.T. Glorius, A. Meijboom, F. Daniels en E.O. Folmer

Wageningen University & Research
rapport C086.22

Het effect van het aanleggen van een stroomkabel door een droogvallende mosselbank

Auteurs: S.T. Glorius¹, A. Meijboom¹, F. Daniels² en E.O. Folmer³

¹Wageningen Marine Research

²Wageningen Food and Biobased Research

³Ecospace, Ecological Research and Environmental Informatics

Wageningen Marine Research
Den Helder, december 2022

Wageningen Marine Research rapport C086/22

Keywords: droogvallende mosselbank, Waddenzee, stroomkabel, effecten, monitoring, Liander

Opdrachtgever: Liander N.V.
T.a.v.: D. Hulstijn
Postbus 50
6920 AB Duiven

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/582974>
Wageningen Marine Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

Wageningen Marine Research is ISO 9001:2015 gecertificeerd.

Foto omslag: Andre Meijboom

© Wageningen Marine Research

Wageningen Marine Research, instituut
binnen de rechtspersoon Stichting
Wageningen Research, hierbij
vertegenwoordigd door
Drs.ir. M.T. van Manen, directeur
bedrijfsvoering

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
gevolg schade, 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 V32 (2021)

Inhoud

Samenvatting	4
1 Inleiding	6
1.1 Mosselbanken in de Waddenzee	6
1.2 Schade aan schelpdierbanken	7
2 Kennisvraag	8
3 Methoden	9
3.1 Mosselbedekking	9
3.2 Eigenschappen mosselpopulatie	10
3.3 Bankcontour (WOT-Visserij)	11
3.4 BACI ontwerp	12
3.5 Transecten	13
3.6 Meetmomenten en meetlocaties	14
3.7 (statistische) analyses	15
4 Resultaten	17
4.1 Bankcontour	17
4.2 Mosselpatches	18
4.3 Mosselpopulatie van de mosselpatches	24
5 Discussie en conclusies	27
6 Kwaliteitsborging	29
Literatuur	30
Verantwoording	32
Bijlage 1 Bankcontour (2000 - 2022)	33
Bijlage 2 Orthokaarten	34
Bijlage 3 Mosselpatches op transecten	36
Bijlage 4 Modeluitkomsten	40

Samenvatting

Liander heeft in het voorjaar van 2021 twee elektriciteitskabels (met een onderlinge afstand van 150 meter) laten aanleggen die het vasteland (Holwerd) met Ameland verbinden. De kabels doorkruisen een droogvallende mosselbank en Liander heeft Wageningen Marine Research (WMR) gevraagd de effecten hiervan op de mosselbank te onderzoeken. WMR heeft hiervoor in 2021 een monitorplan geschreven. Hetzelfde jaar is gestart met de uitvoering van dit monitorplan en in dit rapport wordt hier verslag van gedaan.

Potentiële effecten

Het effect van het aanleggen van een kabel op de aanwezige mosselen in een droogvallende schelpdierbank is niet eerder onderzocht. Potentiële directe effecten die op kunnen treden bestaan uit (maar beperken zich mogelijk niet tot): beschadiging van de structuur van de bodem en de doorkruiste mosselbank en het begraven en vernietigen van de aanwezige mosselen in het kabeltraject. Indirecte effecten zijn ook denkbaar. Zo kan sediment in- en buiten het kabeltraject neerslaan waardoor mosselen begraven kunnen worden. Ook is het in potentie mogelijk dat slibgehalten in het water verhoogd worden door de aanlegwerkzaamheden wat kan leiden tot afname in de voedselopname capaciteit door mosselen, met als gevolg een afname van de conditie van de mosselen en verhoging van de (winter)sterfte. Hiernaast is het mogelijk dat er zich een geul vormt over het traject waar de kabel getrokken is. Wanneer dit inderdaad gebeurt kunnen mosselen wegspoelen en zou de bank in tweeën opgedeeld kunnen worden.

Opzet onderzoek

In een mosselbank zijn de mosselen vaak geclusterd in bultjes die we "mosselpatches" noemen. Tussen de mosselpatches kan kaal sediment liggen, of verspreid kleinere trosjes mosselen. Voor zover de mosselpatches niet verder uit elkaar liggen dan 25 meter noemen we het geheel van deze patches een mosselbank. Het onderzoek is erop gericht de veranderingen in de structuur en samenstelling van de mosselbank die doorkruist wordt te beschrijven. Hiertoe zijn de volgende parameters op verschillende momenten bepaald: het met mosselen bedekte oppervlak binnen de bank, de ligging van individuele mosselpatches, en biomassa, dichtheid en de schelpengteverdeling van de aanwezige mosselen. Gegevens over de bankcontour (de buitenste rand van de mosselbank) zijn ook gebruikt. Deze informatie is niet binnen dit project verzameld maar verkregen uit inventarisaties die in het kader van WOT-Visserij door WMR uitgevoerd worden. Deze inventarisaties vinden jaarlijks in het voorjaar plaats.

Voor het bepalen van de ligging van de mosselpatches en het met mosselen bedekte oppervlak zijn met VTOL (Vertical Take-Off and Landing) UAV (Unmanned Aerial Vehicle, ook wel "drone")-vluchten luchtfoto's gemaakt. Deze luchtfoto's zijn samengevoegd tot orthokaarten. Vervolgens is een convolutioneel neurale netwerk genaamd "U-net" getraind, die gebruikt is om de mosselpatches op de UAV-kaarten te identificeren. De overige parameters zijn bepaald door monsters te nemen op de mosselpatches en deze op het laboratorium te verwerken.

Het onderzoek is opgezet volgens een Before-After, Control-Impact (BACI) ontwerp waardoor het mogelijk is de eventuele effecten van het aanleggen van de kabels te isoleren van de autonome ontwikkeling van de mosselbank. Hiervoor is de status van de mosselbank zowel voorafgaand-, als na het aanleggen van de kabels in kaart gebracht en zowel op de plekken waar de kabels aangelegd zijn als op plekken daarbuiten. Voor dit doel zijn verschillende transecten gedefinieerd die lopen over en direct naast beide kabeltrace's. Op een afstand van 500 meter van de kabeltrace's is hiernaast nog een transect gelegd die dienst doet als referentie.

Op vier momenten zijn UAV-vluchten uitgevoerd. Éénmaal enkele weken voor het aanleggen van de kabels (de T0- meting) en driemaal erna, enkele weken na het aanleggen (T1 meting), de eerste volgende winter (de T2 meting) en een jaar na de T0 meting (voorjaar van 2022). Op drie momenten

zijn monsters genomen om de mosseldichtheid, -biomassa en schelpenlengtes te bepalen (T0-, T2- en T3 meting).

In de zomer van 2018 is, zowel aan de noordelijk- als zuidelijke zijde van de bank, mosselzaad gevallen waardoor de bank bij de eerstvolgende inventarisatie in het voorjaar van 2019 toegenomen bleek te zijn in oppervlak. Omdat de natuurlijke sterfte van jonge mosselen groot is, is voor het onderzoek de focus gelegd op het oude (middelste) deel van de bank, die sinds het jaar 2000 onafgebroken aanwezig was en waar naast mosselen ook Japanse oesters aanwezig zijn. Er zijn alleen monster verzameld in het oude bankdeel.

Resultaten en conclusies

Uit de resultaten blijkt dat het effect van het aanleggen van beide kabels zeer lokaal optreedt. Uitsluitend de mosselpatches waarover de slede met de ploeg getrokken is om de kabels aan te leggen hebben zichtbare schade opgelopen. Op de korte termijn leidt dit tot een afname van het aantal mosselen en een lagere overleving van jong mosselbroed en/of lagere lokale zaadval. Op de wat langere termijn (maanden tot een jaar erna) leidt dit tot het verdwijnen van een groot deel van deze beschadigde mosselpatches. De afname in met mosselen bedekt oppervlak als gevolg hiervan is, voor de gehele bank bekeken, erg klein te noemen en wordt maximaal ingeschat op enkele tienden van een procent. Aangezien gaten tussen mosselpatches tot een maximale afstand van 25 meter volgens het meetprotocol nog steeds gezien worden als zijnde een integraal onderdeel van de mosselbank, leidt de ingreep dus niet tot een verminderd areaal van de mosselbank. Wel nam het bankoppervlak in 2022 sterk af, maar dit kan goed verklaard worden door slechte overleving van de jonge mosselen die in 2019 als mosselzaad aan de randen van de bank gevallen zijn.

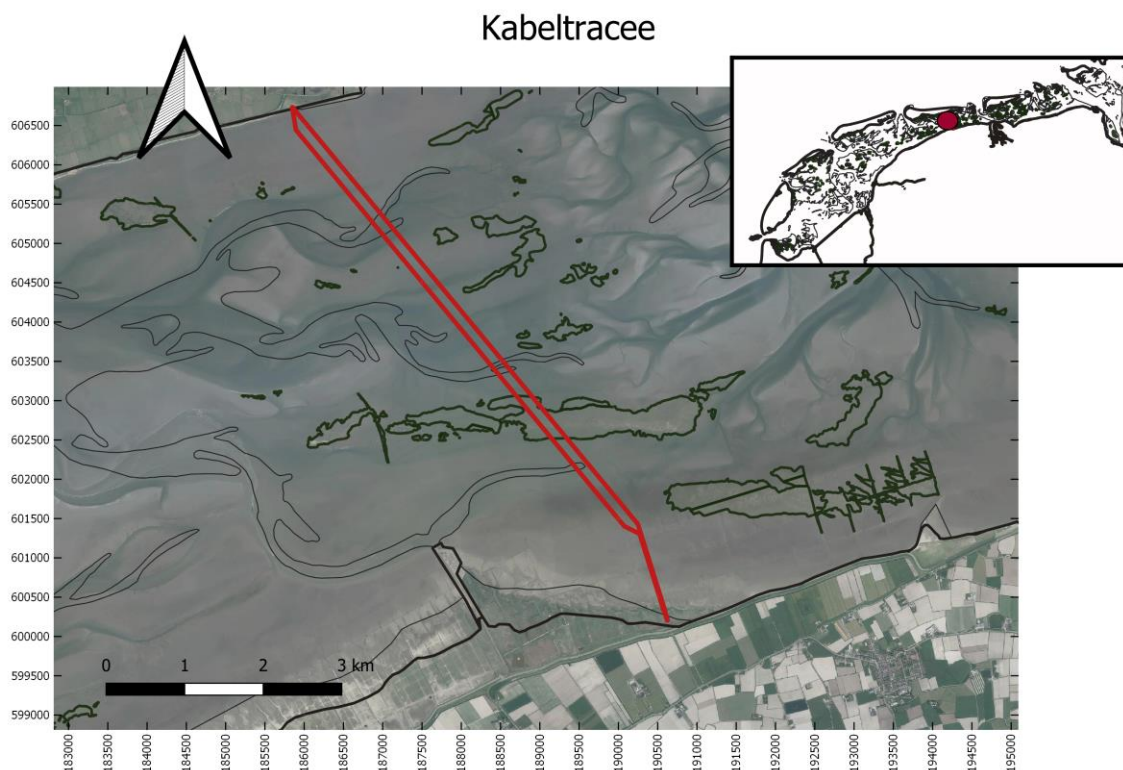
Enkele potentiële effecten die op hadden kunnen treden zijn in dit onderzoek niet aangetroffen. Zo heeft het doorploegen van de bodem over het kabeltraject niet geleid tot geulvorming als gevolg waarvan mosselen weg hadden kunnen spoelen. Mosselpatches in de zone direct naast de aanlegstroken hebben zich weten te handhaven. Sediment depositie (als gevolg van sedimentomwoelingen veroorzaakt door scheepsbewegingen en het trekken van de slede met de ploeg) is niet gemeten maar is tijdens het nemen van de veldmonsters niet geobserveerd. Op de ortho-kaarten en met observaties die gedaan zijn tijdens de veldmetingen is geen zichtbare andere schade geobserveerd aan bankdelen gelegen naast beide aanlegstroken.

Het is de verwachting dat de schade die door het aanleggen van de kabels opgetreden is beperkt blijft tot lokale vernietiging van mosselpatches die daadwerkelijk door de ploeg of een van de geleiders geraakt zijn. Het is verder de verwachting dat de vernietigde mosselpatches goed substraat vormen voor mosselzaad en dat de bank zich na verloop van tijd op natuurlijke wijze geheel zal kunnen herstellen.

De resultaten die in dit rapport gepresenteerd zijn hebben uitsluitend betrekking op deze specifieke bank, en niet op droogvallende mosselbanken in het algemeen. De hier gevonden effecten hoeven zich daarom niet per definitie op eenzelfde wijze te profileren op mosselbanken met een andere schelpdiersamenstelling, ouderdom en ligging. Andersom, effecten die hier niet gevonden zijn kunnen in andere situaties mogelijk wel optreden. Ook kunnen effecten anders zijn bij andere uitvoeringswijzen om de kabel(s) aan te leggen.

1 Inleiding

Liander heeft in het voorjaar van het jaar 2021 twee elektriciteitskabels laten aanleggen die het vasteland (Holwerd) met Ameland verbinden. De twee kabels lopen parallel aan elkaar met een onderlinge afstand van 150 meter. Het kabeltraject doorkruist een droogvallende mosselbank, zie Figuur 1.



Figuur 1. Het kabeltraject in rood waarbij een droogvallende mosselbank doorkruist wordt. Met de contouren in donkergroen wordt de ligging van de mosselbanken weergegeven zoals opgemeten is door WMR in het voorjaar van 2020 in het kader van het WOT Visserij programma.

Voor het aanleggen van de kabels is drijvend materieel gebruikt (zie Waal et al., 2021). Met een ploeg bevestigd aan een slede is een gleuf getrokken door de wadbodem op te tillen. Gelijkijdig is de kabel geplaatst. De opgetilde grond valt hierna grotendeel terug in de gleuf. De ploeg bevond zich op een slede die bevestigd en getrokken werd vanuit een schip (VETAG 8) die zich met een aantal ankers vastlegt. Er is alleen geploegd wanneer er 110 cm water stond. Een gedetailleerde beschrijving van het kabeltraject en de gekozen werkwijze voor het aanleggen van de kabels is beschreven in de passende beoordeling (Waal et al., 2021).

1.1 Mosselbanken in de Waddenzee

Droogvallende mosselbanken zijn een belangrijk onderdeel van het Waddenzee-ecosysteem. Ze filteren het water en vormen, samen met bodemdieren die op en tussen de mosselen leven, een belangrijke voedselbron voor vogels (Dankers en Fey-Hofstede, 2015). Mosselbanken worden binnen Natura 2000 beschouwd als kenmerkende onderdelen, en dus kwaliteitskenmerk, van de structuur en functie van het habitatype 1140 (bij eb droogvallende slikwadden en zandplaten). Mosselen en mosselbanken zijn hiermee wettelijk beschermd als belangrijke componenten in het ecosysteem. In het beheerplan van de Waddenzee voor de periode 2016-2022 (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016) is opgenomen dat herstel van droogvallende mosselbanken en zeegrasvelden noodzakelijk is

voor verbetering van de kwaliteit van habitatype H1140. Na de introductie van Japanse oesters in de jaren zeventig en tachtig komt deze soort vanaf het eind van de jaren negentig algemeen voor in de Waddenzee (Stralen et al, 2012; Troost et al, 2012; www.wur.nl/schelpdiermonitor). Japanse oesterlarven hechten zich aan mosselschelpen en later aan de schelpen van volwassen oesters. Een groot aantal banken in de Waddenzee wordt inmiddels gevormd door beide soorten, en wordt aangeduid als gemengde bank (Troost et al, 2021). Deze gemengde banken tellen nog steeds mee in het totale areaal van droogvallende mosselbanken, en zijn dus ook van belang binnen Natura 2000 kader. In dit rapport wordt daarom verder gesproken over schelpdierbanken waarmee zowel een pure mosselbank als de mengvorm met Japanse oesters bedoeld wordt.

In een schelpdierbank zijn de mosselen (al dan niet gemengd met oesters) vaak geclusterd in bultjes die we "mosselpatches" noemen. Tussen de mosselpatches kan kaal sediment liggen, of verspreid kleinere trosjes mosselen. Voor zover de mosselpatches niet verder uit elkaar liggen dan 25 meter noemen we het geheel van deze patches een schelpdierbank.

1.2 Schade aan schelpdierbanken

Het effect van het aanleggen van een kabel op de aanwezige mosselen in een droogvallende schelpdierbank is niet eerder onderzocht. Potentiële directe effecten die op kunnen treden bestaan uit (maar beperken zich mogelijk niet tot): beschadiging van de structuur van de bodem en de doorkruiste mosselbank, en het begraven en vernietigen van de aanwezige mosselen in het kabeltraject. Indirecte effecten zijn ook denkbaar. Zo kan omwoeling van de bodem in het kabeltraject mogelijk leiden tot het neerslaan van sediment in- en buiten het kabeltraject waardoor mosselen begraven kunnen worden. Ook is het in potentie mogelijk dat slibgehalten in het water verhoogd worden door de aanlegwerkzaamheden wat kan leiden tot afname in de voedselopname capaciteit door mosselen met een verslechtering van de mosselconditie en verhoging van de (winter)sterfte als gevolg. Hiernaast is het mogelijk dat afvoergeultjes ontstaan op het traject waar de kabel getrokken is. Wanneer dit inderdaad gebeurt zullen als gevolg hiervan mogelijk mossel(en)(patches) wegspoelen, en zou de bank in tweeën opgedeeld kunnen worden.

In 2020 heeft Liander N.V. Wageningen Marine Research (WMR) benaderd voor advies om de (on)mogelijkheden te verkennen om de verwachte schade aan de mosselbank te voorkomen en tevens een monitoringsplan te schrijven waarmee de effecten onderzocht kunnen worden. Dit advies is beschreven door Glorius et al, (2021). Het hierin gegeven advies om de op de kabeltrajecten aanwezige mosselpatches te transplanteren en ze zodoende te behoeden voor schade is door de opdrachtgever niet overgenomen. In het monitoringsplan was oorspronkelijk opgenomen om naast het effect van het aanleggen ook de effectiviteit van het transplanteren te onderzoeken. Door het uitblijven van deze maatregel is dit onderdeel komen te vervallen.

De motivatie en opzet van het monitoringsplan staan beschreven in Glorius et al, (2021) en worden hier kort herhaald. De gevolgde werkwijze en de daaruit verkregen meetresultaten en conclusies worden in dit rapport beschreven.

2 Kennisvraag

De focus van het monitoringsplan ligt op het vaststellen van de veranderingen in de aanwezigheid van mosselen en hun conditie ten gevolge van het aanleggen van de stroomkabels. De gedachte hierachter is dat overige eigenschappen die van (ecologische) waarde zijn, zoals bijvoorbeeld de bodemopbouw en ook de aan mosselen geassocieerde soorten (soortenrijkdom), behouden blijft als de mosselen niet beschadigd raken, of herstelt als de mosselen dat ook doen.

De volgende onderzoeksvraag is gesteld:

Wat is het effect van het aanleggen van de stroomkabels op de mosselbank gegeven de kabeltrajecten en de uitvoeringswijze?

De volgende deelvragen zijn gesteld:

- *Wat is het effect van het aanleggen van de kabels op de mosselbankcontour?*
- *Wat is het effect van het aanleggen van de kabels op het met mosselen bedekte oppervlak?*
- *Wat is het effect van het aanleggen van de kabels op de mosseldichtheid, -biomassa en schelp lengteverdeling?*

3 Methoden

In dit hoofdstuk worden de gevolgde methodieken voor de verschillende metingen beschreven evenals het aantal meetlocaties en -momenten.

Om de aanwezigheid van mosselpatches en de toestand van de mosselen in kaart te brengen zijn de volgende parameters bepaald: het met mosselen bedekte oppervlak, de ligging van individuele mosselpatches, en de mosselbiomassa, -dichtheid en de schelpengteverdelingen van de mosselen aanwezig in de mosselpatches. Deze parameters zijn op meerdere momenten en zowel voor de bankdelen die zich in de werkstroken bevinden als op bankdelen die daarbuiten liggen bepaald, zie verder paragraaf 3.4.

Gegevens over de bankcontour (de buitenste rand van de mosselbank) en het bankoppervlak zijn niet binnen dit project verzameld maar verkregen uit inventarisaties die in het kader van WOT-Visserij door WMR uitgevoerd worden.

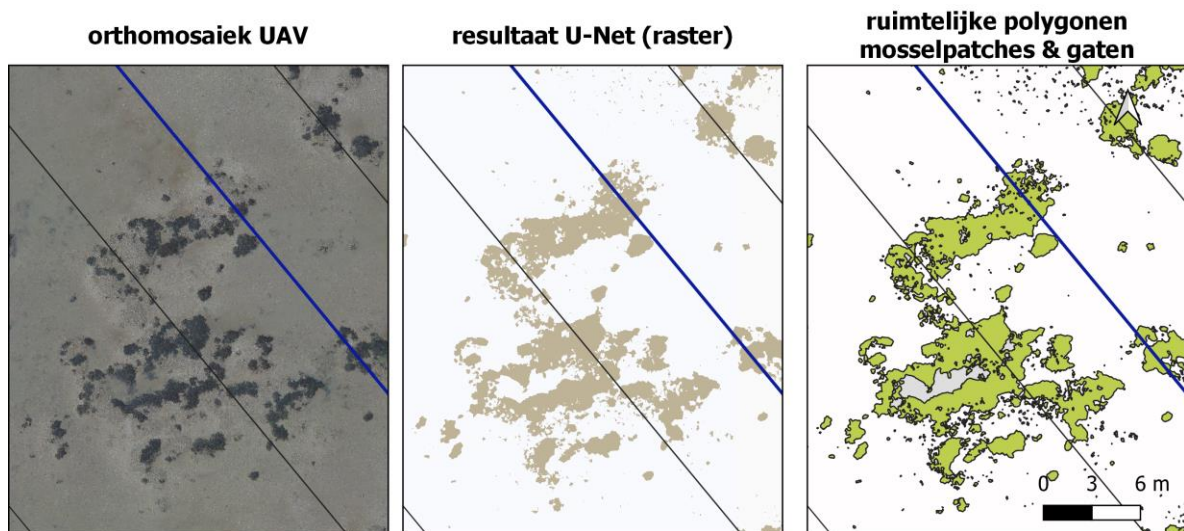
3.1 Mosselbedekking

Het met mosselen bedekte oppervlak is bepaald aan de hand van luchtfoto's (in rood-, groen- en blauwband) opgenomen tijdens laagwater met een VTOL UAV (drone) met een Sony RX1RII camera. De UAV was uitgerust met een RTK/PPK systeem zodat de geografische nauwkeurigheid van de ortho-kaarten enkele cm was. Hierdoor zijn de ortho-kaarten van T0, T1, T2 en T3 onderling goed te vergelijken. De resolutie (GSD, Ground Sampling Distance) van de ortho-kaarten was ongeveer 1,1 cm. Door de hoge mate van overlap tussen de foto's konden ook hoogtekaarten (z.g.n. 'Digital Elevation Model', DEM) geconstrueerd worden. Voor de fotogrammetrie, het verwerken van de losse foto's tot een samengesteld mozaïek, is gebruik gemaakt van het software programma Agisoft Metashape. Het UAV veldwerk en de opwerking naar ortho- en DEM mozaïeken is uitgevoerd door Ecospace & Aeria.

Een convolutioneel neurale netwerk "U-Net" genaamd (Ronneberger ea., 2015) is getraind en gebruikt om de mosselpatches op de orthokaarten te identificeren. Twee klassen zijn hierbij onderscheiden: wel- of geen mossel. Als trainingsdata zijn drie van de vier meetmomenten (zie par. 3.2.2) gebruikt. Beelden die gebruikt zijn voor het maken van de trainingsdata zijn random geselecteerd. Hiervoor is een regelmatig ruimtelijk grid over de orthokaart gelegd. Elke gridcel had een dimensie van ongeveer 6,5 x 6,5 meter op de grond. Van elke opname zijn in elk van de 3 deelgebieden (zie par 3.2.1) steeds 10 random gridcellen geselecteerd om te gebruiken als trainingsdata. Dit resulteerde in 90 cellen die gezamenlijk een totaal oppervlak van een kleine 4000 m² vertegenwoordigen. De annotatie tool "Darwin V7 labs" (<https://www.v7labs.com/>) is gebruikt om al de aanwezige mosselpatches in deze beelden te annoteren (omkaderen).

Het met U-Net verkregen resultaat (in raster format) is verwerkt tot ruimtelijke polygonen van aaneengesloten mosselvlakken (de mosselpatches) en eventuele open plekken daarin, zie Figuur 2. Van elke mosselpatch is het oppervlak berekend. Mosselpatches met een oppervlak <9 cm² bestaan uit slechts enkele mosselen en zijn verwijderd voor verdere analyse.

Voor het trainen en toepassen van U-Net is het softwareprogramma "Python" gebruikt in de "Jupiterlab" omgeving. Voor het maken van trainingsdata en de verwerking van de rasterfiles is gebruikt gemaakt van "R" (R Core Team, 2021) in de "R-studio" omgeving. Functies beschikbaar in de R-pakketten genaamd 'terra' (Robert, 2022) en 'sf' (Pebesma, 2021) zijn hiervoor gebruikt.



Figuur 2. Het proces waarmee mosselpatches in kaart gebracht zijn. Het linker paneel geeft de orthokaart weer zoals verkregen is uit de UAV fotobeelden (T0-metmoment). Het middelste paneel geeft de U-net output in raster formaat weer met in bruin plekken met mosselen. Het rechterpaneel geeft de hieruit verkregen ruimtelijke polygoenen van de mosselpatches (groene vlakken) weer evenals de gaten (grijze vlakken). Met de zwarte lijnen worden de buitenranden van transect 1.2 weergegeven en met de blauwe lijn het beoogde kabeltracé.

3.2 Eigenschappen mosselpopulatie

De eigenschappen van de mosselpopulatie zijn gemeten door het nemen van mosselmonsters. Hierbij is zoveel mogelijk dezelfde werkwijze aangehouden als bij de jaarlijkse inventarisaties die in het kader van het WOT-Natuur programma voor het Ministerie van LNV (Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit) gedaan worden op droogvallende mosselbanken. Deze methodiek staat beschreven in Glorius et al, (2021). Hieronder volgt een beschrijving van deze methodiek.

Een monster wordt genomen door een aluminium frame met een dimensie (cm) van 16 (b) x 32 (l) x 10 (d) in de grond te drukken totdat de bovenkant gelijk ligt met het mosseloppervlak. Monsters worden op een mosselpatch genomen waarbij het gehele monsterframe zich in de mosselpatch bevindt. De op deze wijze verkregen monsters representeren daarom de eigenschappen van de mosselen in de patches. Op dat moment is een label met het monsternummer naast het frame gestoken en is er zowel een foto recht van boven als van de directe omgeving gemaakt. Met een handheld GPS is een locatiemarkering (waypoint) gemaakt om de positie van de monsterlocatie vast te leggen.



Figuur 3. Het nemen van een van de monsters. Links de positionering van het monsterframe op een mosselpatch (voordat deze de grond in gedrukt is), rechts een foto van direct omgeving van de monsterlocatie met rechts in beeld de 1 mm zeef.

Hierna is de toplaag van 10 cm uit het frame gehaald. Al het materiaal is in een zeef met een maaswijdte van 1 mm geplaatst en voorzichtig uitgespoeld om zoveel mogelijk zand, slib en

organismen kleiner dan 1 mm te verwijderen. Hierna is het monster in een plastic zak gedaan en gelabeld voor transport naar het laboratorium.

In het laboratorium zijn de monsters nogmaals goed gespoeld en gezeefd over maaswijdtes van 5 en 1 mm. Het monster is hierdoor onderverdeeld in twee delen: een grove en fijne fractie. Beide delen zijn gewogen (afgerond tot hele grammen). Alleen het grove deel is uitgezocht, de fijne fractie is opgeslagen in de vriezer (-20 graden celcius). Uit het grove deel zijn alle levende schelpdieren, levende algen, krabben en lege hele mosselschelpen (zowel de nog aan elkaar vastzittende kleppen, zgn. 'doubletten' alsmede de losse kleppen) gehaald. Het restant dat hierna over bleef is nogmaals gewogen. De pokken zijn van de levende mosselen gescheiden en apart gewogen. De levende mosselen, de andere levende schelpdieren, de levende algen en de lege doubletten en lege losse mosselschelpen zijn afzonderlijk gewogen.

Hierna is de lengte (in mm) gemeten van alle levende mosselen, de andere levende schelpdieren en van alle lege mosselschelpen. De levende mosselen zijn hierbij onderverdeeld in drie groepen van verschillende lengtes (≤ 20 mm, $>20 - 40$ mm en >40 mm) en bewaard in de vriezer.

Voor presentatie van de gegevens is gebruikt gemaakt van "R" (R Core Team, 2021) in de "R-studio" omgeving. Functies beschikbaar in het R-pakket genaamd 'TropFishR' (Mildenberger, et al, 2017) zijn gebruikt om de lengtefrequentieverdeling van de mosselen te visualiseren.

3.3 Bankcontour (WOT-Visserij)

Voor veranderingen in de bankgrootte is het nodig de buitencontour van de bank in te meten met een handheld GPS volgens het trilateraal afgesproken TMAP protocol. In dit protocol wordt gespecificeerd hoe omgegaan wordt met inhammen, verschillen in schelpdierbedekking en hoe gegevens verzameld en verwerkt dienen te worden. Deze werkwijze staat beschreven in Glorius en Meijboom, 2021 en Troost et al, 2021.

Vanaf 1995 wordt jaarlijks en in opdracht van het Ministerie van LNV, binnen de wettelijke onderzoekstaken op het gebied van visserij, door Wageningen Marine Research het totale areaal aan droogvallende mossel-, oester- en gemengde banken geschat, alsmede de totale schelpdierbiomassa in deze banken (Troost et al, 2021). Voor definities en werkwijze zie kader (bron: Troost et al, 2019).

Bepaling van het areaal aan litorale mossel- en oesterbanken WOT-Visserij programma

Het is niet mogelijk om binnen de beschikbare tijd voor het onderzoek alle mossel- en oesterbanken in het gehele Waddenzee te karteren. Er wordt naar gestreefd zo veel mogelijk banken in te meten, met prioriteit bij mogelijk nieuwe banken, banken die lijken te zijn veranderd (bijv. deels verdwenen) en/of banken die al langere tijd niet meer zijn bezocht en ingemeten. Daarbij is gebruik gemaakt van de volgende informatie:

- Satellietbeelden (optisch en radar, o.a. volgens methodiek Westinga *et al.*, (2020));
- Uitkomsten van eerdere surveys;
- Actuele informatie over ligging mossel- en oesterbanken van Waddenunit, visserijkundig ambtenaren en vissers;
- Luchtfoto's van Rijkswaterstaat en Provincie Zeeland (Oosterschelde, Westerschelde);
- Een inspectievlucht boven de Waddenzee voorafgaand aan het veldwerk.

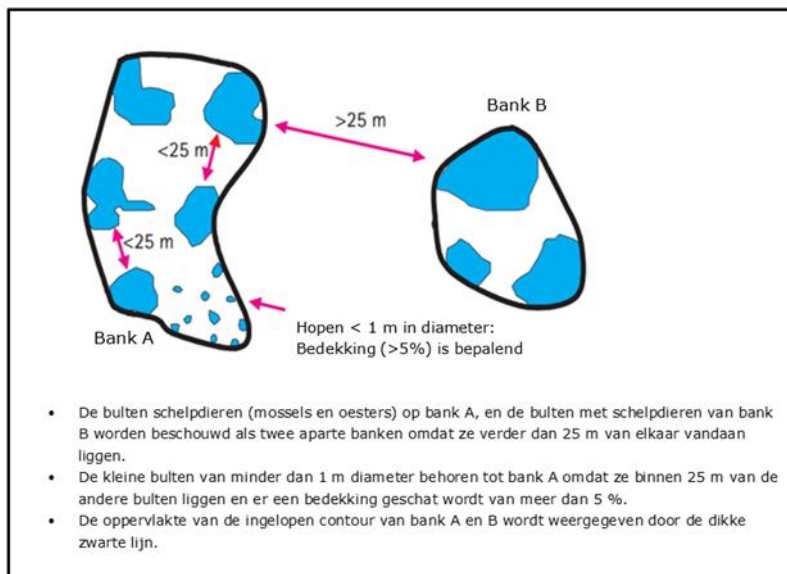
Van de banken die niet bezocht zijn in het surveyjaar, maar waarvan op basis van bovengenoemde informatie bekend is dat ze er nog liggen, zijn de contouren als voorlopige inschatting ingetekend volgens de methode die beschreven is in Van Zweeden et al., 2011. Met de surveyresultaten uit volgende jaren worden deze contouren met terugwerkende kracht aangepast. Hierbij worden bepaalde regels in acht genomen. Zo wordt altijd uitgegaan van de kleinste contour uit het voorgaande of opeenvolgende jaar, om een overschatting van het totale areaal te voorkomen. Contouren van niet bezochte banken kunnen door deze werkwijze nog veranderen tot drie jaar na het betreffende survey jaar.

De banken worden bij laagwater te voet ingemeten volgens een vast protocol (Troost *et al.* 2019). Er wordt rond de banken gelopen en met een handheld GPS worden merkpunten vastgelegd. Aan boord worden de merkpunten ingeladen in het programma QGIS. Op basis van deze punten worden de contouren ingetekend en de oppervlakte van de bank berekend.

Tijdens het inmeten in het veld worden voor elke bank de volgende gegevens genoteerd, die worden ingeschat op basis van visuele waarnemingen:

- Samenstelling van de bank: mossel, oester, gemengd;
- De leeftijd/grootte van de aanwezige mosselen in de bank (kwalitatieve schatting: zaad, halfwas, consumptie-maat of een samenstelling van verschillende leeftijden/grootte);
- De grootte van de oesters (kwalitatieve schatting: klein, middelgroot en groot);
- De dichtheid in de bank (kwalitatieve schatting: dik, redelijk, matig, dun);
- Hoogte van de bulten (cm);
- Bedekkingspercentage door bulten van het ingelopen oppervlak (schatting in %) en een bezettingspercentage van deze bulten met schelpdieren (schatting in %). Bij dit laatste wordt onderscheid gemaakt tussen de bezetting met mosselen en de bezetting met oesters voor zover aanwezig;
- Mosselen of oesters in lage dichtheden (<5% bedekking) aanwezig, deze worden niet als bank genoteerd maar als "strooi" aangeduid. Strooi velden tellen niet mee in de arealen en worden niet in de kaarten weergegeven;
- Een ruwe inschatting van de dikte van de sliblaag in en rondom de bank, aan de hand van het aantal decimeters dat men tijdens het lopen wegzakt;
- Overige bijzonderheden (aanwezigheid wieren, pokken, alikruiken, dode mosselen etc.).

Een bank wordt als "gemengd" (zowel mosselbank als oesterbank) geclassificeerd als zowel oesters als mosselen voorkomen met een bedekking van meer dan 5%. De karteringen vinden zoveel mogelijk plaats voorafgaand aan de bemonsteringen voor de bestandsopname, zodat bij het opstellen van het monsterprogramma de meest recente contouren van de banken kunnen worden gebruikt.



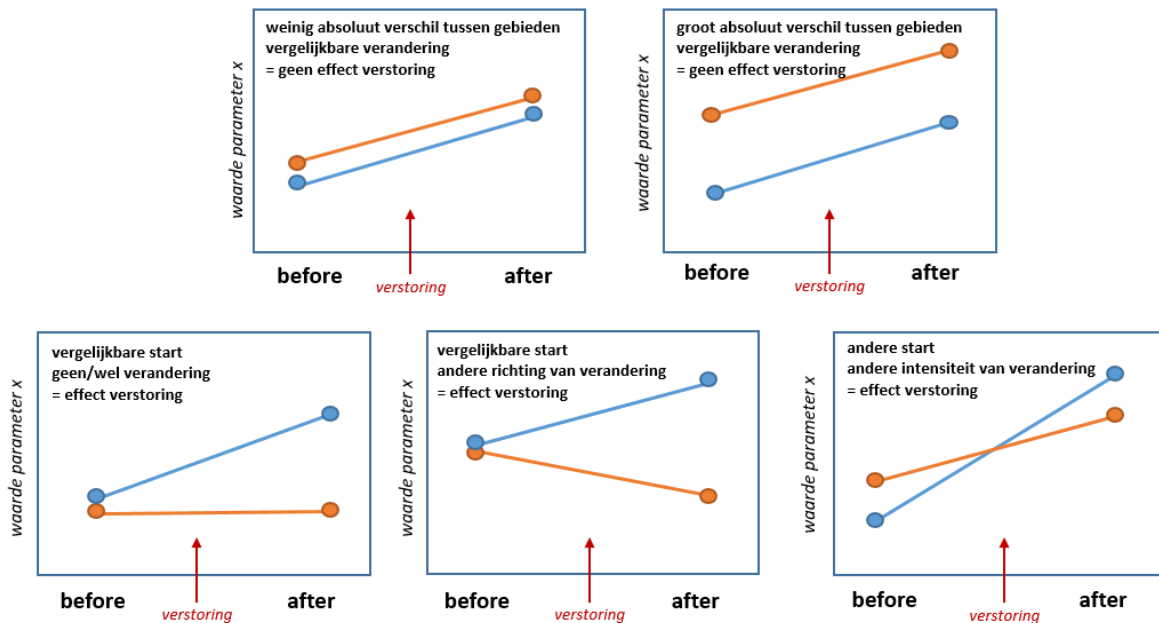
3.4 BACI ontwerp

Het monitoringsplan is opgezet volgens een z.g.n. 'Before-After, Control-Impact' (BACI) ontwerp (Green 1979; Underwood 1992, 1993, 1994). Deze bestaat eruit dat een of meer eigenschap(en) van gebieden met- en zonder verstoring, zowel voor- als na de verstoring vastgesteld worden. Als het gebied met verstoring zich anders ontwikkelt dan het gebied zonder verstoring, wordt gesproken over een effect.

Op deze manier kan het effect van de verstoring geïsoleerd worden van de autonome ontwikkelingen. Voorbeelden van autonome ontwikkelingen die van invloed kunnen zijn op de aanwezige mosselen zijn de aan- of juist afwezigheid van mosselzaadval, predatie door vogels en weersinvloeden zoals stormen

en ijsgang. Een ander voorbeeld van deze opzet is dat rekening gehouden kan worden met verschillen tussen de gebieden, die al bij de start van het experiment aanwezig zijn (en dus niet veroorzaakt zijn door de ingreep).

Vershillende theoretische situaties zonder- en met een effect van een verstoring zijn weergegeven in Figuur 4.



Figuur 4. Mogelijke theoretische uitkomsten van een onderzoek op basis van BACI methodiek. De bovenste twee panelen geven situaties weer zonder een effect van de verstoring, waarbij beginwaardes gelijk of verschillende zijn maar de veranderingen identiek. De onderste drie panelen geven drie situaties weer met een effect van de verstoring waarbij de richting of intensiteit van de verandering verschillend is. Rode lijn= blootgesteld aan verstoring, blauwe lijn= controle.

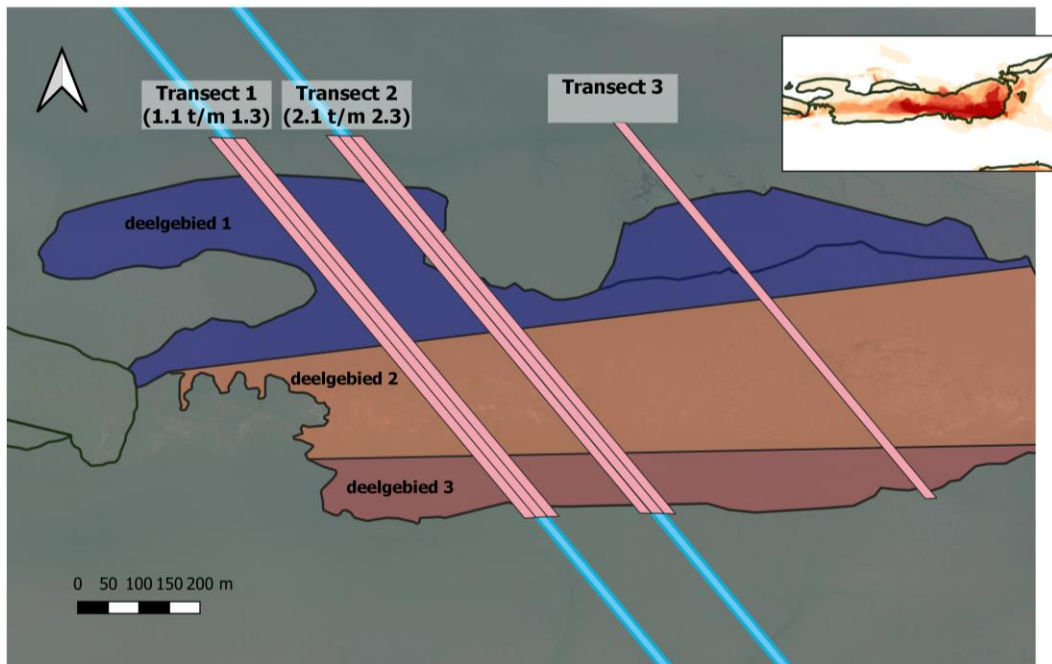
3.5 Transecten

Om een BACI ontwerp mogelijk te maken zijn er zeven transecten gedefinieerd van ieder 15 meter breed die parallel aan de kabeltracés lopen, zie Figuur 5. De kabeltracés lopen door het midden van transectnummers 1.2 en 2.2. Direct westelijk hiervan liggen de transecten met nummers 1.1 en 2.1 en oostelijk de transecten 1.3 en 2.3. Transect 3 ligt op een afstand van ongeveer 500 meter oostelijk van de stroomkabels en doet dienst als referentie.

De mosselbank (en de transecten) zijn grofweg in drie deelgebieden onderverdeeld, zie Figuur 5. De deelgebieden 1 en 3 zijn in de zomer van 2019 nieuw gevormd en bestaan uit jonge mosselen. In deze gebieden zijn geen Japanse oesters aanwezig. Deelgebied 2 begrenst het gebied waar, sinds de start van de WOT-visserij metingen in 1995, zeer regelmatig mosselen voorkomen. In dit deelgebied worden ook Japanse oesters aangetroffen.

Sinds het jaar 2000 is in het onderzoeksgebied jaarlijks een mosselbank aangetroffen (soms bestaand uit meerdere afzonderlijke banken). Van jaar tot jaar veranderde de buitenrand van de bank en als gevolg daarvan het bankoppervlak. Voor een historisch overzicht van mosselvoorkomens in het gebied wordt verwezen naar paragraaf 4.3 en Bijlage 1 van Glorius et al, (2021B). Hiernaast zijn in Bijlage 1 van dit rapport kaarten opgenomen met de bankcontouren in het onderzoeksgebied en voor de jaren 2000 tot en met 2022.

Deelgebieden en bemonsteringstransecten



Figuur 5. De buitenste randen van de mosselbank met zwarte lijnen en zoals opgemeten in 2019 binnen het WOT-visserij programma. De drie deelgebieden in paars-, oranje- en rood getinte vlakken waarmee verschillende schelpdiersamenstelling en bankleeftijden weergegeven zijn. De onderzoeks-transecten zijn weergegeven als roze vakken (ieder 15 m breed). Met de blauwe lijnen worden beide kabeltracés weergegeven (ook ieder 15 meter breed). In het paneel rechtsboven is de frequentie van mosselbankaanwezigheid voor de periode 1995 tot en met 2020 weergegeven. Hoe roder de tint hoe vaker er mosselen aangetroffen zijn. De gegevens voor deze figuur zijn afkomstig uit het WOT-Visserij programma uitgevoerd door WMR.

3.6 Meetmomenten en meetlocaties

Voordat begonnen is met het aanleggen van de kabels zijn er monsters genomen (25 mei 2021) en is het gebied in kaart gebracht met een UAV (juni 2021). Het wadtraject van de oostelijke kabel is tussen 25 en 29 augustus aangelegd en het wadtraject van de westelijke kabel op 14 september. Vervolgmetingen zijn gedaan op verschillende momenten na het aanleggen van de stroomkabels (de T1 t/m T3 metingen). De T1 meting heeft plaatsgevonden kort (enkele weken) na het aanleggen van de kabels. Op dat moment zijn geen mosselmonsters genomen maar heeft alleen UAV opname plaatsgevonden. De T2 meting heeft plaatsgevonden in de winter van 2021 en de T3 meting heeft plaatsgevonden in het voorjaar van 2022. De laatste meting heeft dus plaatsgevonden één jaar na het nemen van de eerste monsters. In de T2- en T3 metingen zijn zowel monsters genomen als UAV opnamen gemaakt. Een overzicht van deze metingen is weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1. Momenten waarop de mosselmonsters genomen, en de UAV opnamen gemaakt zijn.

Meetmoment	Datum	wat	opmerking
T0	25 mei 2021	mosselmonsters	40 monsters
	21 juni 2021	UAV opname	ong. 96 hectare
T1	17 september 2021	UAV opname	ong. 97 hectare
T2	4 november 2021	mosselmonsters	39 monsters
	2 december 2021	UAV opname	ong. 49 hectare
T3	31 mei 2022	mosselmonsters	40 monsters
	21 juni 2022	UAV opname	ong. 120 hectare

In de meeste gevallen is het gelukt om een gebied ter grootte van ongeveer 100 hectare in kaart te brengen met de UAV, zie Tabel 2. In het in kaart gebrachte gebied bevonden zich alle delen van de transecten en tussenliggende gebieden binnen de bankcontour evenals delen van de mosselbank zowel oostelijk als westelijke gelegen van de transecten. Door een relatief korte laagwaterduur tijdens de T2 meting (winter 2021) was het toen niet mogelijk om het gehele gebied in kaart te brengen terwijl het droog lag. Hoewel het hele gebied is ingevlogen kon alleen van het middelste (oudere) deel van de bank (deelgebied 2) een oppervlak van ongeveer 49 hectare een ortho-kaart worden geconstrueerd¹. Van slechts kleine delen van de deelgebieden 1 en 3 konden ortho-kaarten worden gemaakt.

Uit de voorstudie (Glorius et al., 2020) bleek het nodig te zijn 8 monsters per transect te nemen om een verschil van 50% of meer met een power van 80% en significantie niveau van 5% aan te kunnen tonen. In de transecten 1.2, 2.2 en 3 zijn op ieder meetmoment 8 monsters genomen en in de transecten 1.1, 1.3, 2.1 en 2.3 op ieder meetmoment 4 monsters. Voorafgaand aan ieder veldbezoek zijn in QGIS op random locaties binnen het betreffende transect locatiemarkeringen gemaakt en ingelezen in een handheld GPS voor navigatie in het veld. Wanneer op een monsterlocatie geen mosselpatch aanwezig was, is de meest nabijge patch bemonsterd. De strook waarover de bodem daadwerkelijk beroerd werd door de aanlegwerkzaamheden bleek smaller dan 15 meter te zijn. De transecten waar de kabels door getrokken zijn (transectnummers 1.2 en 2.2), zijn daarom breder dan de strook die beroerd is. In de selectie van de te bemonsteren mosselpatches in deze transecten, is getracht zoveel als mogelijk, patches te selecteren die zich in de daadwerkelijk beroerde strook bevonden.

3.7 (statistische) analyses

Voor de volgende (univariate) parameters is onderzocht of zich een effect van aanleg heeft voorgedaan: mosseldichtheid, -biomassa, het aantal- en het oppervlak van individuele mosselpatches. Voor de analyses zijn monsters genomen in verschillende transecten samengevoegd tot de volgende categorieën: kabelstrook (1.2 en 2.2), rand (1.1, 1.3, 2.1 en 2.3) of referentiestrook (3). Hieronder is het lineair regressie model weergegeven dat gefit is.

$$P = \beta_0 + \beta_1 \text{tijdstip} + \beta_2 \text{locatie} + \beta_3 \text{tijdstip} \times \text{locatie} + \epsilon$$

Waarbij:

P = afhankelijke variabelen (parameter)

β = intercept en schattingen van de coëfficiënten voor de verklarende variabelen

tijdstip = T0, T2, of T3.

locatie = kabelstrook, rand, of referentiestrook

ϵ = niet verklaarde variatie (ruis)

Ook is bekeken hoe de lengtefrequentieverdeling van de mosselen veranderde na het aanleggen van de kabels. Voor deze parameter zijn verschillen verder niet statistisch getoetst.

De UAV beelden zijn gebruikt om de beschadiging van individuele mosselpatches en de veranderingen in het met mosselen bedekte oppervlakte te onderzoeken. Hierbij is het oppervlak dat bedekt is met mosselpatches in de verschillende transecten (exclusief eventuele gaten hierin) gedeeld door het totale oppervlak van het beschouwde transect. Alleen de transectdelen die zich in deelgebied 2 bevinden zijn bekeken omdat alleen dit deelgebied elk meetmoment in kaart gebracht is. De bedekkingspercentages van de transecten 1.2 en 2.2 zijn weergegeven in de figuren als respectievelijk 'kabel - 1' en 'kabel - 2'. De transecten 1.1 en 1.3 zijn gezamenlijk beschouwd en weergegeven met 'rand - 1' en de transecten 2.1 en 2.3 met 'rand - 2'. Transect 3 is met 'referentie' weergegeven.

¹ Wanneer er water op de platen staat vindt de software voor fotogrammetrie geen zgn "tie-points" die nodig zijn om een mozaiek van foto's te maken.

Hiernaast is bekeken hoe het bankoppervlak in 2022 veranderde ten opzichte van het jaar ervoor en hoe deze verandering zich verhoudt met de jaarlijkse veranderingen in de periode 2000 tot en met 2021. Ook is bekeken of en hoe de bankcontouren (buitenste randen van de mosselbank) veranderd zijn. Hiervoor is gebruikt gemaakt van gegevens die verzameld zijn in het kader van het WOT-visserij onderzoeksprogramma.

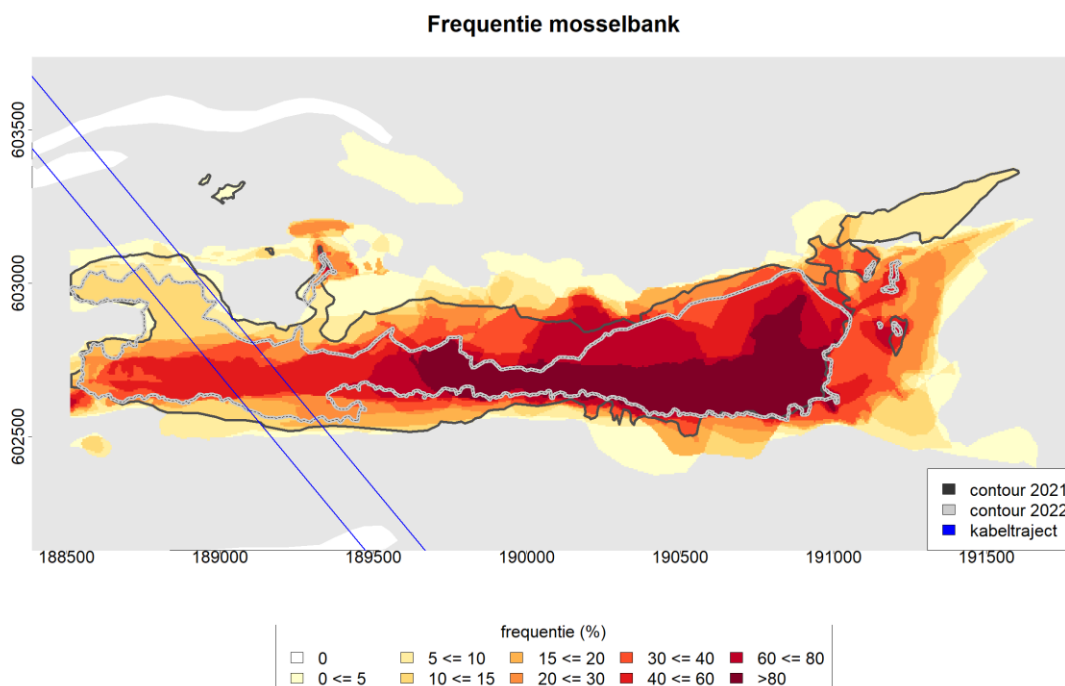
4 Resultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de verschillende metingen die voor dit onderzoek verzameld zijn gepresenteerd en besproken evenals de binnen het WOT-visserij programma ingemeten bankcontouren.

4.1 Bankcontour

In Figuur 6 zijn de bankcontouren zoals die in het kader van het WOT-visserij onderzoek opgemeten zijn voor de jaren 2021 en 2022 weergegeven. In Bijlage 1 zijn de bankcontouren van elk afzonderlijk jaar en voor de jaren 2000 tot en met 2022 weergegeven. Uit Figuur 6 is te zien dat het bankoppervlak in het jaar 2022 afnam ten opzichte van het jaar ervoor. Vooral aan de noordelijke kant van de bank, maar ook aan de zuidelijk gelegen rand van de bank, zijn mosselen verdwenen. Hiernaast zijn losse bankdelen in noord- en noordoostelijk gelegen gebieden van de bank gedeeltelijk of in zijn geheel verdwenen.

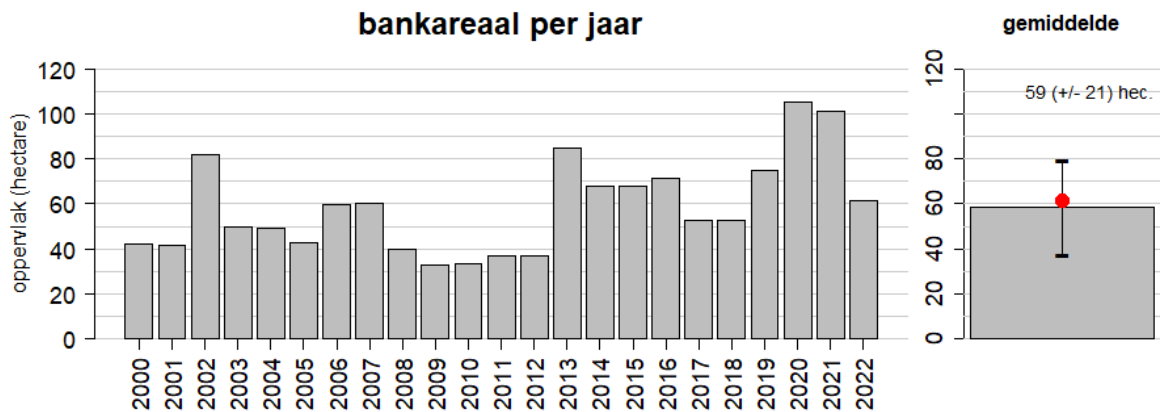
Verder valt op dat vooral bankdelen die op plekken liggen waar in het verleden minder frequent mosselen aangetroffen zijn, en dus minder stabiel zijn, verdwenen zijn (de lichter getinte vlakken in Figuur 6). Voornamelijk bankdelen die door een zaadval in 2018 nieuw gevormd werden, en dus nog relatief jong waren, zijn verdwenen (zie ook Bijlage 1).



Figuur 6. De bankcontour in het jaar 2021 (zwarte lijn) voor het aanleggen van de kabels en de bankcontour in het jaar 2022 (grijze lijn) na het aanleggen van de kabels. Met de oranje tot rode vlakken is de frequentie van bankvoorkomen weergegeven in de periode tussen de jaren 2000 en 2022. Voor dit figuur is data afkomstig van WOT-visserij gebruikt.

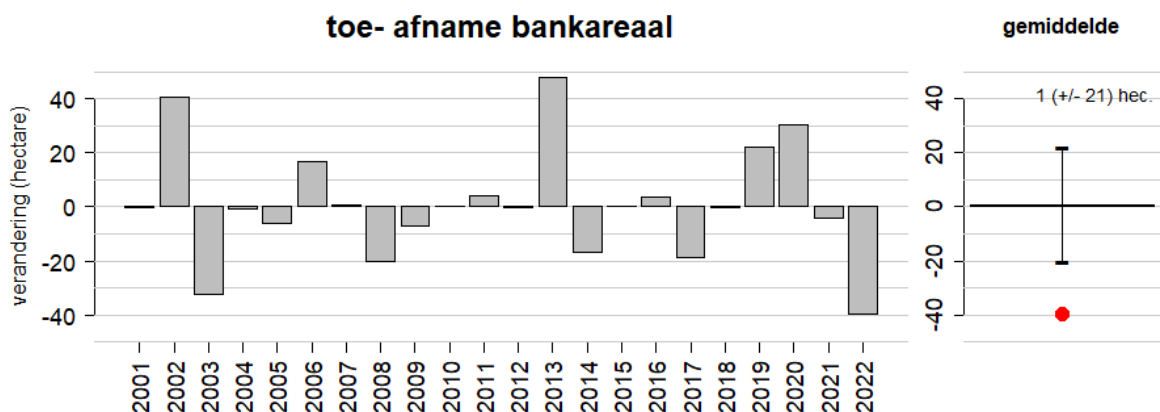
In Figuur 7 zijn de bankoppervlaktes voor de jaren 2000 tot en met 2022 weergegeven. Hieruit valt te zien dat het bankareaal in de jaren voor het aanleggen van de kabels (2019 tot en met 2021) relatief groot was in vergelijking met eerdere jaren als gevolg van de hierboven beschreven mosselzaadval in de zomer van 2019 (resultierend in een toename van het areaal in het voorjaar van 2020). Verder is te zien dat het bankareaal in 2022 net iets boven het langjarige gemiddelde ligt. Door mosselzaadval in de zomers vóór de voorjaren van 2006, 2013 en 2019 (zie ook Bijlage 1) nam in die jaren het areaal

flink toe. In de jaren 2002 en 2020 nam het bankareaal toe door verspreiding van mosselpatches over een groter oppervlak, waarschijnlijk als gevolg van stormen.



Figuur 7. Bankarealen voor de periode 2000 tot en met 2022. In het linkerpaneel zijn de arealen per jaar weergegeven. In het rechterpaneel is het gemiddelde areaal (en de standaard deviatie) weergegeven voor de periode 2000-2022. In dit paneel is het areaal in 2022 met een rode stip weergegeven.

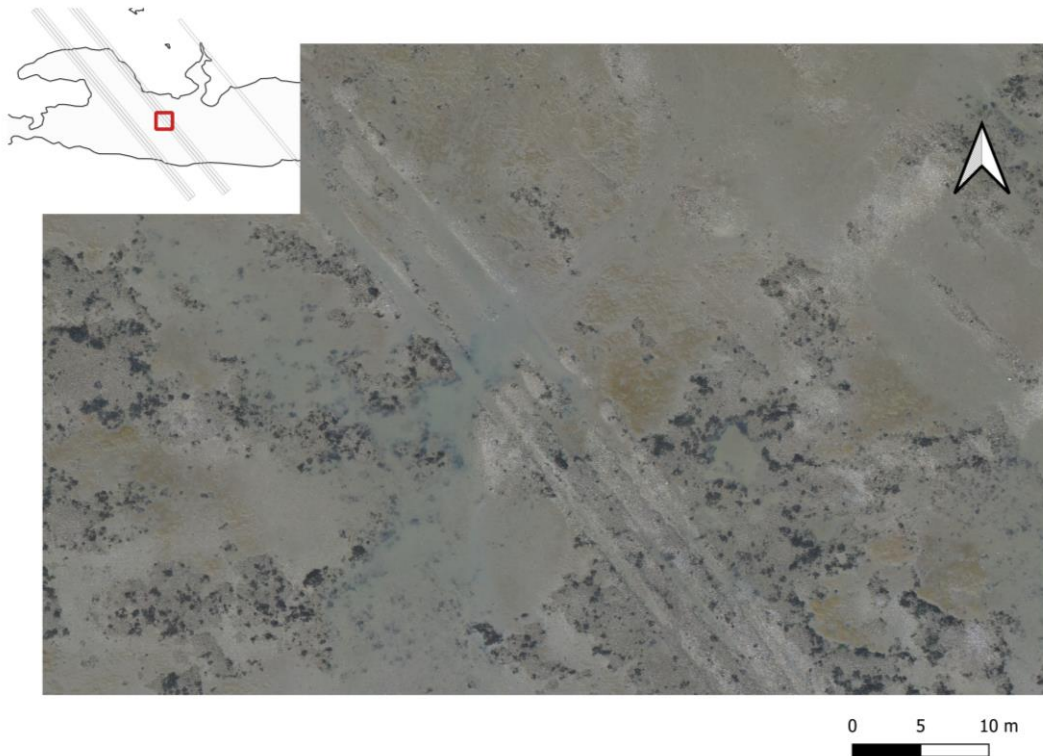
In Figuur 8 zijn de veranderingen in het bankoppervlak per jaar en voor de jaren 2001 tot en met 2022 weergegeven. In de jaren na toenames in bankarealen door zaadval of verspreiding van mosselpatches (2002, 2006, 2013, 2019 en 2020) namen bankarealen af. Zo nam het bankareaal ook af tussen 2021 (voor het kabel leggen maar na de mosselzaadval van 2018) en 2022 (na het aanleggen van de kabels). De bankafname tussen 2021 en 2022 was het grootst in de hier beschouwde jaren.



Figuur 8. Verandering in bankareaal ten opzichte van het voorgaande jaar en voor de periode 2000 tot en met 2022. In het linkerpaneel zijn de veranderingen per jaar weergegeven. In het rechterpaneel is de gemiddelde verandering (en de standaard deviatie) weergegeven voor de periode 2000-2022. In dit paneel is de verandering in areaal in 2022 met een rode stip weergegeven.

4.2 Mosselpatches

In Bijlage 2 zijn de kaarten die verkregen zijn uit de UAV opnames van de T0-, T1-, T2- en T3 meetmomenten weergegeven. In Bijlage 3 is de ligging van de mosselpatches voor de verschillende transecten en meetmomenten weergegeven. In Figuur 9 is een detail van de UAV kaart van meetmoment T1 weergegeven en in Figuur 10 is een veldfoto die tijdens de werkzaamheden voor het nemen van de T2 mosselmonsters op het oostelijk gelegen kabeltraject genomen is weergegeven.



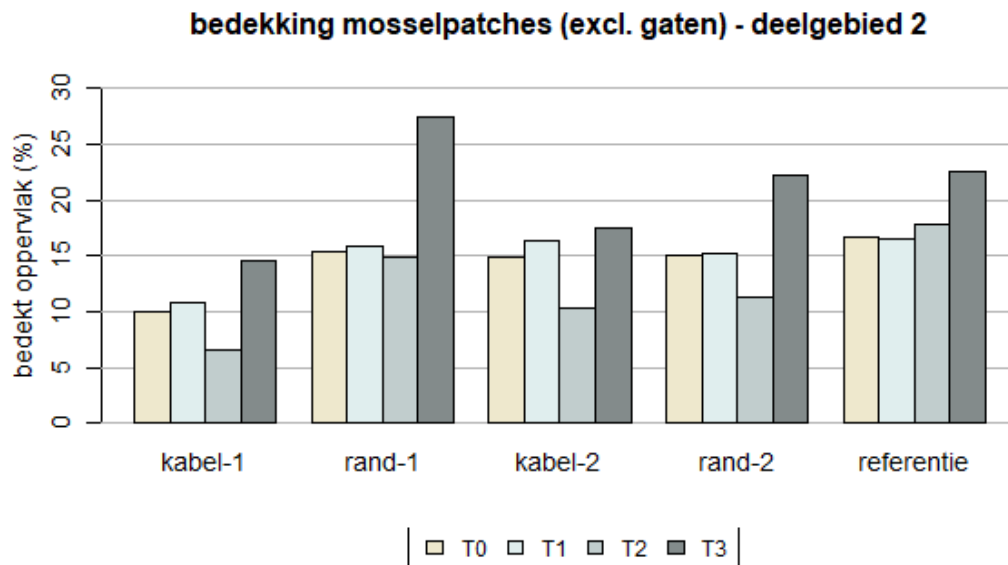
Figuur 9. Detail van de UAV kaart van het T1 meetmoment waarop markeringen in het landschap van het aanleggen van de oostelijk gelegen kabel te zien is.



Figuur 10. Een foto genomen tijdens het nemen van de monsters voor de T2 meting waarop de sporen van beide geleiders van de slede en het spoor van de ploegsnede te zien is. De foto is genomen op het westelijk gelegen kabeltracé (transect 1.2).

Op de kaart in Figuur 9 en de foto van Figuur 10 zijn drie sporen te onderscheiden die gezamenlijk een strook van ongeveer 7,5 meter breed bestrijken. De twee buitenste sporen zijn veroorzaakt door de afdruk van de geleiders en zijn ieder ongeveer 1,5 meter breed. In het midden is de afdruk van de ploegsnede te zien welke ongeveer 1 meter breed is. Op de sporen van beide geleiders en de ploegspoor is duidelijk te zien dat de mosselpatches beschadigd zijn geraakt. Op de delen die tussen de beide geleiders en de ploegsnede liggen (ieder ongeveer 1,8 meter breed) lijken de mosselpatches niet beschadigd te zijn.

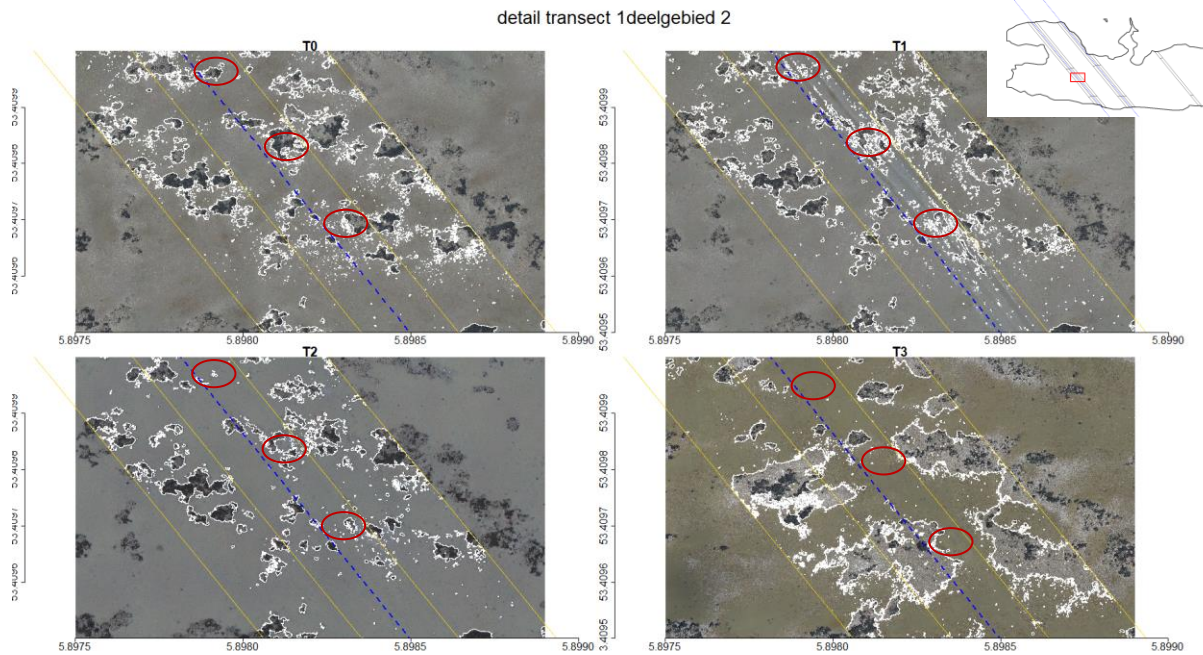
In Figuur 11 is het met mosselen bedekte oppervlak (als percentages) weergegeven voor de verschillende transecten en meetmomenten. Alleen de transectdelen die zich in deelgebied 2 bevinden zijn hierbij meegenomen. De transecten 1.1 en 1.3 en de transecten 2.1 en 2.3 zijn hierbij samengevoegd en in het figuur aangeduid met respectievelijk 'rand-1' en 'rand-2'. In Figuur 12, Figuur 13 en Figuur 14 zijn details van de ortho kaarten getoond waarop de ligging van de mosselpatches weergegeven is.



Figuur 11. Het met mosselen bedekte oppervlak in de transectdelen gelegen in deelgebied 2 en voor de verschillende meetmomenten. 'kabel-1' in het figuur betreft transect 1.2, 'rand-1' betreft de transecten 1.1 en 1.3, 'kabel-2' transect 2.2, 'rand-2' de transecten 2.1 en 2.3 en 'referentie' transect 3.

Het met mosselen bedekte oppervlak varieert van 6.6% ('kabel-1' op meetmoment T2) tot 27% ('rand-1' op meetmoment T3), zie Figuur 11. De hoogste bedekkingspercentages zijn tijdens meetmoment T3 gemeten. De verschillen in het met mosselen bedekte oppervlak tussen de T0 meting (voor het aanleggen van de kabels) en de T1 metingen (enkele weken na het aanleggen van de kabels) zijn klein, terwijl de verschillen tussen de T1- en T2-, en tussen de T2- en T3 metingen juist vaak groot zijn, zie Figuur 11.

De verandering in bedekt oppervlak tussen het T1- en T2 meetmoment verschilt per transect. In de transecten waar de kabels door getrokken zijn ('kabel-1' en 'kabel -2' in het figuur) en in de transecten 2.1 en 2.3 ('rand-2' in het figuur) nam het met mosselen bedekte oppervlak af tussen de T1 en de T2 meting. In de referentiestrook ('referentie' in het figuur) en in de transecten 1.1 en 1.3 ('rand-1' in het figuur) nam het met mosselen bedekte oppervlak niet sterk toe of af in dezelfde periode. In de paragraaf hieronder is naar de veranderingen van individuele mosselpatches gekeken.



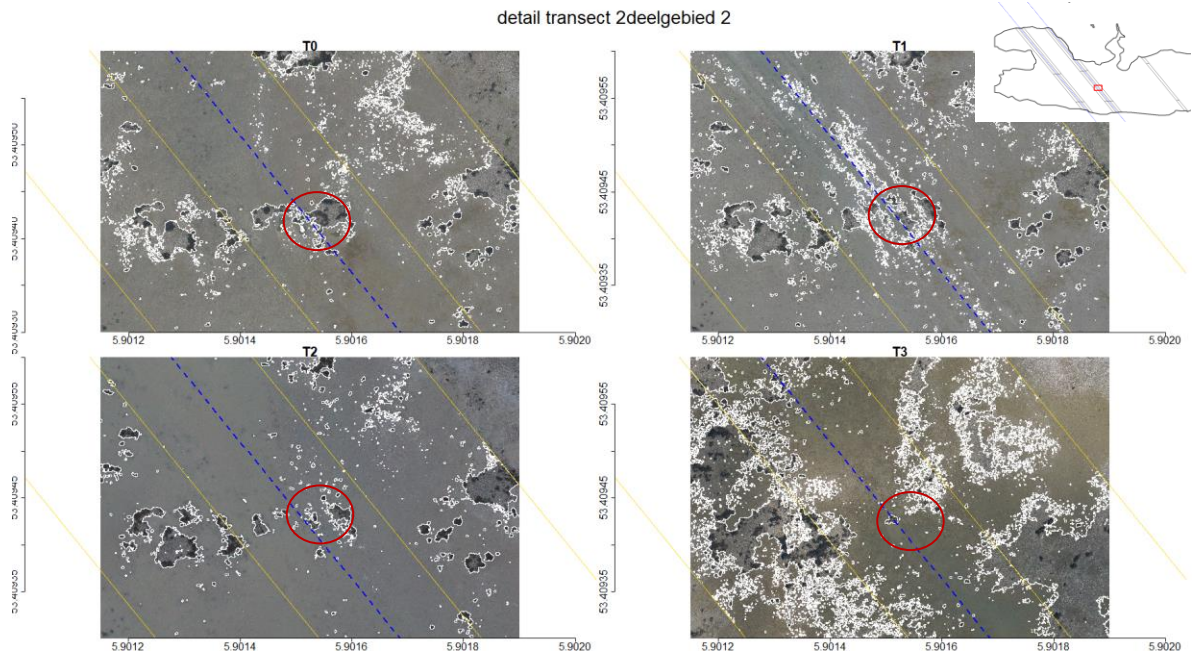
Figuur 12. Details ortho-kaarten waarop de transecten 1.1, 1.2 en 1.3 (gelegen in deelgebied 2) te zien zijn voor de meetmomenten T0 (paneel linksboven) tot en met T3 (paneel rechtsonder). Met witte lijntjes is de ligging van individuele mosselpatches weergegeven zoals bepaald met U-Net algoritme. Met de gele lijnen zijn de randen van de transecten weergegeven en met de blauwe lijn de beoogde kabeltracé's. Met drie rode cirkels zijn gebieden aangeduid waar de slede doorheen getrokken is en mosselpatches beschadigd zijn geraakt.

In Figuur 12 worden details van de transectdelen van 1.1, 1.2 en 1.3 die in deelgebied 2 (zie Figuur 5) liggen weergegeven voor de verschillende meetmomenten. Individuele patches zijn op deze kaarten weergegeven met witte lijnen. Op het paneel rechtsboven van Figuur 12 is het T1 meetmoment weergegeven waarop de sporen van beide geleiders en de ploegsnede goed te zien zijn. Ze liggen iets oostelijk van het geplande kabel tracé maar valt wel geheel binnen transect 1.2. Op latere meetmomenten zijn de sporen niet goed meer te zien op de UAV beelden, zie Figuur 12.

Op de T1 kaart van Figuur 12 is te zien dat delen van mosselpatches waar de slede doorheen getrokken is, uiteen gevallen zijn in meerdere kleinere mosselpatches. Op de kaart van T2 is te zien dat enkele maanden na het aanleggen van de kabels een deel van de, met name kleinere, uiteengevallen mosselpatches niet meer teruggevonden is. Op de kaart van het T3-metmoment is te zien dat een jaar na de eerste meting ook veel van de grotere patches verdwenen zijn, zie de rode cirkels in Figuur 12.

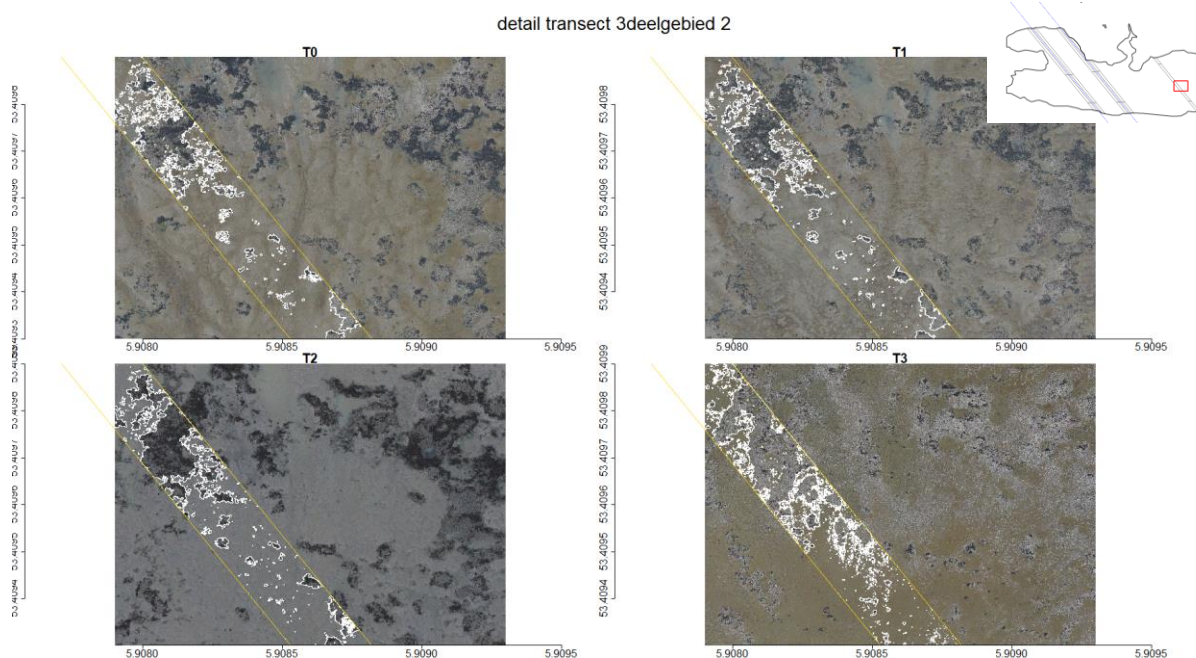
De bedekking met mosselen is hierdoor in de strook waar de geleider doorheen getrokken is (die dus ongeveer 7,5 meter breed is), na een jaar sterk afgenomen. Op de kaarten van Figuur 12 is verder te zien dat een groot deel van de (m.n. grotere) mosselpatches in transect 1.2 (de westelijke kabeltransect), die niet tussen beide geleide sporen liggen en niet direct beschadigd zijn geraakt, niet sterk veranderen tussen de eerste en laatste meting. Deze hebben zich blijkbaar goed weten te handhaven. Ook de grotere mosselpatches die in de T0 opname aanwezig zijn in de transecten 1.1 en 1.3, dus nog wat verder van de werkstrook liggen, zijn op latere momenten nog duidelijk en onbeschadigd zichtbaar. Ongeacht het transect, lijken een aantal kleinere mosselpatches, die op het beeld van T1 nog wel te zien zijn, niet meer aanwezig te zijn op het beeld van T2.

In Figuur 13 is een detail opgenomen van de transecten 2.1, 2.2 en 2.3. Ook op deze kaart van het T1 meetmoment is de afdruk van de geleiders en de ploeg goed te zien die het beoogde kabelstracé wat nauwkeuriger volgt dan in de details van Figuur 12 het geval was. Ook in dit figuur is het hierboven beschreven proces, waarbij alleen in de beroerde strook van ongeveer 7,5 meter breed de mosselpatches eerst beschadigd raken en later veelal verdwijnen, goed terug te zien. Ook hier hebben de meeste (grotere) mosselpatches zich, buiten deze strook, goed weten te handhaven. Een deel van de kleine mosselpatches, die op het meetmoment van T1 nog aanwezig zijn, zijn op het meetmoment van T2 niet meer aangetroffen.



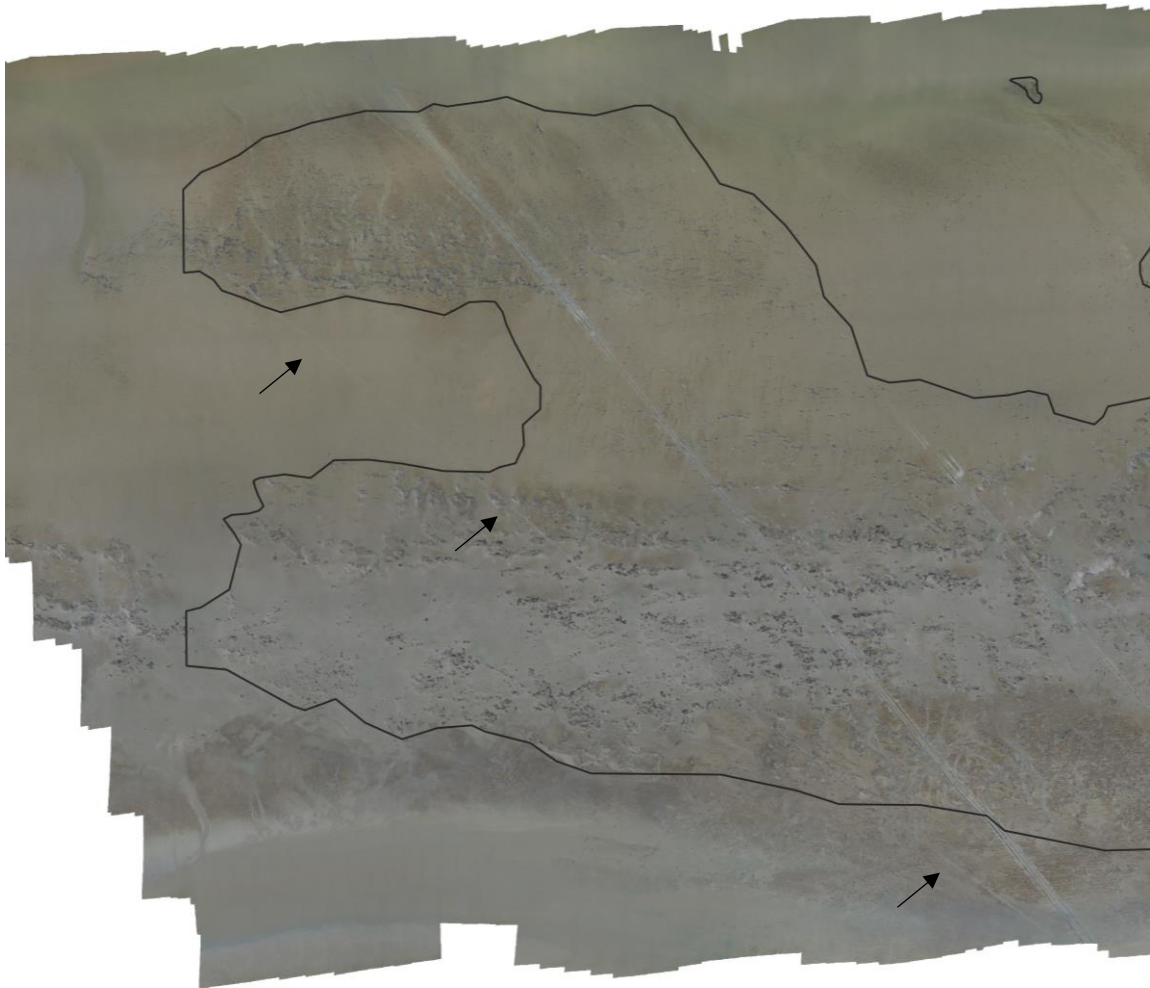
Figuur 13. Details van ortho-kaarten waarop de transecten 2.1, 2.2 en 2.3 (gelegen in deelgebied 2) te zien zijn voor de meetmomenten T0 (paneel linksboven) tot en met T3 (paneel rechtsonder). Met witte lijntjes is de ligging van individuele mosselpatches weergegeven zoals bepaald met U-Net algoritme. Met gele lijnen zijn de randen van de transecten weergegeven en met de blauwe lijn de beoogde kabeltracé. Met drie rode cirkels zijn gebieden aangeduid waar de slede doorheen getrokken is en mosselpatches beschadigd zijn geraakt.

In Figuur 14 is een detail opgenomen van transect 3, die als referentie dienst doet. In dit figuur is te zien dat zowel de grotere als kleinere mosselpatches zich goed hebben weten te handhaven tussen de eerste meting (T0) en de winter meting van 2021 (T2). Op het T3 meetmoment, genomen in mei van het jaar 2022, liggen de mosselpatches weliswaar op dezelfde plek maar zijn de buitencontouren groter. Een toename van patchgrootte op T3 wordt ook in de andere transecten gezien, zie de Figuren 12 tot en met 13. Dit verschijnsel was hierboven ook al beschreven, zie Figuur 11.



Figuur 14. Details van de ortho-kaarten waarop transect 3 (gelegen in deelgebied 2) te zien zijn voor de meetmomenten T0 (paneel linksboven) tot en met T3 (paneel rechtsonder). Met witte lijntjes is de ligging van individuele mosselpatches weergegeven zoals bepaald met U-Net algoritme. Met gele lijnen zijn de randen van transect 3 weergegeven.

Naast de beschadiging van de mosselpatches op de werkstroken, viel op ortho-kaart van het T1 meetmoment een lijn op (aangewezen met drie pijltjes in Figuur 15). Waar deze beschadiging door veroorzaakt is, is niet met zekerheid te zeggen. Op de ortho-kaarten van latere meetmomenten is deze lijn in het landschap niet meer te ontdekken.



Figuur 15. Detail van de ortho-kaart van meetmoment T1 waarop een lijn te zien is gelegen in het westelijk gelegen bankdeel, aangeduid met zwarte pijltjes.

De transecten 1.2 en 2.2 (waarin beide kabels zijn aangelegd) zijn breder (15 meter) dan de daadwerkelijk beschadigde werkstroken die ieder 7,5 meter breed zijn. De afname in mosseledekking over beide werkstroken is hier niet berekend. Uit bovenstaande blijkt dat een groot deel van de mosselpatches in deze stroken verdwenen zijn maar niet allemaal. Ervan uitgaande dat wel alle mosselpatches verdwijnen in deze stroken van ieder 7,5 meter breed, dan kan berekend worden hoeveel mosseleppervlak in totaal verdwenen is als gevolg van het aanleggen van beide kabels in een worst-case scenario. Ook kan dan bekeken worden hoe deze afname zich verhoudt tot de totale met mosselen bedekte oppervlak van de bank.

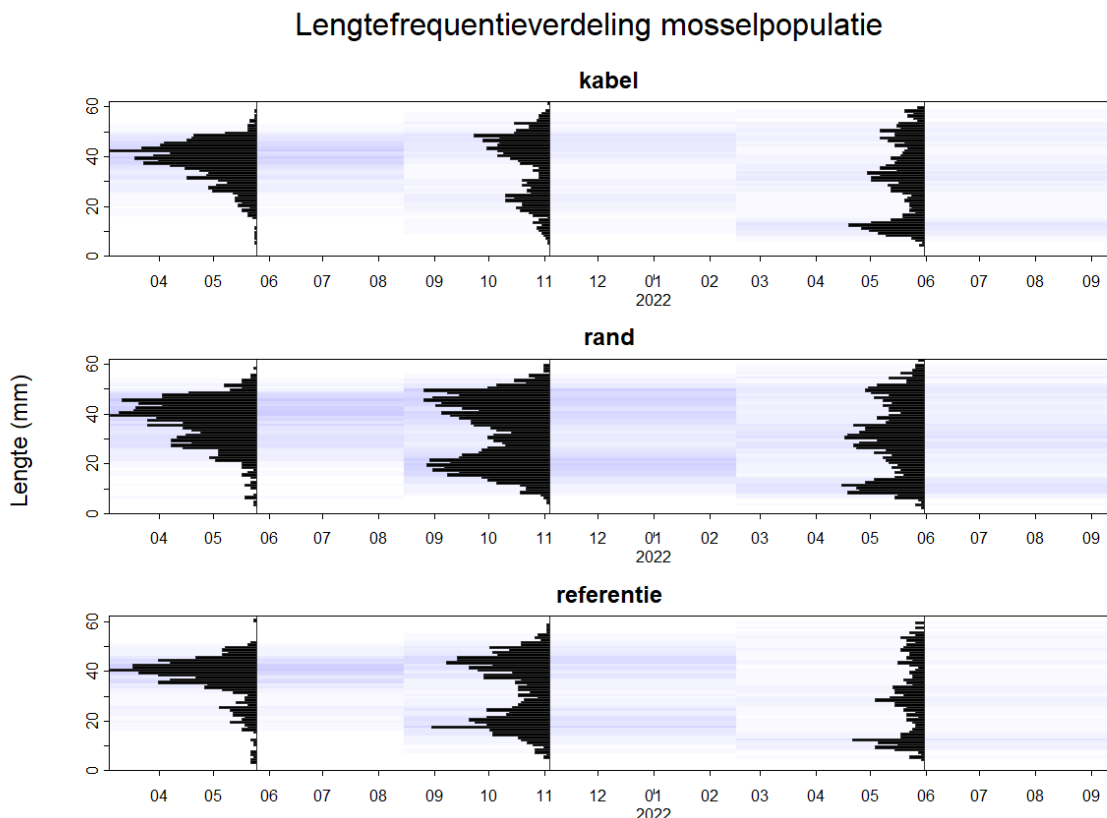
De gemiddelde bedekking van de bank bedraagt 17,6 % (bedekking op alle transecten minus 1.2 en 2.2 en exclusief meetmoment T3 die als minder betrouwbaar ingeschat wordt (zie hoofdstuk discussie). Gemiddeld over de jaren 2021 en 2022 was het bankoppervlak 81,2 hectare. Het oppervlak van beide aanlegstroken bedroeg gemiddeld voor beide jaren 0,78 hectare (7,5 meter x 640 meter) + (7,5 meter x 400 meter). Dit gecombineerd leidt tot een afname van 1.373 m² aan mosseleppervlak binnen de bank, oftewel 0,14 hectare. Dit betekent dat het oppervlak dat bedekt is met mosselen binnen de bank met 0.17% afgenomen is in het hierboven beschreven scenario.

4.3 Mosselpopulatie van de mosselpatches

In Figuur 16 is de verdeling van het aantal mosselen over verschillende lengteklassen weergegeven voor drie meetmomenten. Mosselen uit de monsters genomen in de transecten 1.2 en 2.2 zijn met 'kabel' in de figuur weergegeven, uit de monsters van de transecten 1.1, 1.3 en 2.1, 2.3 met 'rand' en de monsters uit transect 3 met 'referentie'.

Hoewel er verschillen opgetreden zijn in het aantal mosselen dat aangetroffen is in de monsters (zie onder), liggen de pieken in de lengte frequentiegrafieken bij dezelfde mosselschelp lengtes voor de verschillende transecten. Dus hoewel absolute aantallen mosselen verschillen, zijn de lengtefrequentieverdelingen gelijk. In de monsters die genomen zijn tijdens de T0-meting van mei 2021 worden mosselen met een schelp lengte van rond de 40 mm dominant aangetroffen in de monsters. Tussen de T0-meting (mei 2021) en de T2-meting (november 2021) is er mosselbroed in de bank gevallen wat in de lengte frequentiegrafieken van de T2 metingen terug te zien is met pieken in het aantal mosselen met een schelp lengte van ongeveer 18 mm. In de monsters die genomen zijn in de T3-meting (mei 2022) zijn drie pieken terug te zien in de lengtefrequentiegrafieken die liggen rond de 10, 30 en 45 mm. Dit duidt op de aanwezigheid van drie cohorten (= mossel-jaargangen).

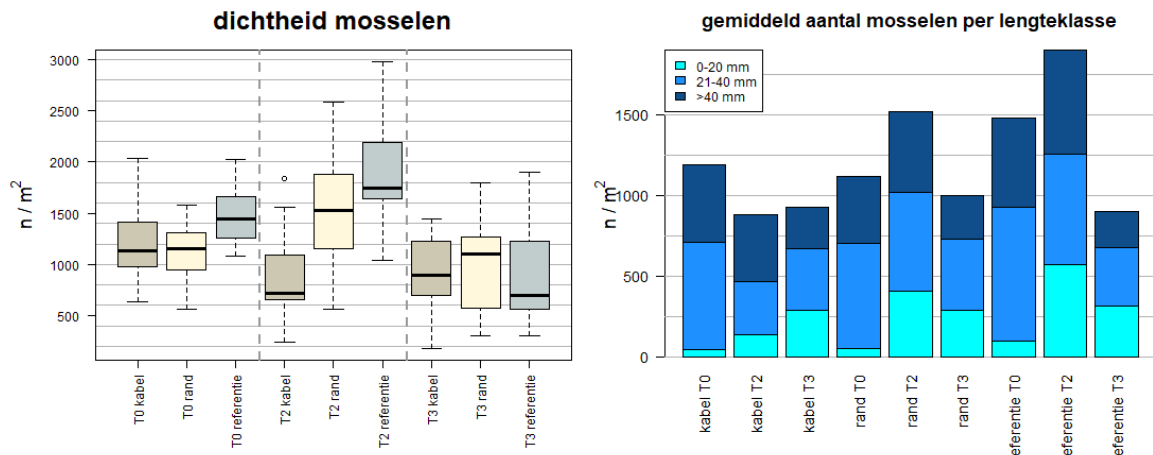
Uit bovenstaande volgt dat (een deel van) het mosselzaad dat tussen mei en november 2021 in de bank gevallen was zich heeft kunnen handhaven evenals de toen reeds aanwezige grotere (en dus oudere) mosselen. En dat hiernaast in het voorjaar van 2022 wederom een mosselzaadval heeft plaatsgevonden in de bank.



Figuur 16. De verdeling van de mosselschelp lengte van mosselen in de mosselpatches van monsters in beide kabeltrajecten (bovenste paneel), in de stroken er direct naastgelegen (middelste paneel) en in het referentietraject (onderste paneel). Hoe groter het aantal mosselen in een klasse hoe hoger de zwarte balkdiagram en hoe donkerder de paarse streep is. De x-as geeft de maandnummers weer, van april 2021 tot en met september 2022. De verdeling van de schelp lengtes zijn weergegeven voor drie meetmomenten; voor het aanleggen van de kabels 'T0' (mei 2021) en op twee momenten erna, 'T2' (november 2021) en 'T3' (mei 2022).

In Figuur 17 is het aantal mosselen dat in de mosselpatches aangetroffen is weergegeven. Hierin is aangegeven hoe deze aantallen verdeeld zijn over drie verschillende lengteklassen. In Tabel 2 en

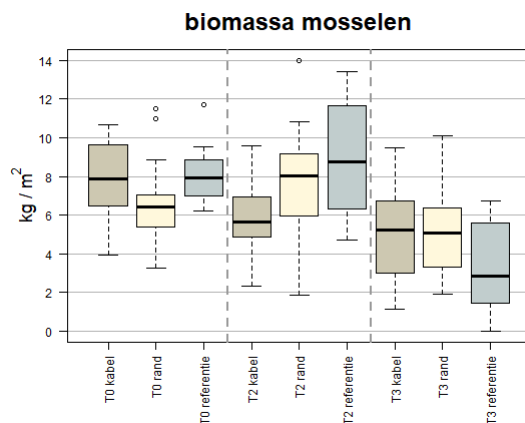
Tabel 3 worden de resultaten van de statistische modellen getoond voor de interactieterm "locatie x tijd". In Bijlage 4 zijn de modeluitkomsten van alle variabelen getoond.



Figuur 17. De mosseldichtheden in de mosselpatches in de monsters genomen tijdens het meetmoment voor het aanleggen van de kabels, T0' (mei 2021) en op twee momenten erna, 'T2' (november 2021) en 'T3' (mei 2022). Monsters die in de transecten 1.2 en 2.2 genomen zijn worden weergegeven met 'kabel', die in de transecten 1.1, 1.3, 2.1 en 2.3 genomen zijn met 'rand' en monsters die in transect 3 genomen zijn met 'referentie'. Links: boxplot van de mosseldichtheden in elk monster. Rechts: de gemiddelde mosseldichtheid per lengteklasse voor de verschillende transecten en meetmomenten.

Uit Figuur 17 en Tabel 2 is te zien dat de dichtheid van mosselen in de patches zich op het referentie transect (significant) anders heeft ontwikkeld dan in dan in de kabeltransecten enkele maanden na het aanleggen van de kabels. Waar de dichtheid van mosselen toeneemt in de monsters genomen in het referentietransect blijven de aantallen gelijk in de monsters genomen in de kabeltransecten. Uit nadere analyse blijkt dat dit verschil veroorzaakt wordt door een significant grotere toename van mosselen met kleine schelpengtes (<20 mm) in de monsters van het referentietransect. Dit duidt op ofwel een beperktere mosselbroedval in de mosselpatches gelegen in de kabeltransecten, ofwel dat er evenveel gevallen is maar dat de overleving van het jonge mosselbroed slechter is geweest in de kabeltransecten tussen het T0 en T2 meetmoment. Ook een combinatie van beide is mogelijk. Er zijn geen verschillen in ontwikkeling aangetroffen in mosseldichtheden tussen de randtransecten en het referentietransect, zie Tabel 3.

Een jaar na de eerste meting is het verschil in ontwikkeling in mosseldichtheden tussen de kabeltransecten en het referentietransect verdwenen, zie Tabel 2. In de monsters genomen in de kabeltransecten nam het aantal kleine mosselen toe, terwijl dit in de andere transecten juist afnam. De aantallen grotere mosselen (>40mm) in de monsters nam in alle geval wat af en het aantal mosselen met schelpengte tussen de 21 en 40 mm bleef voor de kabelstroken gelijk en nam wat af voor de andere transecten, zie Figuur 17. Deze verschillen in ontwikkeling zijn echter niet significant, zie Tabel 3.



Figuur 18. Het (vers)gewicht van de mosselen in de mosselpatches in de monsters genomen tijdens het meetmoment voor het aanleggen van de kabels, 'T0' (mei 2021) en op twee momenten erna, 'T2' (november 2021) en 'T3' (mei 2022).

Hoewel het gemiddelde gewicht in van de mosselen in de patches in het referentie-transect toenam en die in de kabel-transecten afnam tussen de T0- en T2 meting (zie Figuur 18), is dit verschil in ontwikkeling net niet significant (p-waarde 0,053), zie Tabel 2. Er is wel een significant verschil in ontwikkeling tussen de rand-transecten en het referentie-transect tussen de T0- en T3 meting, zie Tabel 3 waarbij de biomassa afname in het referentie-transect wat groter was.

Tabel 2. Modeluitkomsten van de interactie term waarbij de monsters genomen in de referentie vergeleken is met de monsters genomen in de kabelstroken. Resultaten met p-waarden < 0.05 zijn in grijs afgedrukt.

parameter	Korte termijn (T0 - T2)				Lange termijn (T0 - T3)			
	estimate	error	tvalue	p	estimate	error	tvalue	p
Biomassa (mg)	2789.5	1400.3	1.992	0.053	-1952.5	1369.4	-1.426	0.161
mosseldichtheid	728.8	253.3	2.877	0.006	-318.7	230.3	-1.384	0.173
mosseldichtheid (< 20 mm)	380.7	102.6	3.711	0.001	-24.7	97.5	-0.253	0.801
mosseldichtheid (21 - 40 mm)	198.2	184.7	1.073	0.289	-178.7	165.1	-1.083	0.285
mosseldichtheid (> 41 mm)	152.8	107.3	1.425	0.162	-112.5	87.7	-1.282	0.206

Tabel 3. Modeluitkomsten van de interactie term waarbij monsters genomen inde referentie vergeleken is met monsters genomen in de randen. Resultaten met p-waarden < 0.05 zijn in grijs afgedrukt.

parameter	Korte termijn (T0 - T2)				Lange termijn (T0 - T3)			
	estimate	error	tvalue	p	estimate	error	tvalue	p
Biomassa (mg)	-270.5	1586.2	-0.171	0.865	-3348	1358.246	-2.465	0.018
mosseldichtheid	15.0	275.1	0.055	0.957	-461.25	245.2563	-1.881	0.067
mosseldichtheid (< 20 mm)	117.5	118.7	0.990	0.328	-17.5	106.0379	-0.165	0.870
mosseldichtheid (21 - 40 mm)	-102.5	185.8	-0.552	0.584	-252.5	147.8914	-1.707	0.095
mosseldichtheid (> 41 mm)	0.0	134.8	0.000	1.000	-191.25	103.0532	-1.856	0.070

In alle vergelijkingen die hier gedaan zijn (kabel vs referentie en rand vs referentie) lag zowel het versgewicht als het aantal mosselen in de monsters significant lager in 2022 (de T3-meting) ten opzichte van een jaar eerder (de T0-meting) ongeacht het transect, zie Bijlage 4.

5 Discussie en conclusies

In dit onderzoek is gebruikt gemaakt van een innovatieve methode om de ligging van de mosselpatches en het met mosselen bedekte oppervlak in kaart te brengen. Hierbij is gebruikt gemaakt van kaarten die met UAV opnames verkregen zijn en het trainen van een 'deep learning' netwerk "U-Net" genaamd. Tijdens het maken van de trainingsdata (die gebruikt zijn om de parameter-waarden van het U-Net algoritme te bepalen) is ondervonden dat het maken van het onderscheid tussen (dood) schelpengruis enerzijds en vitale mosselpatches anderzijds soms moeilijk te maken valt. Hierdoor is het mogelijk dat mosselpatches over- (wanneer plekken met schelpengruis voor mosselpatches aangezien worden) of onder- (wanneer vitale mosselpatches als schelpengruis gezien wordt) schat kunnen worden. Door de benodigde tijd voor het ontwikkelen van de "U-Net" algoritme en de beperkte tijd tussen het beschikbaar hebben van de T3 opname en oplevering van het rapport zijn geen traintdata van het T3 meetmoment gemaakt. Het hier gebruikte model is daarom minder goed toegerust om de mosselpatches van het T3-meetmoment in kaart te brengen. Als gevolg hiervan kan er een afwijking bestaan tussen de berekende- en de werkelijke bedekkingspercentages en is het de verwachting dat afwijkingen vooral voor meetmoment T3 wat groter zijn. Uit de berekende bedekkingspercentages die in dit rapport gepresenteerd zijn bleken percentages in de laatste meting (T3) hoger te zijn dan in de T0 en T2 metingen. In het veld zijn, nabij de monsterlocaties, visuele schattingen gemaakt van het met mosselen bedekte oppervlak in de directe nabijheid. Hoewel dit geen kwantitatieve meting is, zijn deze inschattingen door ervaren onderzoekers gedaan. Anders dan in de berekende bedekkingspercentage gezien werd, blijkt uit deze inschattingen geen toename in het bedekkingspercentage voor T3. De voorlopige conclusie is hierbij dan ook dat de berekende bedekkingspercentages voor het T3-meetmoment een overschatting betreft en er zich in de werkelijkheid geen toename in het met mosselen bedekte oppervlakte heeft voorgedaan. De meetmomenten waar wel traintdata van gemaakt is (T0, T1 en T2) worden wel betrouwbaar ingeschat. Het blijkt dus voorlopig nog nodig te zijn om traintdata te maken van elke nieuwe situatie (meting). Bij toename van het aantal traintdata worden steeds meer situaties getraind in het model en is het wellicht niet meer nodig om voor elke nieuwe situatie nieuwe traintdata te maken. Het in kaart brengen van de mosselpatches op een wijze waarbij ook steeds traintdata gemaakt is bleek erg geschikt te zijn om zowel de directe- als de wat langere termijn schade aan individuele mosselpatches in kaart te brengen. Hierbij is de schade die hiermee aangetoond is ook in het veld geobserveerd.

Uit het hier uitgevoerde onderzoek blijkt dat na het aanleggen van de kabels het bankareaal in 2022 (flink) afgenomen is. Voornamelijk bankdelen die in 2019 nieuw ontstaan zijn door mosselzaadval, zijn hierbij in 2022 niet teruggevonden. Veel jonge bank(en)(delen) verdwijnen in de jaren opvolgend na hun ontstaan, waardoor dit een normaal verschijnsel is voor droogvallende mosselbank (Meer et al., 2018, Glorius et al, 2021, Folmer et al., 2014). De mate van afname die voor 2022 gevonden is, is sinds de metingen begonnen, niet eerder op deze bank geobserveerd. In monitoring van de mosselbanken in de Waddenzee blijkt dat geregeld grote delen van banken in opeenvolgende jaren verdwijnen. De bankdelen die verdwenen zijn bevonden zich aan de randen en ook op plekken ver weg van de kabelstroken. Hoewel niet uit te sluiten valt dat het aanleggen van de kabels bijgedragen heeft aan het verdwijnen van deze jonge mosselpatches, lijkt dat op basis van de hier gepresenteerde resultaten onwaarschijnlijk.

Uit het hier uitgevoerde onderzoek is gebleken dat het effect van het aanleggen van de kabels op de mosselen en mosselpatches zeer lokaal en kortdurend is. Uitsluitend de mosselpatches waarover de slede met de ploeg getrokken is om de kabel aan te leggen hebben zichtbare schade opgelopen. Op de korte termijn leidt dit tot een afname van het aantal mosselen en een lagere overleving van jong mosselbroed en/of lagere zaadval op deze beschadigde mosselpatches. Op de wat langere termijn (maanden tot een jaar erna) leidt dit tot het verdwijnen van een groot deel van deze beschadigde mosselpatches. Er is geen zichtbare schade opgetreden van groter mosselpatches die zich naast of wat verder van de aanlegstrook liggen. Wel zijn in deze gebieden direct naast de werkstroken wat minder kleinere mosselpatches aangetroffen. Mogelijk dat dit verband houdt met de aanlegwerkzaamheden.

De afname in het met mosselen bedekt oppervlak is, voor de gehele bank bekeken, erg klein te noemen en wordt maximaal ingeschat op een vijfde van een procent.

Door het verdwijnen van een groot deel van de mosselpatches in de 7,5 meter brede werkstroken konden deze vanzelfsprekend ook niet bemonsterd worden tijdens de T3 meting. Als gevolg hiervan zijn voor de T3 metingen vooral monsters genomen op niet beschadigde mosselpatches die buiten de werkstroken lagen, maar zich wel in de transecten 1.2 en 2.2 bevonden. Dit in combinatie met een lokaal effect van het aanleggen van de kabels, heeft ertoe geleid dat er alleen korte termijn effecten gevonden zijn in de mosselpopulatie. Ook verklaart dit waarom het aantal kleine mosselen in de monsters genomen tijdens de T3 meting in de kabeltransecten weer toenam tussen de T2 en T3 meting. De tijdens T2 bemonsterde beschadigde mosselpatches waren immers verdwenen tijdens de T3 meting toen niet beschadigde mosselpatches bemonsterd zijn. Een afname in mossel aantal en - biomassa is op alle transecten aangetroffen tussen mei 2021 en mei 2022, dus ook op de referentielokatie. Het is daarom vooralsnog niet de verwachting dat dit het gevolg is van de aanlegwerkzaamheden maar dat deze afname door natuurlijke factoren veroorzaakt is.

Enkele potentiële effecten die op hadden kunnen treden zijn in dit onderzoek niet aangetroffen. Zo heeft de lokaal aangebrachte schade in de werkstroken zich na verloop van tijd (een jaar) niet uitgebreid naar andere bankdelen. Ook heeft er zich geen nieuwe afwateringsgeul gevormd als gevolg van de werkzaamheden en zijn er als gevolg daarvan ook verder geen mosselen weggespoeld. Op UAV-kaarten en tijdens de veldmetingen is geen zichtbare schade geobserveerd aan de overige bankdelen naast beide werkstroken. Sediment depositie (als gevolg van sedimentomwoelingen veroorzaakt door scheepsbewegingen en het trekken van de slede met de ploeg) is in dit onderzoek niet expliciet gemeten maar is tijdens het nemen van de veldmonsters niet geobserveerd. Omdat het gemeten effect van het aanleggen van beide kabels zich beperkt heeft tot het verdwijnen van een deel van de mosselpatches, en andere schade aan de bank uitgebleven is, is het de verwachting dat de schade hiermee beperkt blijft en de bank zich na verloop van tijd op natuurlijke wijze geheel zal kunnen herstellen.

In dit onderzoek is de nadruk gelegd op de oudere bankdelen bestaande uit meerjarige mosselen en Japanse oesters. De afweging om de focus van de bemonsteringsinspanning op de oudere bankdelen te leggen en niet op de delen die in 2019 nieuw ontstaan zijn, staat beschreven in Glorius et al, (2021). In het kort komt het erop neer dat oudere banken die hun eerste kwetsbare jaren goed doorgekomen zijn, als waardevoller gezien worden. Mochten deze immers dermate beschadigd raken of verdwijnen als gevolg van het aanleggen van de kabels, dan heb je ze niet zomaar terug. Het gevolg van deze afweging is wel dat met dit onderzoek minder duidelijk is geworden wat effecten kunnen zijn op jongere bank(en)(delen).

De resultaten die in dit rapport gepresenteerd zijn hebben hiernaast uitsluitend betrekking op deze specifiek bank, en niet op droogvallende mosselbanken in het algemeen. Er is niet eerder onderzoek uitgevoerd naar effecten van het aanleggen van een stroomkabel(s) door droogvallende mosselbank(en) waardoor de hier verkregen resultaten niet vergeleken kunnen worden met andere situaties. De hier gevonden effecten hoeven zich daarom niet per definitie op eenzelfde wijze te profileren op mosselbanken met een andere schelpdiersamenstellen, ouderdom en ligging. Andersom, effecten die niet gevonden zijn kunnen in andere situaties mogelijk wel optreden. Ook kunnen effecten anders zijn bij andere uitvoeringswijzen om de kabel(s) aan te leggen.

6 Kwaliteitsborging

Wageningen Marine Research beschikt over een ISO 9001:2015 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV.

Literatuur

- Dankers, N. & F. Fey-Hofstede (2015). Een zee van Mosselen. Handboek ecologie, bescherming, beleid en beheer van mosselbanken in de Waddenzee. Lisse, pp. 108.
- Folmer, E.O., J. Drent, K. Troost, H. Büttger, N. Dankers, J. Jansen, M. van Stralen, G. Millat, M. Herlyn, C.J.M. Philippart (2014). Large-Scale Spatial Dynamics of Intertidal Mussel (*Mytilus edulis* L.) Bed Coverage in the German and Dutch Wadden. *Ecosystems* (17), 550-566.
- Glorius, S.T., A. Meijboom (2021). Ontwikkeling van enkele droogvallende mosselbanken in de Nederlandse Waddenzee – Periode 1995 – 2020. WOt-technical report 212, pp 75.
- Glorius, S.T., A. Meijboom en D. van den Ende (2021B). Aanleggen van een kabel door een droogvallende mosselbank – Methode om de impact te reduceren en effecten te monitoren. WMR rapport C032/21, pp 44.
- Green, R. H. (1979). Sampling design and statistical methods for environmental biologists. New York John Wiley & Sons.
- Kleijberg R. (2020). Passende beoordeling en toets beschermde soorten. Kabelverbinding Holwerd-Ameland CONCEPT. Liander, D10017111:10, 21 okt. 2020, pp 115.
- Meer van der, J., N. Dankers, B. Ens, M. van Stralen, K. Troost & A. Waser (2018). The Birth, Growth and Death of Intertidal Soft-Sediment Bivalve Beds: No Need for Large-Scale Restoration Programs in the Dutch Wadden Sea, *Ecosystems* (22), 1024-1034.
- Mildenberger TK, Taylor MH, Wolff M (2017). TropFishR: an R package for fisheries analysis with length-frequency data. *Methods in Ecology and Evolution* (11), 1520-1527.
- Pebesma, E., (2018). Simple Features for R: Standardized Support for Spatial Vector Data. *The R Journal* 10 (1), 439-446, <https://doi.org/10.32614/RJ-2018-009>.
- R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Robert J. Hijmans (2022). terra: Spatial Data Analysis. R package version 1.5-18. <https://rspatial.org/terra/>.
- Ronneberger, O., Fischer, P., Brox, T. (2015). U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. In: Navab, N., Hornegger, J., Wells, W., Frangi, A. (eds) *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015*. MICCAI 2015. Lecture Notes in Computer Science(), vol 9351. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24574-4_28.
- Stralen, M.R. van, K. Troost & C. van Zweeden (2012). Ontwikkeling van banken Japanse oesters (*Crassostrea gigas*) op droogvallende platen in de Waddenzee. *MarinX rapport* 2012.101.
- Troost, K., J. Drent, E. Folmer, M. van Stralen (2012). Ontwikkeling van schelpdierbestanden op de droogvallende platen van de Waddenzee. *De Levende Natuur* - mei 2012, 83-88.
- Troost, K., M van Asch, E. Brummelhuis, D. van den Ende, Y. van Es, K.J. Perdon, J. van der Pool, C. van Zweeden, J. van Zwol (2021) Schelpdierbestanden in de Nederlandse kustzone, Waddenzee en zoute deltawateren in 2020. CVO rapport: 21.001.

Troost, K., M. Ash van, E. Brummelhuis, D. Ende van den, J. Perdon, C. Zweeden van, J. Zwol van, J. Pool van (2019). Handboek bestandopnames schelpdieren WOT Versie 3, december 2019. CVO rapport 18.013, pp. 114.

Underwood, A. J. (1992). Beyond BACI: the detection of environmental impacts on populations in the real, but variable, world. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 161: 145-178.

Underwood, A. J. (1993). The mechanics of spatially replicated sampling programmes to detect environmental impacts in a variable world. *Australian Journal of Ecology* 18: 99-116.

Underwood, A. J. (1994). On beyond BACI: sampling designs that might reliably detect environmental disturbances. *Ecological Applications* 4: 3-15.

Waal, M. van der (2021). Kabel installatie Plan Wadkabelverbinding Holwerd Ameland. CSP20001.WP-U.02, pp 24.

Westinga, E., K. Troost, L.B. Nasimiyu, P.E. Budde en A. Vrieling (2020) Rapid cloud-based temporal compositing of Sentinel-1 radar imagery for epibenthic shellfish inventory. Geaccepteerd voor publicatie in *Estuarine, Coastal and Shelf Science*.

Zweeden van, C., K. Troost, D. van den Ende en M.R. van Stralen (2011) Het areaal aan mosselbanken op de droogvallende platen in de waddenzee in het voorjaar van 2011. IMARES rapport C097/12.

Verantwoording

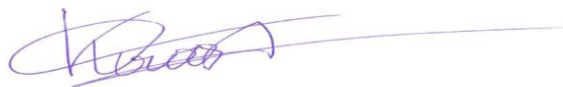
Rapport C086/22

Projectnummer: 4315100169

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: Karin Troost
Onderzoeker

Handtekening:



Datum: 14 december 2022

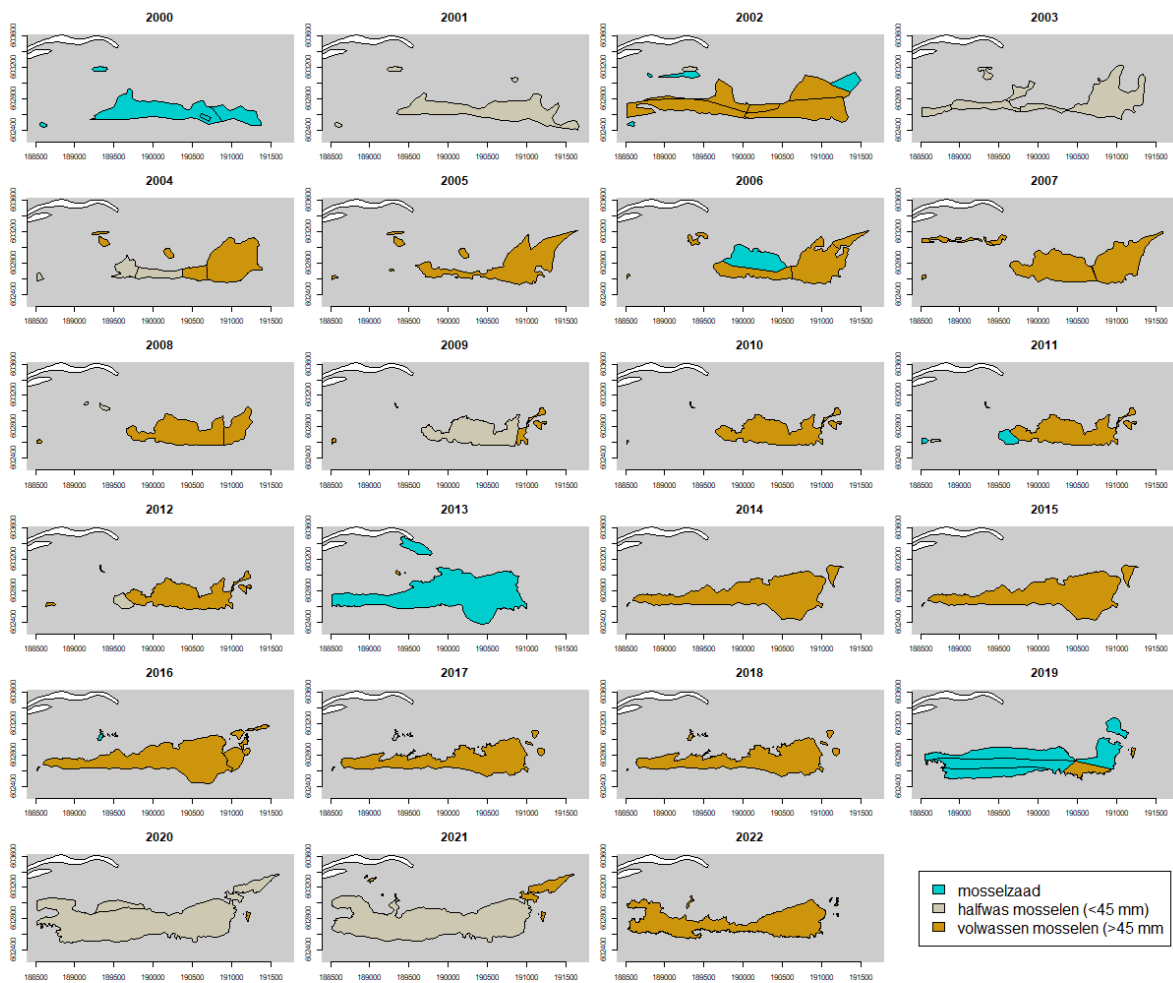
Akkoord: Drs. Ir. T.P. Bult
Director

Handtekening:



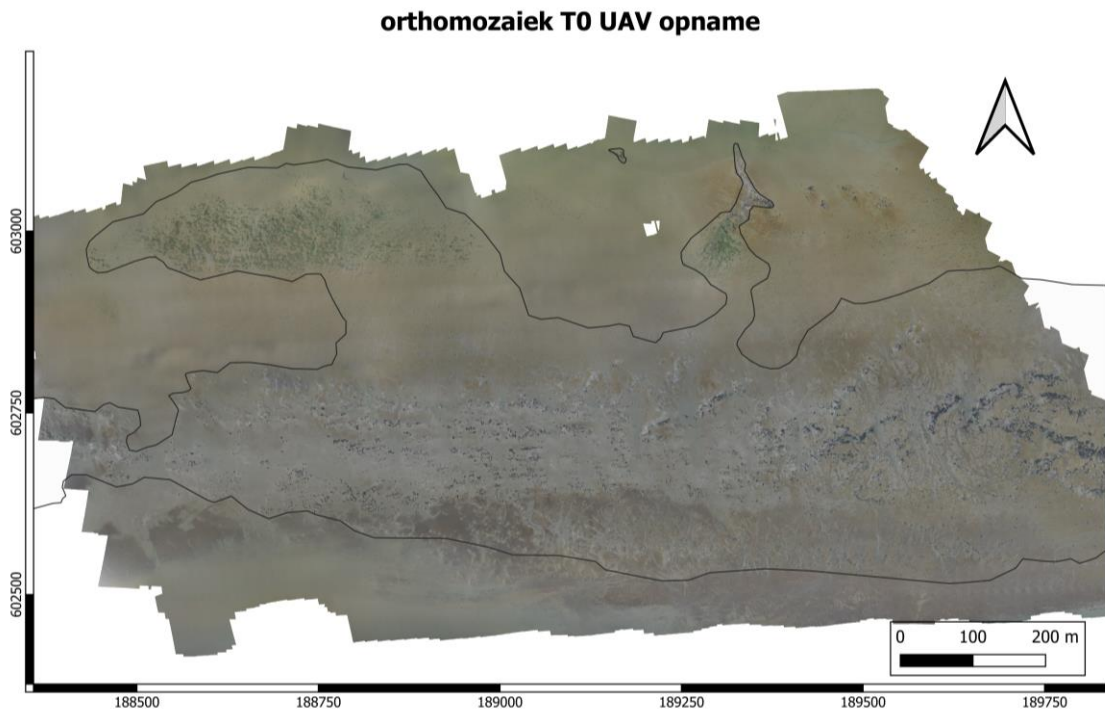
Datum: 14 december 2022

Bijlage 1 Bankcontour (2000 - 2022)

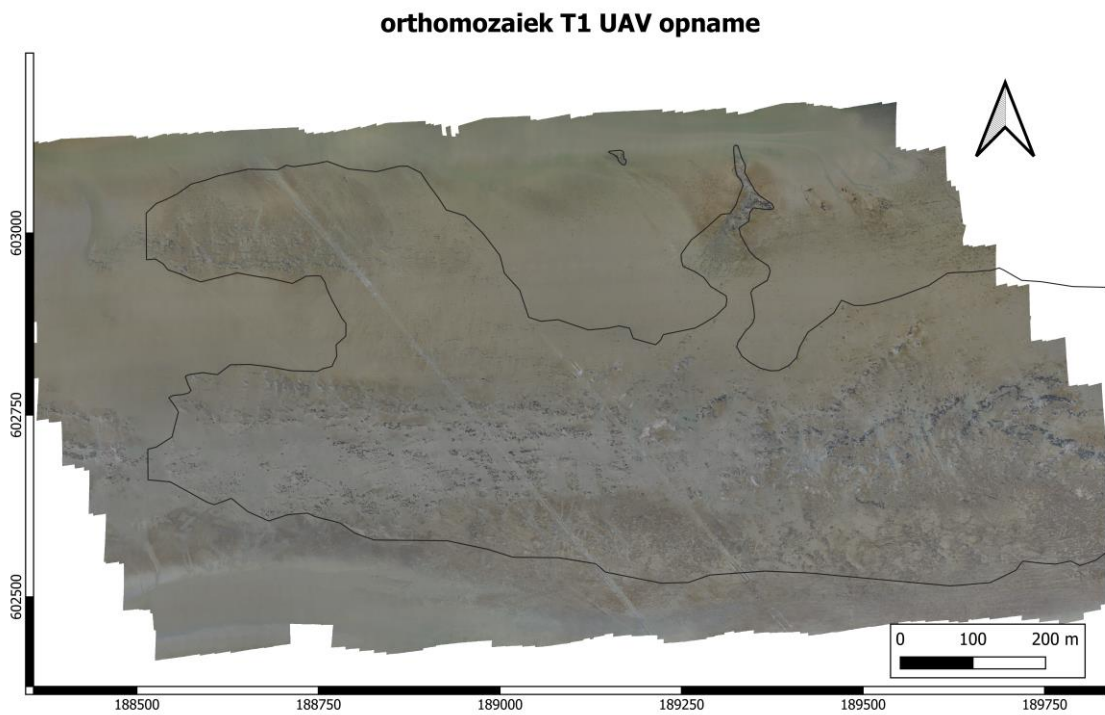


Figuur 19. Bankcontouren van de mosselbank voor de jaren 2000 tot en met 2022.

Bijlage 2 Orthokaarten

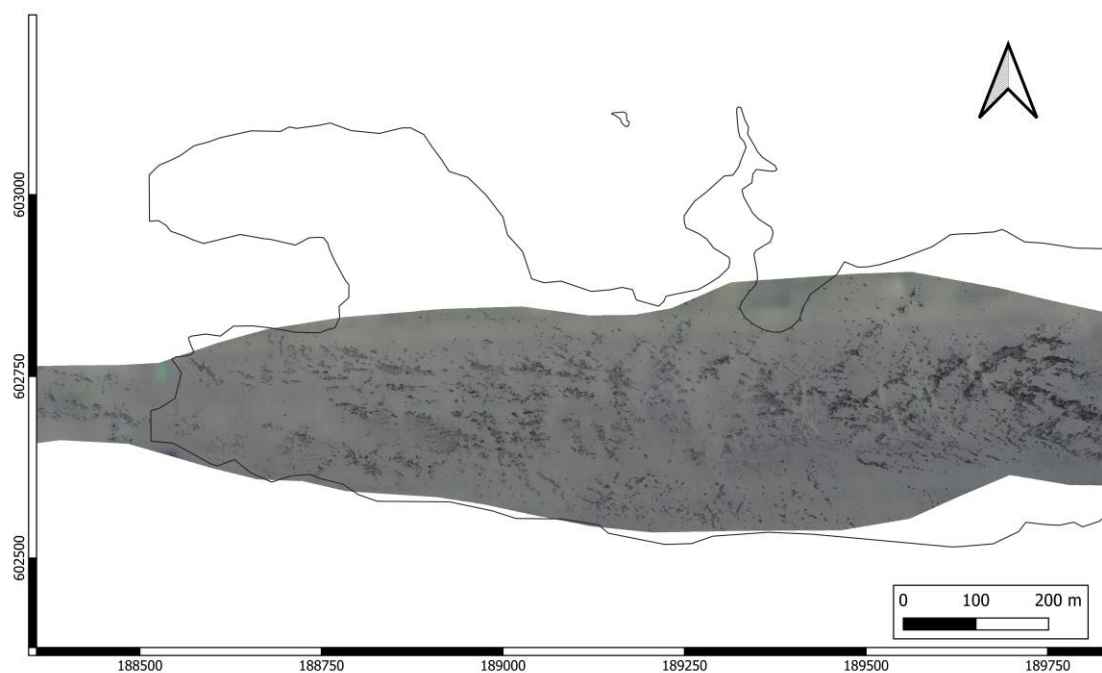


Figuur 20. Orthokaart verkregen uit de UAV opnames van de T0-meting (mei 2021)



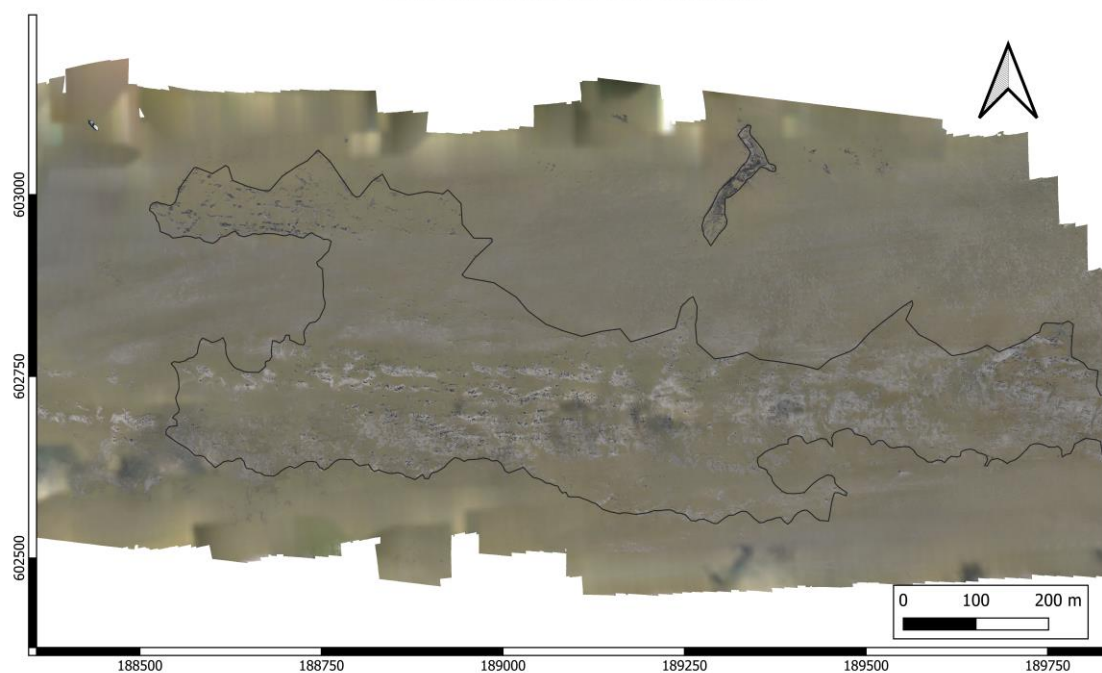
Figuur 21. Orthokaart verkregen uit de UAV opnames van de T1-meting (juni 2021)

orthomozaiek T2 UAV opname



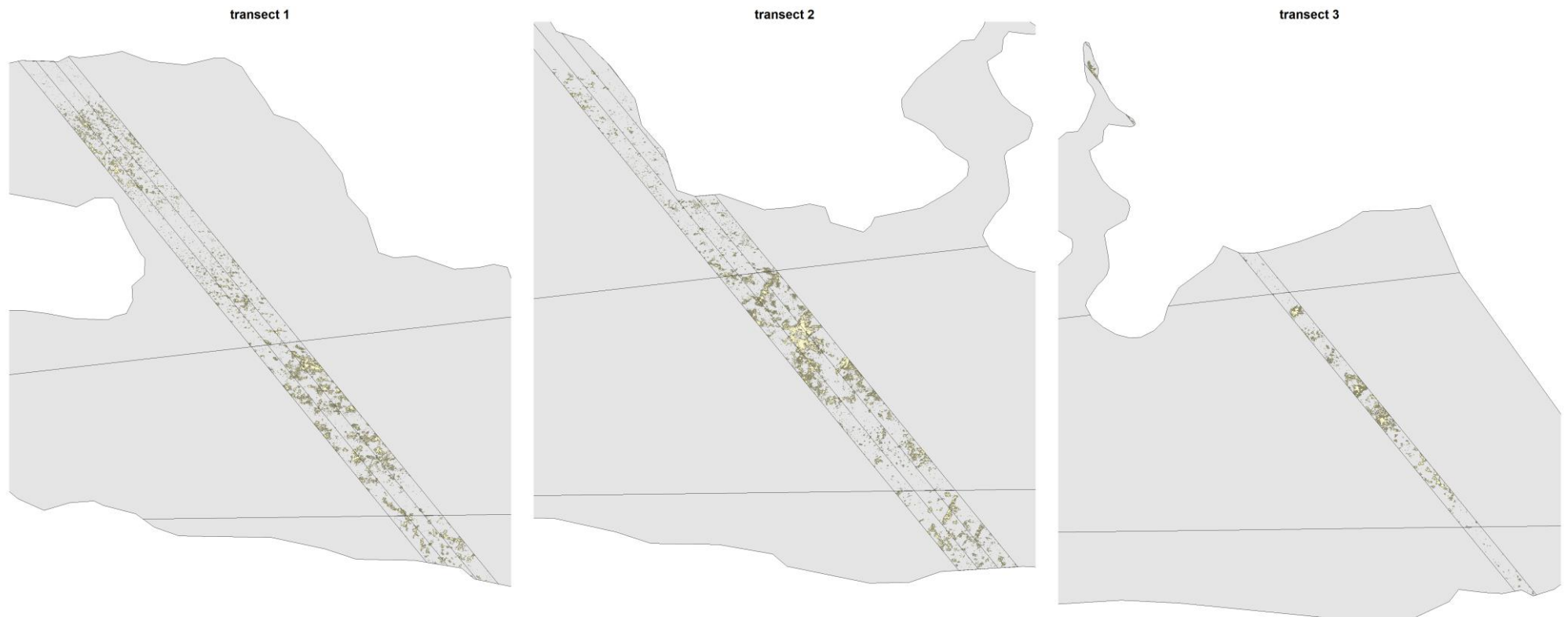
Figuur 22. Orthokaart verkregen uit de UAV opnames van de T2-meting (december 2021)

orthomozaiek T3 UAV opname



Figuur 23. Orthokaart verkregen uit de UAV opnames van de T3-meting.

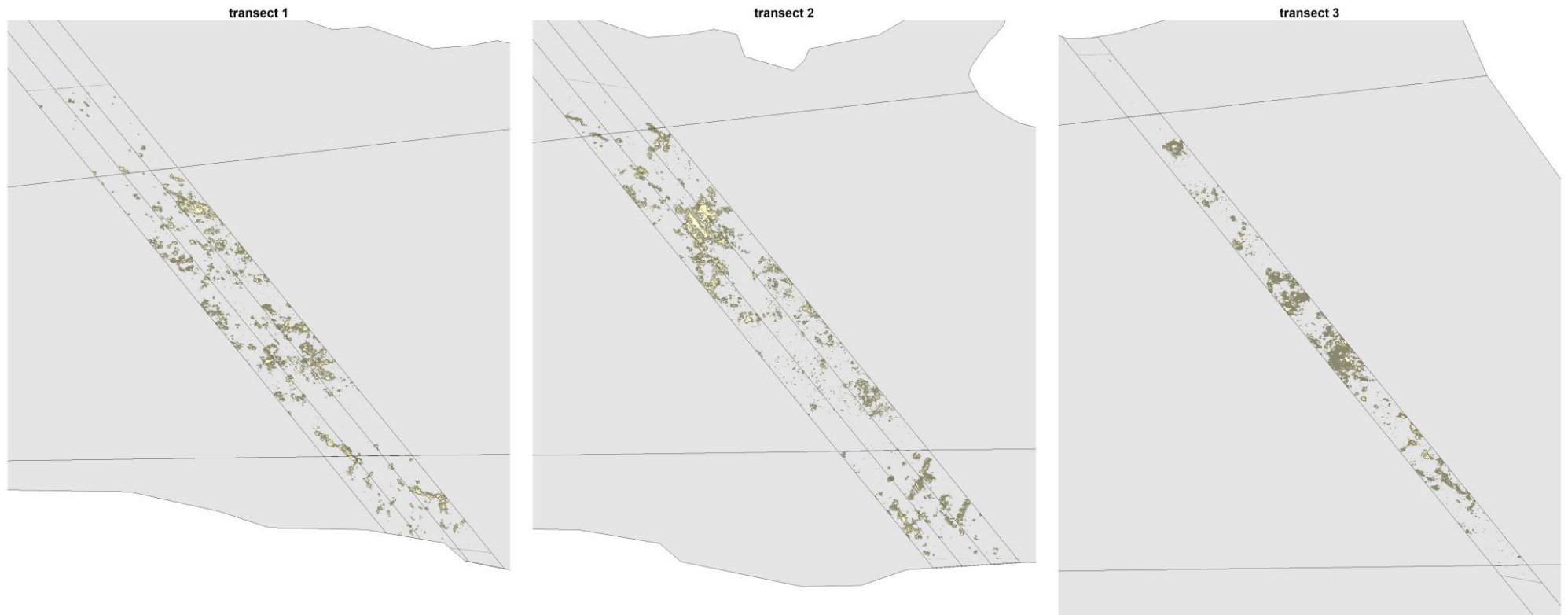
Bijlage 3 Mosselpatches op transecten



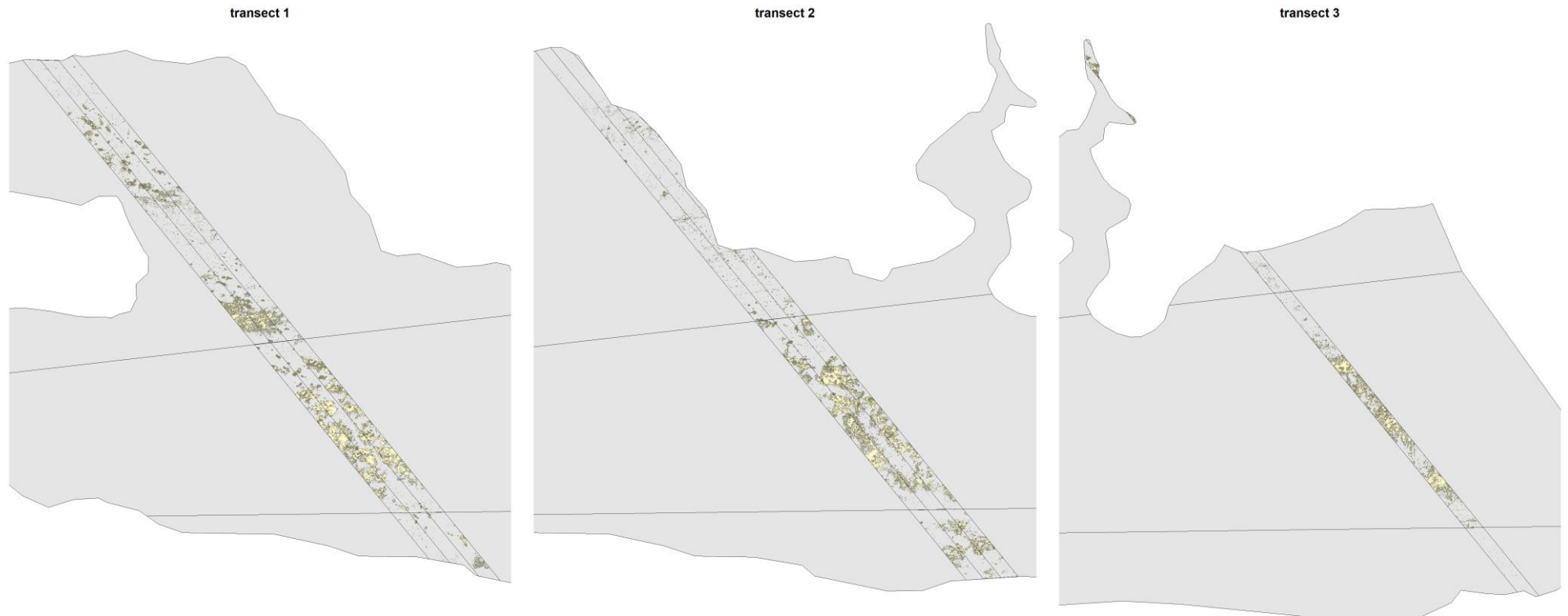
Figuur 24. Mosselpatches en gaten op tijdstip T0 (juni 2021) voor de transecten 1.1, 1.2 en 1.3 (links), de transecten 2.1, 2.2 en 2.3 (midden) en het transect 3 (rechts).



Figuur 25. Mosselpatches en gaten op tijdstip T1 (september 2021) voor de transecten 1.1, 1.2 en 1.3 (links), de transecten 2.1, 2.2 en 2.3 (midden) en het transect 3 (rechts).



Figuur 26. Mosselpatches en gaten op tijdstip T2 (december 2021) voor de transecten 1.1, 1.2 en 1.3 (links), de transecten 2.1, 2.2 en 2.3 (midden) en het transect 3 (rechts).



Figuur 27. Mosselpatches en gaten op tijdstip T3 (juni 2022) voor de transecten 1.1, 1.2 en 1.3 (links), de transecten 2.1, 2.2 en 2.3 (midden) en het transect 3 (rechts).

Bijlage 4 Modeluitkomsten

In deze bijlage zijn de uitkomsten van de statistische modellen weergegeven waarbij gekeken is naar lange- en korte termijn veranderingen en voor zowel een vergelijking van de kabel- als de randstroken met de referentiestrook.

Table 4. Modeluitkomsten voor het statistisch model waarmee de korte termijn (T0 vs T2 meting) veranderingen in mosseldichtheden en biomassa's van monsters genomen in transect 3 (de referentie) vergeleken zijn met de monsters genomen in de transecten 1.2 en 2.2 (de kabelstroken).

parameter	variabelen	estimate	error	tvalue	p	sign
Mosseldichtheid	intersect	1187.5	102.8	11.55	0.000	***
	T2	-308.8	147.8	-2.09	0.043	.
	referentie	290.0	178.1	1.63	0.111	
	T2-referentie	728.8	253.3	2.88	0.006	*
mosseldichtheid (0-2cm)	intersect	45.3	42.8	1.06	0.295	
	T2	89.3	60.5	1.48	0.147	
	referentie	54.7	72.5	0.75	0.455	
	T2-referentie	380.7	102.6	3.71	0.001	**
mosseldichtheid (2-4cm)	intersect	665.0	75.0	8.87	0.000	***
	T2	-335.7	107.8	-3.11	0.003	*
	referentie	157.5	129.9	1.21	0.232	
	T2-referentie	198.2	184.7	1.07	0.289	
mosseldichtheid (>4cm)	intersect	480.0	43.6	11.02	0.000	***
	T2	-65.3	62.6	-1.04	0.303	
	referentie	75.0	75.4	0.99	0.326	
	T2-referentie	152.8	107.3	1.42	0.162	
mosselbiomassa	intersect	7802.5	568.5	13.72	0.000	***
	T2	-2014.5	817.3	-2.46	0.018	.
	referentie	380.0	984.7	0.39	0.701	
	T2-referentie	2789.5	1400.3	1.99	0.053	

Tabel 5. Modeluitkomsten voor het statistisch model waarmee de lange termijn (T0 vs T3 meting) veranderingen in mosseldichtheden en biomassa's van monsters genomen in transect 3 (de referentie) vergeleken zijn met de monsters genomen in de transecten 1.2 en 2.2 (de kabelstroken).

parameter	variabelen	estimate	error	tvalue	p	sign
mosseldichtheid	intersect	1187.5	94.0	12.63	0.000	***
	T3	-261.2	133.0	-1.96	0.056	
	referentie	290.0	162.9	1.78	0.082	
	T3-referentie	-318.7	230.3	-1.38	0.173	
mosseldichtheid (0-2cm)	intersect	45.3	40.9	1.11	0.274	
	T3	242.2	56.9	4.26	0.000	**
	referentie	54.7	69.3	0.79	0.435	
	T3-referentie	-24.7	97.5	-0.25	0.801	
mosseldichtheid (2-4cm)	intersect	665.0	67.4	9.87	0.000	***
	T3	-283.7	95.3	-2.98	0.005	*
	referentie	157.5	116.8	1.35	0.184	
	T3-referentie	-178.7	165.1	-1.08	0.285	
mosseldichtheid (>4cm)	intersect	480.0	35.8	13.40	0.000	***
	T3	-222.5	50.6	-4.39	0.000	***
	referentie	75.0	62.0	1.21	0.233	
	T3-referentie	-112.5	87.7	-1.28	0.206	
mosselbiomassa	intersect	7802.5	559.0	13.96	0.000	***
	T3	-2925.0	790.6	-3.70	0.001	**
	referentie	380.0	968.3	0.39	0.697	
	T3-referentie	-1952.5	1369.4	-1.43	0.161	

Table 6. Modeluitkomsten voor het statistisch model waarmee de korte termijn (T0 vs T2 meting) veranderingen in mosseldichtheden en biomassa's van monsters genomen in transect 3 (de referentie) vergeleken zijn met die van monsters genomen in de transecten 1.1, 1.3, 2.1 en 2.3 (de randen).

parameter	variabelen	estimate	error	tvalue	p	sign
mosseldichtheid	intersect	1113.7	112.3	9.92	0.000	***
	T2	405.0	158.8	2.55	0.014	.
	referentie	363.7	194.5	1.87	0.068	
	T2-referentie	15.0	275.1	0.05	0.957	
mosseldichtheid (0-2cm)	intersect	51.2	48.5	1.06	0.296	
	T2	352.5	68.5	5.14	0.000	***
	referentie	48.7	83.9	0.58	0.564	
	T2-referentie	117.5	118.7	0.99	0.328	
mosseldichtheid (2-4cm)	intersect	651.2	75.8	8.59	0.000	***
	T2	-35.0	107.3	-0.33	0.746	
	referentie	171.2	131.4	1.30	0.199	
	T2-referentie	-102.5	185.8	-0.55	0.584	
mosseldichtheid (>4cm)	intersect	411.2	55.0	7.47	0.000	***
	T2	87.5	77.8	1.12	0.267	
	referentie	143.7	95.3	1.51	0.139	
	T2-referentie	0.0	134.8	0.00	1.000	
mosselbiomassa	intersect	6600.7	647.6	10.19	0.000	***
	T2	1045.5	915.8	1.14	0.260	
	referentie	1581.7	1121.6	1.41	0.165	
	T2-referentie	-270.5	1586.2	-0.17	0.865	

Tabel 7. Modeluitkomsten voor het statistisch model waarmee de lange termijn (T0 vs T3 meting) veranderingen in mosseldichtheden en biomassa's van monsters genomen in transect 3 (de referentie) vergeleken zijn met die van monsters genomen in de transecten 1.1, 1.3, 2.1 en 2.3 (de randen).

parameter	variabelen	estimate	error	tvalue	p	sign
mosseldichtheid	intersect	1113.7	100.1	11.12	0.000	***
	T3	-118.7	141.6	-0.84	0.406	
	referentie	363.7	173.4	2.10	0.042	.
	T3-referentie	-461.2	245.3	-1.88	0.067	
mosseldichtheid (0-2cm)	intersect	51.2	43.3	1.18	0.243	
	T3	235.0	61.2	3.84	0.000	**
	referentie	48.7	75.0	0.65	0.519	
	T3-referentie	-17.5	106.0	-0.17	0.870	
mosseldichtheid (2-4cm)	intersect	651.2	60.4	10.79	0.000	***
	T3	-210.0	85.4	-2.46	0.018	.
	referentie	171.2	104.6	1.64	0.109	
	T3-referentie	-252.5	147.9	-1.71	0.095	
mosseldichtheid (>4cm)	intersect	411.2	42.1	9.78	0.000	***
	T3	-143.7	59.5	-2.42	0.020	.
	referentie	143.7	72.9	1.97	0.055	
	T3-referentie	-191.2	103.1	-1.86	0.070	
mosselbiomassa	intersect	6600.7	554.5	11.90	0.000	***
	T3	-1529.5	784.2	-1.95	0.058	
	referentie	1581.7	960.4	1.65	0.107	
	T3-referentie	-3348.0	1358.2	-2.46	0.018	.

Wageningen Marine Research
T: +31 (0)317 48 70 00
E: marine-research@wur.nl
www.wur.nl/marine-research

Wageningen Marine Research levert met kennis, onafhankelijk wetenschappelijk onderzoek en advies een wezenlijke bijdrage aan een duurzamer, zorgvuldiger beheer, gebruik en bescherming van de natuurlijke rijkdommen in zee-, kust- en zoetwatergebieden.

Bezoekers adres:

- Ankerpark 27 1781 AG Den Helder
- Korringaweg 7, 4401 NT Yerseke
- Haringkade 1, 1976 CP IJmuiden



Wageningen Marine Research is onderdeel van Wageningen University & Research. Wageningen University & Research is het samenwerkingsverband tussen Wageningen University en Stichting Wageningen Research en heeft als **missie**: 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'
