



Mosselhangcultuurpilot in de Voordelta

Eindrapportage

Auteur(s) Jacob J. Capelle, Wouter Suykerbuyk, Luca Martins¹, Eva Hartog¹

¹HZ University of Applied Sciences, Vlissingen

Wageningen Marine Research

Rapport: C062/25

Mosselhangcultuurpilot in de Voordelta

Eindrapportage

Auteur(s): Jacob J. Capelle, Wouter Suykerbuyk, Luca Martins¹, Eva Hartog¹

¹ HZ University of Applied Sciences, Vlissingen

Wageningen Marine Research
Yerseke, oktober 2025

Wageningen Marine Research rapport C062/25



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH



UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES

Keywords: offshore, Exposed nearshore, Longline, Seed capture, Dynamics, Feasibility

Uitgevoerd onder de Subsidieregeling Duurzame Visserij en Aquacultuur: SDVA-21-01871673,
in samenwerking met Producentenorganisatie Nederlandse Mosselcultuur.

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/701498> Wageningen Marine Research
verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

Wageningen Marine Research is ISO 9001:2015 gecertificeerd.

Foto omslag: Eva Hartog

© 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 8065.11.618.B01.
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.

Inhoud

Samenvatting	5
1 Inleiding	7
1.1 Uitleg werkwijze mosselhangcultuur en MZI	7
1.2 Opzet Pilot	8
2 Methoden	10
2.1 Werkpakket 1: Systemen	10
2.1.1 ROV (Remotely Operated underwater Vehicle):	10
2.1.2 Acceleratie sensoren (MSR145):	10
2.1.3 ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler):	11
2.1.4 JFE- Chlorofyl/Turbiditeitsmeter:	11
2.1.5 Load cells	11
2.2 Werkpakket 2: Mosselen	13
2.2.1 Gestandaardiseerde groeimetingen:	13
2.2.2 Groeimetingen aan de systemen:	13
2.2.3 <i>Laboratoriumexperimenten:</i>	14
2.3 Werkpakket 3: Ecosysteem effecten	17
2.3.1 Vogeltellingen	17
2.3.2 Vissen	17
3 Resultaten	18
3.1 Werkpakket 1 – Systemen	18
3.1.1 ROV (Remotely Operated underwater Vehicle):	19
3.1.2 Acceleratie sensoren (MSR145):	19
3.1.3 ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler):	25
3.1.4 JFE- Chlorofyl/Turbiditeitsmeter:	31
3.1.5 Load-Cells:	33
3.2 Werkpakket 2 – Mosselen	36
3.2.1 Gestandaardiseerde groeimetingen	36
3.2.2 Groeimetingen aan de systemen:	37
3.2.3 <i>Laboratoriumexperimenten:</i>	49
3.3 Werkpakket 3 – Ecosysteem effecten	52
3.3.1 Vogeltellingen	52
3.3.2 Vissen:	54
4 Discussie	56
4.1 Locaties	56
4.2 Krachten op de systemen	57
4.3 Mosselgroei en overleving	57
4.4 Onderhoud systemen	58
5 Conclusies en aandachtspunten voor vervolg	60

5.1	Conclusies	60
5.2	Aanbevelingen	60
6	Kwaliteitsborging	62
	Literatuur	63
	Verantwoording	64
Bijlage 1	Plaatsing sensoren	65
Bijlage 2	Rapportage Marin	66
Bijlage 3	Locaties mosselgroeimetingen Waddenzee en Oosterschelde en Voordelta	70

Samenvatting

Mosselproductie in Nederlandse wateren vindt hoofdzakelijk plaats in Waddenzee en Oosterschelde. In deze wateren is er weinig ruimte voor uitbreiding van de productie. Daarom is in de periode 2022–2024 een praktijkproef uitgevoerd 2 kilometer uit de kust bij de Roompot in de Voordelta. Deze proef was gericht op het verkennen van de mogelijkheden voor mosselkweek op open zee. Het doel van deze praktijkproef was om inzicht te krijgen in de technische vereisten en biologische haalbaarheid van hangcultuursystemen onder dynamische nearshore-omstandigheden ter voorbereiding op mogelijke opschaling. Tijdens de pilot zijn twee hangcultuursystemen getest: een drijvende dubbele longline (LL) en een ondergedoken longline (OLL), beide voorzien van verschillende typen touw en sokmateriaal (sokken worden gebruikt om halfwas mosselen en mosselzaad te fixeren). Daarnaast zijn vier verschillende strategieën van opkweek onderzocht; het gebruik van bodem- en hangcultuurzaad, het opvetten van halfwasmosselen en het lokaal invangen van mosselzaad.

De systemen waren uitgerust met sensoren (o.a. acceleratiemeters, load cells) om de beweging en belasting continu te monitoren. De omgevingsfactoren zijn gemeten m.b.v. chlorofyl- en turbiditeitsmeters. Ook is gewerkt met ROV-opnames (Remotely Operated Vehicle) en zijn laboratoriumexperimenten uitgevoerd naar effecten van stroming op voedselopname en naar krabbenpredatie van het ingevangen mosselzaad. De omstandigheden op de pilotlocatie bleken zeer dynamisch. Metingen met een stromingsmeter toonden stroomsnelheden tot 2,5 m/s en golfhoogten tot 2,8 meter.

Bevindingen:

Technische prestaties: Beide systemen (boeien, ankers en hoofdlijnen) hielden stand onder hoog dynamische omstandigheden. Bewegingssensoren toonden aan dat de ondergedoken longline minder direct reageerde op de hydrodynamische omstandigheden dan het drijvende systeem. Krachtmetingen toonden aan dat de verankering van de systemen tijdens de pilot ruim voldoende veiligheidsmarge hadden, ook tijdens stormen (1-jaarlijkse).

Zaadhechting en groei: Bodemzaad en bodemhalfwasmosselen uit de Oosterschelde hechtte zich slecht aan het substraat wat resulteerde in veel verlies van mosselen aan de lijnen. Mosselzaad uit een hangcultuursysteem in de Grevelingen hechtte zich beter, maar ook hier was het succes beperkt. De beste resultaten werden behaald met lokaal ingevangen zaad: dit leidde tot significant betere hechting en groei, vooral op de ondergedoken longlijn. Er waren duidelijke verschillen in invang efficiëntie tussen touwtypes. Dit lijkt vooral te maken te hebben met de oppervlakte van het substraat. Langer en meer uitgesplitst substraat leidde tot meer broedval.

Ecologische interacties: De structuren werden gebruikt door vogels als rustplaats, waaronder grote sterns en meeuwen. Hoewel onderwaterbeelden door troebelheid beperkt bruikbaar waren, werden bij het oogsten een aantal vissoorten tussen de mosselen aangetroffen, wat duidt op een zekere ecologische integratie.

Operationele knelpunten: Vanwege stormachtig weer en beperkte beschikbaarheid van schepen gingen lijnen en sensoren verloren, en bleef belangrijke data (zoals chlorofyl en temperatuur) over bepaalde tijdintervallen van de meetperiode uit. Toch konden seizoenfluctuaties in voedselbeschikbaarheid (chlorofyl-a) worden vastgesteld en werden op de Voordelta tijdens piekmomenten tot 30% hogere chlorofyl concentraties gemeten dan op de Oosterschelde.

Aanvullende experimenten: Proeven lieten zien dat mosselen hun schelpen nauwelijks sluiten bij toenemende stroming tot 0,53 m/s. Predatie-experimenten met krabben toonden enige voorkeur voor kleinere mosselen, maar over het algemeen waren de verschillen tussen mosseeltypes beperkt.

Belangrijkste conclusies:

De boeien en hoofdlijnen bleven intact onder dynamische nearshore-condities, maar substraat en bevestigingsmaterialen zijn gevoelig voor slijtage en de slijtagedruk was erg hoog.

Het ondergedoken systeem presteerde beter dan het drijvende systeem, er was daar minder schade, minder verlies van mosselen en een hogere mosselgroei.

Het *type uitgangsmateriaal* had een groot effect op de prestaties (groei en overleving) van de mosselen. Van minst naar meest succesvol geldt: halfwassmosselen van bodemperceel > mosselzaad van bodemperceel > mosselzaad van hangcultuursysteem Grevelingen > lokaal ingevangen zaad.

Mosselen groeiden vooral goed op de delen van het systeem die het minst aan beweging onderhevig waren. De *dynamiek op de proeflocatie was waarschijnlijk te hoog* om succesvol mosselen op te kunnen kweken op vrij in het water bewegend kweeksubstraat, in ieder geval zoals dat in deze pilot is toegepast. *Mosselzaadinvang* lijkt wel goed te gaan, maar dan moet er wel op tijd geoogst worden.

Aanbevelingen:

Vereenvoudig en standaardiseer het vergunningentraject. Het stroomlijnen van het aanvraagproces met de stakeholders dient ruim van tevoren te gebeuren. Bestuurlijk draagvlak bij alle stakeholders voor ruimte om mosselen te kweken op zee kan het proces aanzienlijk versnellen.

Gebruik gemeten krachten en omgevingscondities van deze en andere pilots bij het ontwerpen van kostenefficiënte systemen, afgestemd op realistische weersomstandigheden.

Lokaal ingevangen mosselzaad lijkt voor verdere opkweek beter te presteren dan zaad van elders.

De potentie van de *ondergedoken longline* in combinatie met lokaal zaad vraagt om gerichte pilots met commerciële doorontwikkeling op *minder dynamische locaties*.

Het type mosselzaad dat werd ingevangen lijkt qua habitus sterk op droogvallend zaad (onder andere: stomp, dikke schelp, zwart met schuurplekken). Droogvallend zaad presteert vaak goed op bodemperecelen. Dit kan perspectief bieden voor *mosselzaadinvang* waarna dit verder opgekweekt wordt op de bestaande bodemperecelen.

Zorg voor dynamisch management van de systemen:

Installeer systemen met een minimaal aantal boeien bij aanvang, en voeg *drijfvermogen* gefaseerd toe naarmate de mosselen groeien. Dit beperkt gevoeligheid voor golfslag én voorkomt contact met de bodem. Verlies door afvallend substraat tijdens de oogst had waarschijnlijk voorkomen kunnen worden door een beter getimede oogst. *Monitoring* van substraat en mosselbezetting moet daarom onderdeel zijn van het operationele beheer.

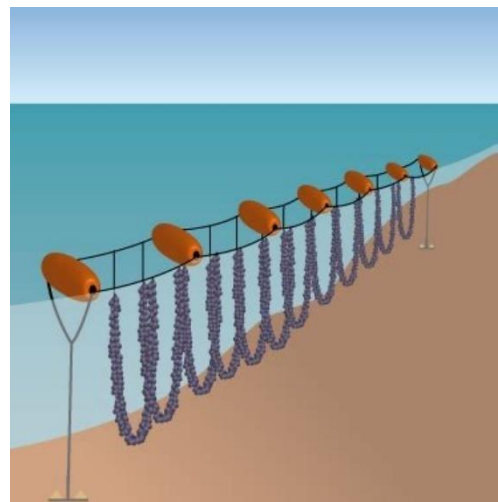
Zorg voor *betrokkenheid van ondernemers* die bereid zijn risico te nemen en verantwoordelijkheid te dragen, met als doel een commercieel succesvolle mosselkweek te realiseren.

1 Inleiding

De mosselproductie in Nederlandse wateren vindt voornamelijk plaats in de Waddenzee en de Oosterschelde. In deze gebieden is weinig ruimte voor uitbreiding van de productie. In de Noordzee is daarentegen wel ruimte, maar voor de huidige mosselsector rijst de vraag of kweek in de Noordzee in eerste instantie kansrijk is met de bestaande methodes en materialen. In het kader van afspraken vastgelegd in het Mosselconvenant is daarom afgesproken om in de periode 2022-2024 een aanvang te nemen met het onderzoeken van de mogelijkheden van de kweek van hangcultuurmosselen op open zee (in de Voordelta). **Het doel van het project is technisch onderzoek naar geschiktheid van verschillende technieken van mosselhangcultuur op open zee, ter bepaling van de meest geschikte techniek voor verdere opschaling.** Er wordt op een pilot locatie in de Voordelta (dynamische nearshore locatie, gebaseerd op Buck *et al.* 2025) op twee systemen geëxperimenteerd met verschillende manieren van opkweek en invang van mosselzaad.

1.1 Uitleg werkwijze mosselhangcultuur en MZI

Een mosselhangcultuursysteem bestaat uit drijvers met daaronder substraat wat in de waterkolom hangt. Drijvers bestaan meestal uit speciaal hiervoor ontwikkelde boeien die een dikke hoofdlijn drijvend houden. Als de hoofdlijn direct aan de boeien bevestigd is, dan is er sprake van een drijvend longline systeem. Als er aan weerszijden van de boei een hoofdlijn bevestigd is, wordt dit een dubbele longline (LL) genoemd (Figuur 1). De boeien kunnen ook met een touw aan een enkele hoofdlijn bevestigd zijn. In dat geval hangt de longline onder het wateroppervlak en spreken we van een ondergedoken longline (OLL). In ruigere zee-omstandigheden wordt vaak voor een OLL gekozen, waarbij de hoofdlijn een aantal meter onder het wateroppervlak hangt en minder last heeft van golfeffecten. Het voordeel van een LL boven een OLL is dat LL al op grote schaal in de mosselsector gebruikt wordt als MZI (mosselzaadinvanginstallatie), en hier is dus ruim ervaring mee en de schepen zijn hier ook goed voor uitgerust.



Figuur 1 Schematische tekening van een mosselhangcultuur (dubbele longline).

Aan de hoofdlijn wordt het substraat gebonden. Dit substraat wordt vastgebonden met 4 mm Polyester of 3 mm nylon touw, zogenaamde snoods. Er is substraat speciaal ontwikkeld voor het invangen van mosselzaad. In het wild voorkomende mossellarven kunnen zich daar goed op vestigen en vallen er ook niet snel vanaf. Als een systeem primair voor de invang van mosselzaad gebruikt wordt, noemen we dit een MZI. Er is ook substraat dat speciaal ontwikkeld is voor de opgroei van mosselen. In de meeste gevallen worden losse mosselen met een sokkenvuller rond het substraat verdeeld en op de plaats gehouden met een katoenen sok. Eenmaal in het water houdt de sok de mosselen op de plaats, zodat deze de tijd hebben om zich te hechten aan het substraat. Na enige tijd verteert de katoenen sok en hangen de mosselen aan het substraat in de waterkolom. Nadat de mosselen op deze manier uitgegroeid zijn tot een consumptiegeschikte maat worden de mosselen machinaal geoogst door ze van het substraat te halen.

1.2 Opzet Pilot

Op een afgebakende locatie in de Voordelta (Figuur 2) is door Rijkswaterstaat ruimte vrijgemaakt voor het opzetten van een pilot om te testen onder welke omstandigheden mosselhangcultuur op een geëxponeerde locatie (Noordzee) mogelijk is.



Figuur 2 Locatie van de mosselpilot in de Voordelta, met in oranje het vak waarbinnen de twee pilot mosselkweeksystemen geplaatst zijn.

Op de pilotlocatie worden 2 systemen getest:

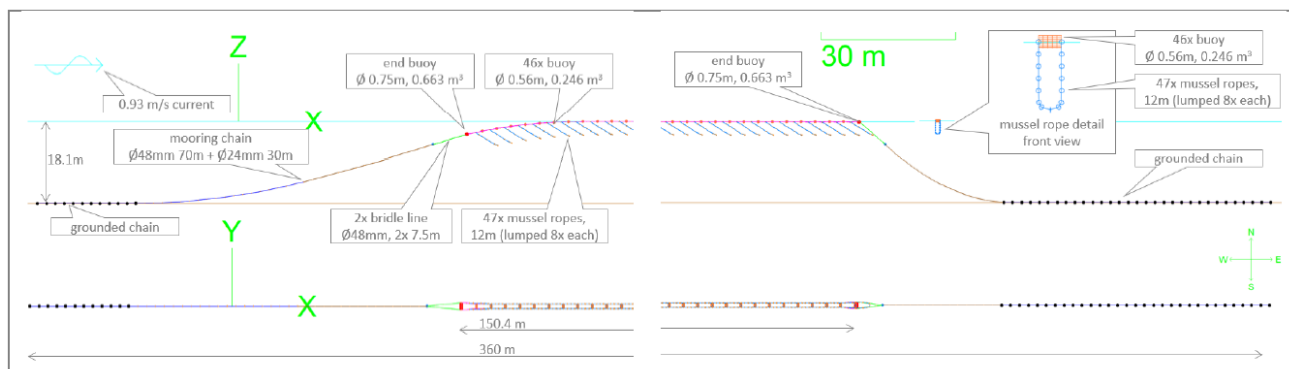
1. Dubbele longline met drijvers (LL) verankerd met een 800 kg Stevshark Rex anker: zie Figuur 3 & Figuur 5 voor inrichting en maatvoering
2. Ondergedoken longline (OLL) verankerd met een 400 kg Stevshark Rex anker: zie Figuur 4 & Figuur 5 voor inrichting en maatvoering

Op beide systemen worden een drietal scenario's getest:

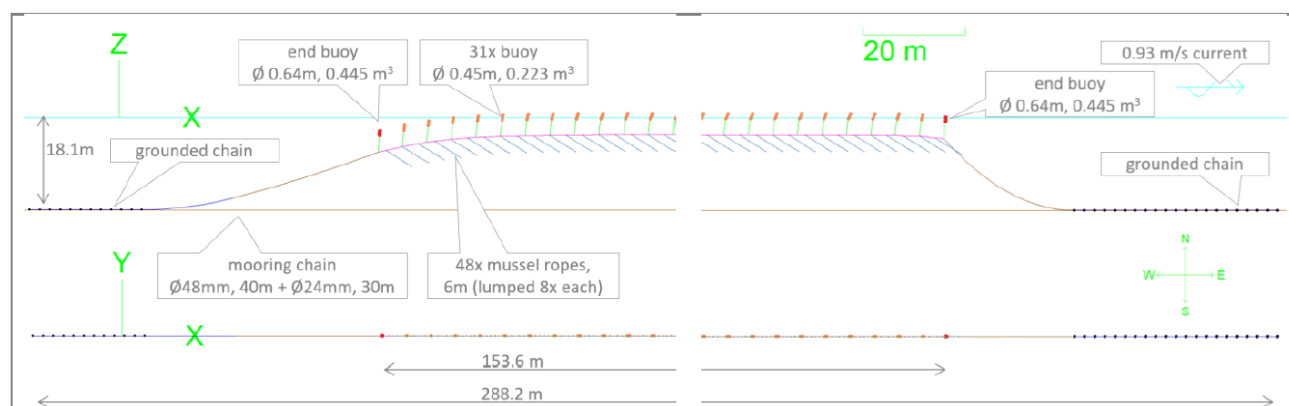
1. Opkweken van mosselzaad en halfwas mosselen die van andere productiegebieden afkomstig zijn (behandeling: HW)
2. Invangen van mosselzaad (op touwen) en dit ter plaatse opsokken voor verdere opkweek tot consumptiemossel (behandeling: zaad opsokken)
3. Invangen van mosselzaad en deze zonder verder ingrijpen uit laten groeien tot consumptiemaat (behandeling: laten hangen)

Daarnaast zijn er een aantal geneste behandelingen uitgevoerd binnen de hierboven geschetste scenario's

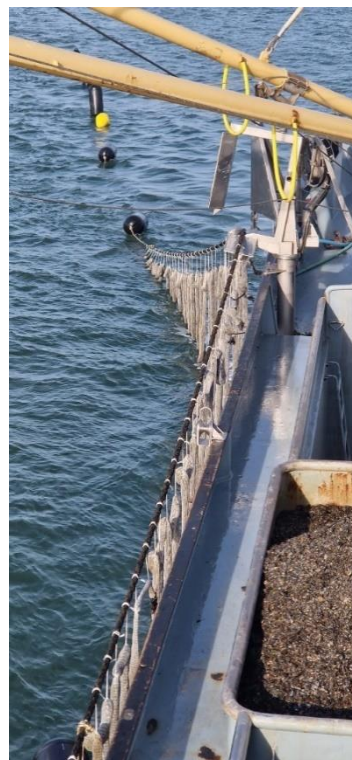
1. Touwsubstraat aanbrengen als losse lijnen (droppers) vs. door geluste lijnen in een geheel (continuous loops)
2. Verschillende types gangbaar MZI-invangtouw: Donaghys-touw, Cut Looped-touw, Short Cut looped-touw, Spaans Looped-touw, Spaans-touw en Pegs.
3. Twee types opsokmateriaal: niet biologisch afbreekbaar vs. afbreekbaar



Figuur 3 Schematisch overzicht (MarIdea, 2022) van de Dubbele Longline met drijvers (LL).



Figuur 4 Schematisch overzicht (MarIdea, 2022) van de Ondergedoken longline (OLL).



Figuur 5 Linker figuur toont dubbele longline en rechter figuur de ondergedoken longline, met bovenin een zwarte boei die met 2,5 meter touw aan de hoofdlijn bevestigd is.

2 Methoden

De monitoring, het onderzoek en de coördinatie zijn ondergebracht in drie werkpakketten. Werkpakket 1, 'Systemen', zoomt in op de kweeksystemen. Werkpakket 2, 'Mosselen', behandelt de productie van mosselen op deze systemen. Werkpakket 3, 'Ecosysteemeffecten', richt zich op de effecten van de pilot op de omgeving.

2.1 Werkpakket 1: Systemen

In het eerste werkpakket wordt de technische haalbaarheid van de systemen onderzocht. Hierbij wordt gemonitord hoe geschikt de verschillende systemen zijn onder de omstandigheden op de pilotlocatie voor het invangen en opkweken van mosselen tot consumptiemaat. In de beschrijving wordt onderscheid gemaakt tussen de beoogde methode (de methode die in het projectvoorstel is opgenomen) en de uitgevoerde methode tijdens de monitoring van de pilot. Dit onderscheid is gemaakt om inzichtelijk te maken dat het monitoren op een zeer dynamische locatie in de praktijk veel lastiger bleek dan vooraf was geanticipeerd.

2.1.1 ROV (Remotely Operated underwater Vehicle):

Beoogde methode - Omdat fysieke monitoring van de mosselen onmogelijk is zonder de systemen uit het water te halen, wordt er gebruikgemaakt van een ROV. Met een ROV worden beelden gemaakt van de systemen over de gehele waterkolom (van boven tot onder). Deze beelden kunnen worden gebruikt om de staat van de systemen te analyseren, na te gaan of er schade is opgetreden en of de mosselen nog aan de systemen zitten. Van de mosselen kan de bedekking worden geschat, zodat er een maat is voor de overleving (of maat voor verlies) en groei van de mosselen op de verschillende systemen.

Uitgevoerde methode – Het oorspronkelijke plan was om eenmaal per maand videobeelden van alle systemen te maken. Maandelijks monitoring bleek planning technisch nauwelijks uitvoerbaar, omdat er vaak te hoge golven stonden op de pilotlocatie om dit veilig uit te kunnen voeren. Daarnaast bleek, door de hoge stroomsnelheden op de pilotlocatie, werken met de kleine ROV van WMR (BlueROV2, Blue Robotics) nagenoeg onmogelijk. Zelfs tijdens de kentering van het getij was de ROV moeilijk te hanteren en raakte deze vaak verstrikt in de lange mosseltouwen. Er zijn krachtigere ROVs die goed presteren onder de omstandigheden bij de pilotlocatie (Kingma *et al.*, 2025), maar deze waren niet gebudgetteerd. Bovendien was het doorzicht vaak onvoldoende, waardoor er nauwelijks scherpe beelden verkregen konden worden, waardoor een wijziging of ophoging van budget niet overwogen is.

2.1.2 Acceleratie sensoren (MSR145):

Beoogde methode - De technische vereisten van de systemen en het succes van de mosselkweek zijn in hoge mate afhankelijk van hoe het substraat met daaraan de mosselen functioneert tijdens hoog dynamische omstandigheden. Door middel van acceleratiesensoren wordt de beweging van het substraat gelogd. Een acceleratiesensor meet de verandering in locatie en registreert deze in X, Y en Z op een relatieve schaal (-1 tot 1). Hierbij staat -1 voor een maximale uitslag naar de ene zijde en +1 voor een maximale uitslag naar de andere zijde. Uit deze X-Y-Z-data wordt de resulterende vector berekend. Vervolgens wordt stapsgewijs het verschil tussen de vectoren berekend, wat een maat is voor de *mate van beweging*. In alle behandelingen die toegepast zijn, zijn acceleratiesensoren ingezet. De sensoren zijn per behandeling op 3 hoogtes (onder, midden boven) gefixeerd aan het substraat onder de mosselen. In totaal zijn op deze wijze 60 sensoren uitgehangen.

Uitgevoerde methode – Zoals beoogd. Alle sensoren zijn zo ingesteld dat ze minimaal 6 maanden zouden kunnen meten. Helaas zijn sommige sensoren zonder duidelijke reden vroegtijdig gestopt met meten, waarbij de data uit de periode dat de sensoren nog gegevens verzamelden, wel intern opgeslagen is gebleven. In totaal zijn er 34 van de 60 sensoren verloren gegaan door schade aan of verlies van de substraten waaraan deze sensoren waren bevestigd.

Daarnaast was niet van de 26 teruggevonden sensoren altijd bruikbare acceleratiedata beschikbaar i.v.m. opgelopen waterschade aan de sensoren. Dit komt naar verwachting door te veel ruige bewegingen en schuren van de touwen langs/tegen de sensoren. Na een meetperiode konden sensoren weer opgeladen en hergebruikt worden.

2.1.3 ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler):

Beoogde methode - Om relevante omgevingsomstandigheden voor mosselkweek in kaart te brengen, wordt bij verschillende weersomstandigheden (veel, gemiddelde en weinig wind) een ADCP profiler op de bodem geplaatst (locatie in bijlage 1).

Deze profiler meet het stromingsprofiel, de stromingsrichting, de stroomsnelheid en de golfhoogte. De ADCP is uitgerust met een intern geheugen en heeft een batterijcapaciteit van ongeveer één maand bij de gewenste instellingen. Zodra de weersomstandigheden en zee-condities het toelaten, werd de profiler of ingezet of uitgethaald.

Uitgevoerde methode – Zoals beoogd.

2.1.4 JFE- Chlorofyl/Turbiditeitsmeter:

Beoogde methode - Bij de pilotlocatie, (op sparboei R12, zie bijlage 1), en op een referentielocatie, (op sparboei OR7, zie bijlage 1) is een hoogwaardige sensor (JFE Infinity chlorofyl-/turbiditeitsmeter) uitgehangen om de voedselomstandigheden voor mosselen in kaart te brengen. Deze sensor registreert chlorofyl-a ($\mu\text{g/l}$), turbiditeit (FTU) en temperatuur ($^{\circ}\text{C}$) in hoge resolutie. Chlorofyl-a is een maat voor fytoplanktonbiomassa, en fytoplankton is de primaire voedselbron voor mosselen.

Elke 20 minuten worden gedurende 1 minuut 10 metingen uitgevoerd, waarvan het gemiddelde intern wordt opgeslagen. De sensor wordt gevoed door batterijen die, onder deze instellingen, ongeveer 5 maanden meegaan. Tijdens de monitoring wordt regelmatig gecontroleerd of de sensor nog actief is. Indien nodig wordt de sensor uitgelezen en/of worden de batterijen vervangen. De verzamelde data wordt vervolgens verwerkt, waarbij de dagelijkse gemiddelden worden berekend voor zowel het chlorofylgehalte als de watertemperatuur.

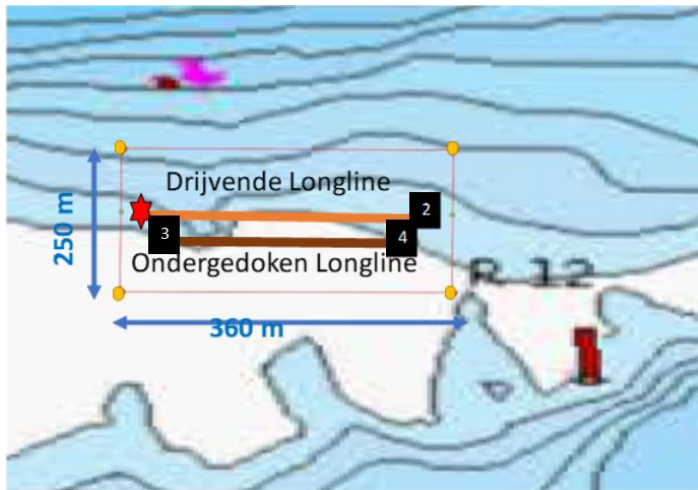
Uitgevoerde methode – Zoals beoogd.

2.1.5 Load cells

Beoogde methode - De krachten die optreden op zowel het verankeringsysteem als de hoofdlijn worden gemonitord aan beide zijden van de systemen met behulp van krachtsensoren, zoals weergegeven in Figuur 6, rode ster en nr2 t/m nr4. Deze sensoren zijn geplaatst tussen de ankerketting en de hoofdlijn, vóór de eerste boei, en bevinden zich onder de waterlijn. De sensoren meten krachten tot maximaal 40 ton en kunnen autonoom metingen uitvoeren gedurende ongeveer één jaar, waarbij elke 10 seconden een meting wordt opgeslagen.

Uitgevoerde methode – De load cells zijn ingezet zoals beoogd. De sensoren zijn één keer uitgelezen; tijdens het uitlezen worden de load cells ook opgeladen, maar dit proces vergt veel tijd. Het is om planningsredenen niet gelukt om een geschikt tijdsvenster te vinden voor een tweede uitlezing en oplaadsessie.

Voor het uitlezen van de sensoren is een stabiele boot met een krachtige kraan noodzakelijk, zodat de sensoren effectief boven water gehaald kunnen worden. Het uitlezen gebeurt via een USB-kabel. Vanwege de beperkte maximale lengte van de USB-verbinding is het niet mogelijk om het uiteinde van de kabel boven water te houden. Om deze reden is goed weer, met lage golfhoogtes, een belangrijke voorwaarde voor het succesvol uitlezen van de sensoren.



Figuur 6 Weergave van het uitgezette pilot vak, 250-360m, met op ieder hoekpunt een gele kardinale (RWS) sparboei en daarin de drijvende longline (licht bruine lijn) en de ondergedoken longline (bruine lijn). De rode ster toon de defecte load-cell en nummer 2, 3 en 4 geven de andere drie loadcells weer.

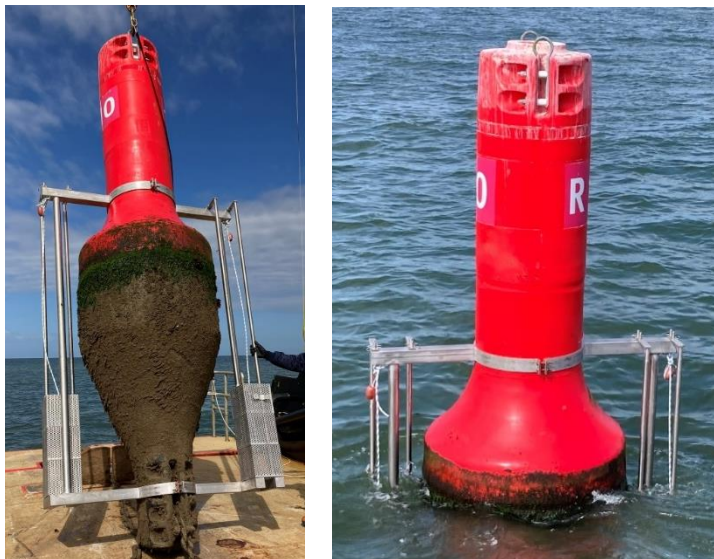
2.2 Werkpakket 2: Mosselen

De kweek op de Voordelta is aanvullend op de gangbare kweek van mosselen op de bodempercelen. De vraag of het technisch en economisch haalbaar is om mosselen te kweken in de Voordelta is in hoge mate afhankelijk van de productie op de systemen.

2.2.1 Gestandaardiseerde groeimetingen:

Beoogde methode - De productiviteit wordt bepaald door de groei en de overleving van de mosselen. Binnen het KOMPRO-project (WMR) vinden jaarlijks metingen plaats op bodempercelen in de Oosterschelde en de Waddenzee om de groei en overleving in het hele kweekgebied in kaart te brengen. Deze monitoring is uitgebreid naar de Voordelta, waarbij er in 2022 3 en vanaf 2023 2 verschillende locaties ook maandelijkse (april-okt) metingen plaatsgevonden hebben. Hierbij worden in april op lengte geselecteerde mosselen uit eenzelfde batch over de verschillende locaties (12 in de Oosterschelde, 12 in de Waddenzee en 2 in de Voordelta) uitgehangen en gedurende het groeiseizoen bemonsterd, zie voor locaties Voordelta, Oosterschelde en Waddenzee: Bijlage 3. Er wordt gebruik gemaakt van de betonning in de nabijheid van de pilot en een ongeveer 2 km bij de pilotlocatie vandaan (referentie gebied). Rond een sparboei wordt een kooiconstructie (Figuur 7), bevestigd waarin zes mosselbatches uitgehangen worden en bij elke bemonstering wordt er 1 batch uit het veld gehaald.

Uitgevoerde methode – Zoals beoogd.



Figuur 7 Kooiconstructie om een sparboei t.b.v. mosselmonitoring.

2.2.2 Groeimetingen aan de systemen:

Beoogde methode - Fysieke monitoring van de mosselen op de systemen kan alleen plaats vinden als de systemen uit het water gehaald worden. Dit vindt plaats bij de inzet, uitdunning en bij de oogst van de systemen. Bij de inzet wordt een startmonster genomen en bij de oogst worden stukje substraat verzameld voor verdere analyse. Van de touw systemen worden stukjes touw van 30 cm geknipt. De monsters worden random op 3 verschillende dieptes genomen (boven, midden en onder) en van elke behandeling worden 3 replica's genomen.

Van de mosselen op de stukjes substraat worden in het lab de volgende parameters bepaald:

- Treksterkte van de mosselen, als maat van hoe vast ze zich op het substraat gehecht hebben
- Het aantal mosselen per lengte c.q. oppervlakte van het substraat
- De grootte van de mosselen (lengte, gewicht), het droge schelpgewicht en het percentage gekookte vis ten opzichte van het versgewicht (visgewicht, als maat van kwaliteit, in plaats van de conditie index, omdat visgewicht aansprekender is voor de sector). Met deze parameters kan een inschatting gemaakt worden van de groei en overleving van de mosselen voor de verschillende behandelingen en de verschillende locaties over de periode van inzet tot oogst.

Uitgevoerde methode - Voor het lichten van de systemen was de inzet van een groot schip noodzakelijk. Deze schepen bleken echter niet op afroep beschikbaar te zijn op de momenten dat de weers- en golfomstandigheden op de pilotlocatie geschikt waren. Daarnaast bleek in de praktijk dat de opgesokte mosselen zich minder goed aan de lijnen hechtten dan vooraf was ingeschat. Dit heeft geleid tot aanzienlijk verlies van mosselmateriaal, waardoor het uitvoeren van uitdunwerkzaamheden niet noodzakelijk was. Bij de ondergedoken longline zijn daarom uitsluitend monsters verzameld tijdens het opsokken en bij de uiteindelijke oogst. Bij de drijvende longline was het mogelijk om tussentijds extra monsters te verzamelen, omdat deze systemen vanaf het wateroppervlak bereikbaar waren en bemonstering mogelijk was met een kleine boot.

Van de mosselmonsters die verzameld zijn van verschillende touwtypen en op meerdere diepten (boven, midden en onder) zijn in het laboratorium per bemonstering minimaal 40 mosselen geanalyseerd. Hierbij zijn de volgende parameters bepaald:

- Schelp lengte
- Nat visgewicht
- Droog visgewicht (indicatie van de vleeskwiteit)
- Droog schelpgewicht

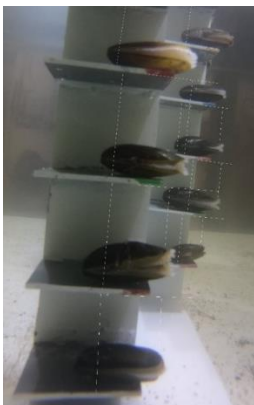
Daarnaast is de trekkracht van de mosselen gemeten met behulp van een digitale Newtonmeter. Hierbij zijn mosselen zorgvuldig uit klompjes (aangroei op andere mosselen) of van het substraat getrokken. De mosselen werden daarbij gefixeerd met een knijper, waarna de maximale kracht die nodig was om de mosselen los te trekken werd geregistreerd. Deze metingen zijn uitgevoerd over een langere lengte van het substraat, zodat de structurele integriteit van de mosselen niet werd beïnvloed door het verwijderen van omringende mosselen. Ook voor deze meting zijn minimaal 40 mosselen per bemonstering geanalyseerd.

2.2.3 *Laboratoriumexperimenten:*

Experiment 1 - Effect van stroming

In de Voordelta is in vergelijking met de kweek op bodempercelen of de kweek in hangcultuursystemen op luwe locaties sprake van hoge stroomsnelheden. Hoge stroomsnelheden kunnen effect hebben op de filtratieactiviteit van mosselen. Of dit effect optreedt en zo ja, wanneer dit effect optreedt is onderzocht in een gecontroleerd experiment.

Uitgevoerde methode – 30 individuele mosselen, $36.5 \pm 6\text{ mm}$, zijn vastgelijmd op een constructie (Figuur 8). Deze constructie is gefixeerd in een stroomgoot (Flume), waarbij de klepstand (opening tussen de twee schelpdelen) vastgelegd is m.b.v. GoPro timelaps, bij verschillende stroomsnelheden, waarbij de stroming in stapsgewijs (met ongeveer 3,5 cm/s per 20 minuten) tot een maximum van 53,0 cm/s (max. flume settings). Door middel van foto-analyse, waarbij de opening van de kleppen voor en tijdens de stroming gemeten wordt, kan bepaald worden of mosselen hun schelp minder ver opendoen bij hogere stroomsnelheden t.o.v. lagere stroomsnelheden. Hoewel de metingen in dit onderzoek helaas beperkt waren tot stroomsnelheden van maximaal 53 cm/s, kan deze range nog steeds van belang zijn. In sommige studies vertonen mosselen al bij lagere stroomsnelheden gedragingen die hun filtratiecapaciteit beïnvloeden (Nielsen en Visman, 2014; Newell *et al.* 2001).



Figuur 8 Mosselen in experimentele setup

Experiment 2 - Predatie van krabben op locatie ingevangen mosselen

De mosselen die ingevangen worden in de Voordelta worden blootgesteld aan golven en hoge stroomsnelheden. Hierdoor ontwikkelde het mosselzaad een harde schelp en veel byssus in vergelijking met bodemmosselen. Het is vanuit de sector bekend dat mosselen met een dergelijke habitus die ook gevonden worden aan paalhoofden een geliefd uitgangsmateriaal is voor de bodemkweek. De dikke schelp, sterke sluitspier en de sterke aanhechting maken dit mosselzaad beter bestand tegen predatie van onder andere krabben. Om te onderzoeken of krabbenpredatie inderdaad minder is op het in de voordelta ingevangen mosselzaad is een voedselvoorkeursexperiment uitgevoerd onder gecontroleerde omstandigheden.

Uitgevoerde methode – Voor het experiment is een opstelling gerealiseerd bestaande uit 16 35L tanks, geplaatst in een stellingskast met drie niveaus: zes tanks op het bovenste niveau, zes in het midden en vier onderaan (Figuur 9). De tanks waren gevuld met zout water (28 g/L), belucht en uitgerust met schuilplaatsen voor de krabben (Figuur 10). Om verstoring te minimaliseren, werd de opstelling verlicht met rood licht, omdat krabben dit niet waarnemen.

Boven vier tanks werd een GoPro-camera geïnstalleerd die time-lapsefoto's maakte met een interval van één foto per minuut. Daarnaast werd per rij in een willekeurige tank een Hobo (HOBO Pendant MX Water Temperature Data Logger) temperatuurlogger geplaatst voor temperatuurregistratie.



Figuur 9 Experimentele lab opstelling



Figuur 10 Een tank voorzien van mosselen en een krab

Per experimentele run van vijf dagen werden vier verschillende typen mosselen getest, elk in viervoudige herhaling, afkomstig van één invangmosseltouw. De onderzochte mosseltypen waren:

- Geclusterde mosselen (variabele grootte); hierbij zijn geclusterde mosselen van de touwen van de pilot gehaald.
- Los geclusterde mosselen (variabele grootte); hierbij zijn mosselen los in een opslagtank gelegd waarna ze zich los geclusterd hadden voor het inzetten van het experiment.
- Losse grote mosselen (> 35 mm)
- Losse kleine mosselen (<35mm)

De mosselen voor elke run werden geselecteerd van drie verschillende touwtypes: Spaans looped touw, Donaghys touw en Spaans touw. Om de inzet van de verschillende mosseltypen te standaardiseren, werd het asvrijdrooggewicht bepaald en gerelateerd aan het versgewicht.

Aan het begin van elke run werd in elke tank een krab geplaatst met een vergelijkbare schildbreedte (maximaal 2 cm verschil). De krabben werden voorafgaand aan het experiment gedurende vijf dagen uitgehongerd.

Gedurende het experiment werden dagelijks de waterparameters — temperatuur, zuurstofgehalte en pH — gemeten op een vast tijdstip. Na afloop van elke run werd het resterende gewicht van de levende mosselen per tank bepaald, waarmee de overleving na predatie werd berekend (in procenten).

2.3 Werkpakket 3: Ecosysteem effecten

Naast waterkwaliteitsparameters (zie werkpakket 2) zijn ook waarnemingen gedaan aan de aanwezigheid van vogels en vissen op en rondom de pilot.

2.3.1 Vogeltellingen

Gedurende de looptijd van het project zijn er vogeltellingen uitgevoerd tijdens de monitoring en tijdens de werkzaamheden aan de pilot. Daarnaast is ook het effect van vaarbewegingen en van menselijke activiteiten meegenomen. Additioneel zijn er foto's geanalyseerd, van een cameraboei die naast de pilot geïnstalleerd is, waarop vogels waargenomen zijn.

2.3.2 Vissen

De hangcultuursystemen kunnen dienen als biotoop voor pelagische en epi-benthische vissen in de Voordelta. Om deze hypothese te onderbouwen zijn er onderwatercamera's aan de systemen bevestigd welke voor een langere periode time Lapse-opnames maken. Deze beelden worden handmatig geanalyseerd op de aanwezigheid van vissoorten.

3 Resultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten per werkpakket besproken. Tijdens de pilot hebben zich enkele incidenten voorgedaan die invloed hebben gehad op de uitkomsten:

- *Schade*
Op 6 oktober 2023, minder dan een maand na plaatsing, is de drijvende longline (LL) zwaar beschadigd door een aanvaring met een vissersschip (YE118). Hierdoor is circa de helft van het substraat verloren gegaan, zijn meerdere boeien vervangen en zijn ongeveer twintig acceleratiesensoren samen met het substraat verloren geraakt, net als één van de ADCP-profiler.
- *Dynamische omstandigheden*
De sterke dynamiek in en rond het pilotgebied heeft herhaaldelijk schade en verlies veroorzaakt aan en van meetapparatuur. Gedurende de pilot zijn in totaal drie chlorofylsensoren, een GoPro camera en 34 acceleratiesensoren verloren gegaan.
Ook heeft de sterke dynamiek ervoor gezorgd dat de geplande monitoringsmomenten vaker niet dan wel uitgevoerd konden worden. Hierdoor is er minder data verzameld dan initieel opgezet was.
- *Capaciteitsproblemen*
De oogst van het ingevangen zaad leidde in augustus 2024 tot een zware belasting van de systemen: de touwen hingen diep in het water door de grote hoeveelheid zaad. Omdat er pas in oktober 2024 scheepscapaciteit beschikbaar was, vond de oogst relatief laat plaats. Hierdoor zijn meerdere invanglijnen, losgebroken door het gewicht, en verloren gegaan.

3.1 Werkpakket 1 – Systemen

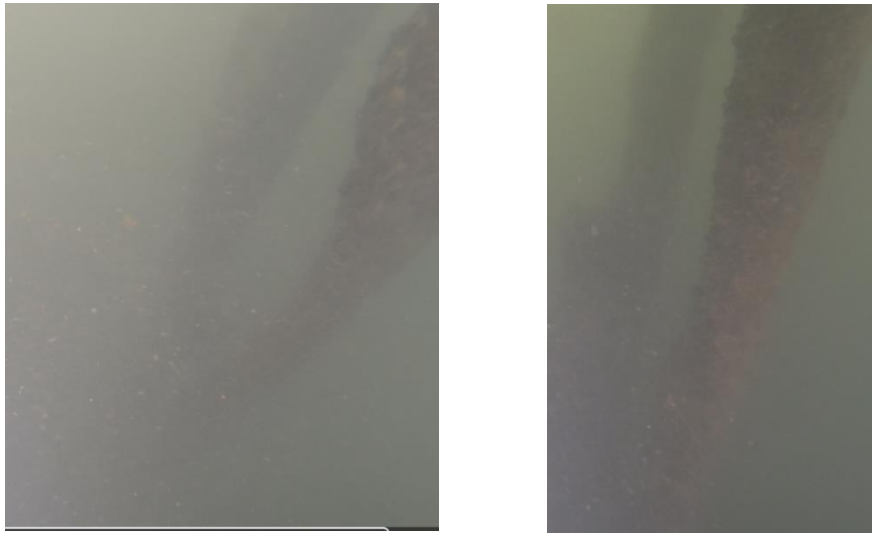
In het eerste werkpakket wordt de technische haalbaarheid van de systemen onderzocht. Hierbij wordt gemonitord hoe geschikt de verschillende systemen zijn onder de verschillende omstandigheden op de locatie Roompot buiten/Banjaard voor de invang en het opkweken van mosselen tot consumptiemaat.



Figuur 11 Onderwaterbeeldopnames van het voorjaar in 2024 met de GoPro camera van de mossellijnen aan de dubbele longline.

3.1.1 ROV (Remotely Operated underwater Vehicle):

Het oorspronkelijke plan was om eenmaal per maand videobeelden van alle systemen te maken. In de praktijk bleek dit echter nauwelijks uitvoerbaar. Door de hoge stroomsnelheden op de pilotlocatie was het werken met de ROV vrijwel onmogelijk. Zelfs tijdens de kentering van het getij was de ROV moeilijk te besturen en raakte deze gemakkelijk verstrikt in de lange mosseltouwen. Bovendien is het zicht in zo'n hoog-dynamisch gebied vaak onvoldoende, waardoor er geen scherp beeld verkregen kon worden. (Figuur 12).

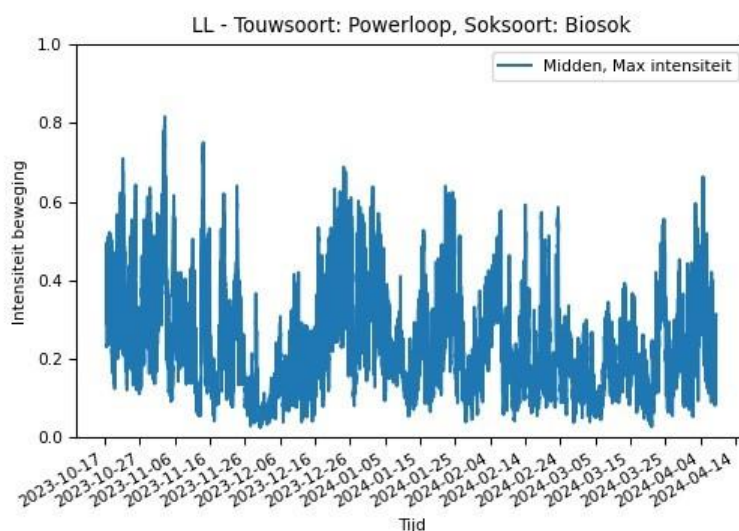


Figuur 12 Teleurstellende schemerige onderwaterbeelden gemaakt tijdens de ROV-monitoring.

3.1.2 Acceleratie sensoren (MSR145):

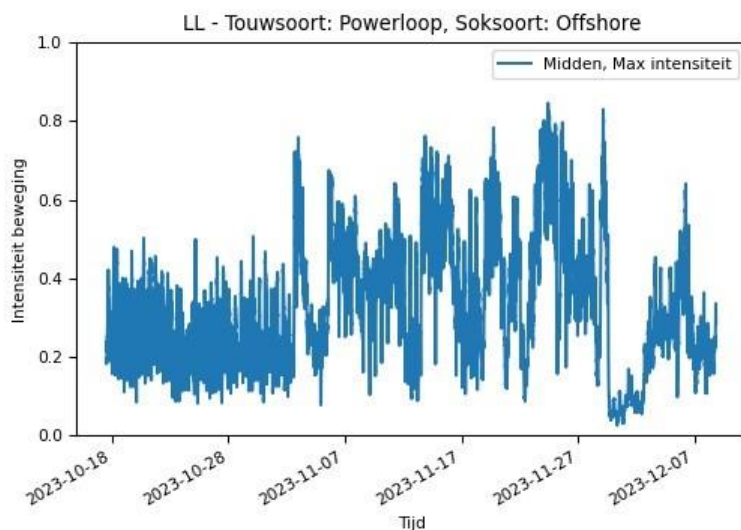
Zaad opsoeken:

Hieronder volgt een overzicht van de verschillende systemen en touwsoorten. Een acceleratiesensor meet de verandering in locatie en registreert deze in X, Y en Z op een relatieve schaal (-1 tot 1). Hierbij staat -1 voor een maximale uitslag naar de ene zijde en +1 voor een maximale uitslag naar de andere zijde. Uit deze X-Y-Z-data wordt de resulterende vector berekend, zie voor details: de Smit et al. (2025). Voor beide systemen, de drijvende longline en de ondergedoken longline, gaven de sensoren die in het midden van de lijn gepositioneerd zijn de hoogste uitslag.



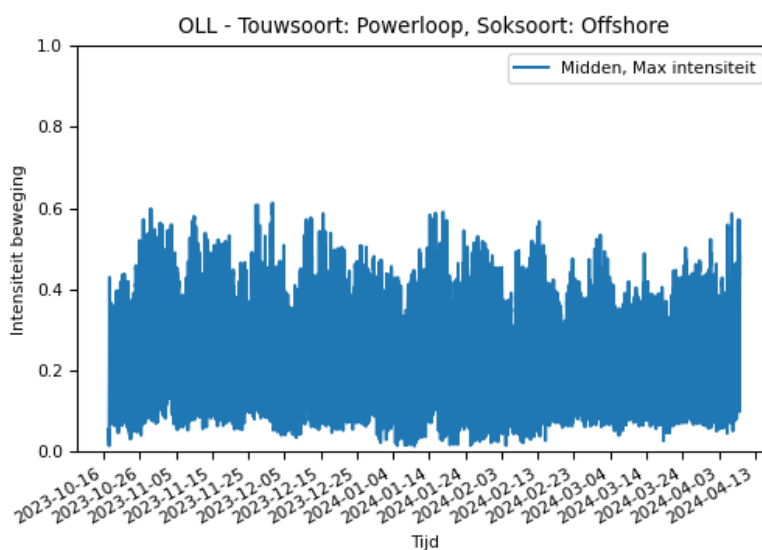
Figuur 13 Grafische weergave van de bewegingsdata (acceleratiesensoren) voor de drijvende longline met Powerloop-touw en Biosok voor de periode oktober '23 tot April '24.

Figuur 13 geeft de maat van beweging weer berekend uit de vectoren voor de drijvende longline met mosselen aan een Powerloop touw en biologisch afbreekbare sok. Hierbij is de maximaal gemeten beweging 0,816, het minimum 0,025 en is er gemiddeld over de gehele periode een intensiteit van 0,235 gemeten.



Figuur 14 Grafische weergave van de bewegingsdata (acceleratiesensoren) voor de drijvende longline met Powerloop-touw en Offshore sok voor de periode oktober tot december '23.

De bewegingsintensiteit voor de drijvende longline met mosselen aan een Powerloop touw en offshore sok is weergegeven in Figuur 14. Deze sensor heeft maar een korte periode gemeten (van 18 oktober tot half december 2023). Hierbij is de maximaal gemeten beweging 0,846, het minimum 0,025 en is er gemiddeld over de gehele periode een intensiteit van 0,326 gemeten.



Figuur 15 Grafische weergave van de bewegingsdata (acceleratiesensoren) voor de ondergedoken longline met Powerloop-touw en Biosok voor de periode oktober '23 tot april '24.

Figuur 15 toont de beweging van de ondergedoken longline met mosselen aan Powerloop-touw en offshore-sok. De maximaal gemeten beweging bedraagt 0,613, het minimum is 0,014 en over de gehele meetperiode is een gemiddelde bewegingsintensiteit van 0,249 vastgesteld.

Wanneer de gemiddelde beweging van de mosseltouwen aan de longline wordt vergeleken met die van de ondergedoken longline, is er geen duidelijk verschil zichtbaar. De gemiddelde beweging bedraagt respectievelijk 0,235 voor de longline met offshore-sok, en 0,249 voor de ondergedoken longline met offshore-sok. Wel valt op dat de maximale bewegingswaarden bij de reguliere longline hoger zijn: respectievelijk 0,846 voor de offshore-sok, tegenover 0,613 bij de ondergedoken longline met offshore-sok. Ook is te zien dat het "bewegingspatroon" van de acceleratiedata bij de longline meer uit elkaar ligt en varieert over de tijd dan die

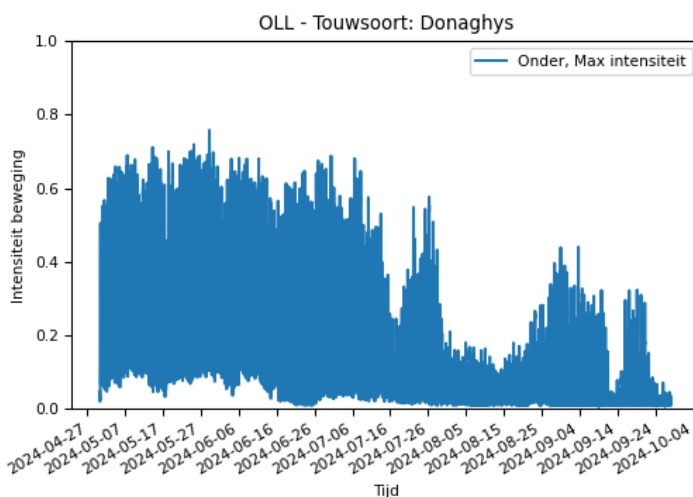
van de ondergedoken longline. Hierdoor lijkt het erop dat de ondergedoken longline regelmatigere bewegingspatronen over de tijd maakt dan de longline.

Zaad invang:

In april 2024 zijn beide systemen (LL & OLL) waar mogelijk geoogst en klaargemaakt om zaad in te gaan vangen tijdens het zaadvalseizoen. In Europa zijn verschillende soorten invangtouw in gebruik. Om op de pilotlocatie ook vast te stellen hoe de prestatie van deze verschillende touwsoorten zijn, zijn op de twee verschillende systemen 6 touwsoorten uitgehangen, namelijk:

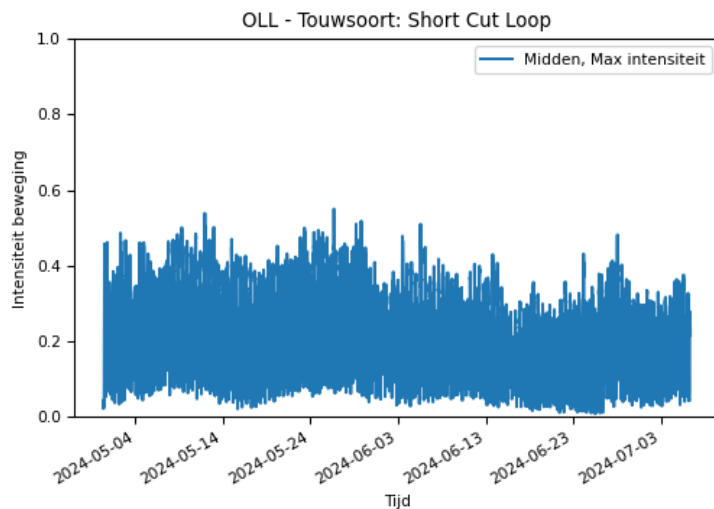
- Donaghys-touw (veel gebruikt voor MZI's)
- Cut Looped-touw
- Short Cut looped-touw
- Spaans Looped-touw
- Spaans-touw (veel gebruikt voor MZI's)
- Pegs

Donaghys- en Spaans-touw worden gebruikt als zaadinvangsubstraat. Deze touwen bieden veel aanhechtingsoppervlak, maar naarmate de mosselen groter worden, vallen ze er gemakkelijker vanaf. Andere typen touw zijn 'looped'-touwen, waarbij kleine lusjes in het touw zijn verwerkt, waardoor mosselen zich stevig kunnen vasthechten en doorgroeien. Het peg-touw heeft daarentegen relatief weinig aanhechtingsoppervlak, maar bevat op regelmatige afstand kunststof pinnen. Doordat het zaad hier in lage dichtheid op valt en de pinnen voorkomen dat de mosselen van de lijn glijden, kan dit substraat worden gebruikt om het ingevangen mosselzaad direct op te kweken tot consumptiemaat, zonder tussentijds uitdunnen of sokken. Bij het uithangen van de touwen in april 2024 zijn op 3 verschillende posities, bovenin, in het midden en onderin, acceleratiesensoren geplaatst. Tijdens de oogst (oktober 2024) van deze lijnen zijn deze sensoren uitgehaald en uitgelezen om zo de beweging van de verschillende lijnen in kaart te brengen. Helaas zijn door de late oogst (gebrek aan scheepsinzet) veel lijnen verloren gegaan, vooral van de drijvende longline. Mede hierdoor zijn er geen acceleratiesensoren teruggevonden bij dit systeem. Ook op de ondergedoken longline zijn niet alle sensoren teruggevonden. De verkregen data van de wel teruggevonden sensoren wordt hieronder weergegeven per touwsoort.



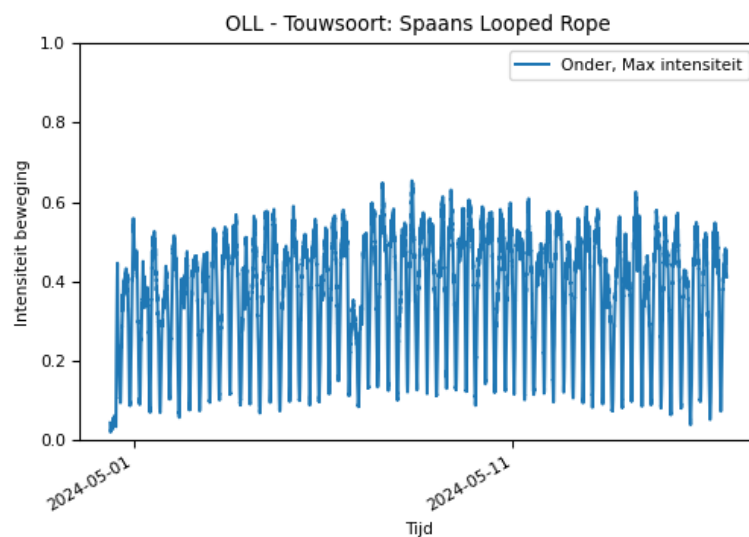
Figuur 16 Grafische weergave van de bewegingsdata (acceleratiesensoren) onderaan gepositioneerd voor de ondergedoken longline met Donaghys-touw voor de periode april '24 tot augustus '24.

De beweging van het onderste gedeelte van het Donaghys-touw, eerst leeg en later met gevestigd mosselzaad, wordt getoond in Figuur 16. In de grafiek is te zien dat de maximaal gemeten waarde 0,758 is, het minimum 0,593 en de gemiddeld intensiteit over de gehele periode 0,196. Echter, is ook te zien dat eind juni 2024 de bewegingsintensiteit afnam. Dit komt vermoedelijk omdat de touwen, door het gewicht, afgezonken waren naar de bodem. Wel hebben de touwen vermoedelijk nog over de bodem gerold door eb en vloed stromingen.



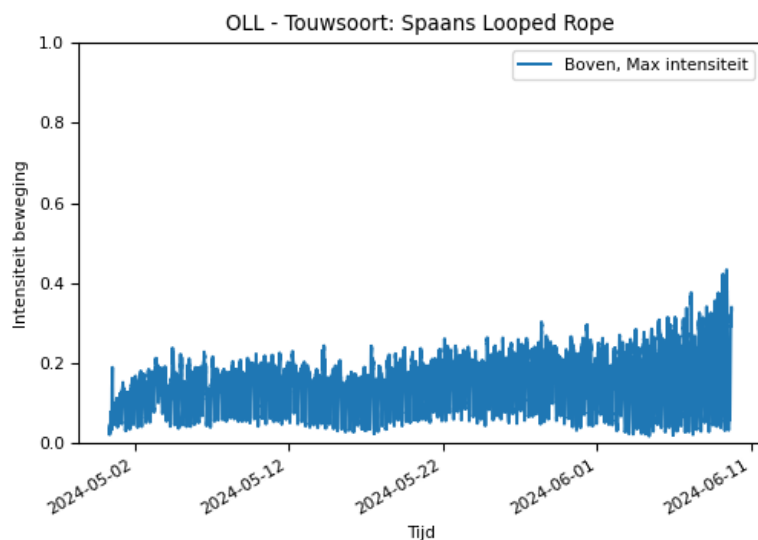
Figuur 17 Grafische weergave van de bewegingsdata (acceleratiesensoren) in het midden gepositioneerd voor de ondergedoken longline met Short Cut-touw voor de periode april '24 tot juli '24.

In de gemeten bewegingsdata in het midden van het Short Cut Looptouw (Figuur 17) is te zien dat deze over de gehele gemeten periode bewogen heeft met een minimum intensiteit van 0,008 en een maximum van 0,550. Hierbij was de gemiddelde bewegingsuitslag 0,225. De data toont geen echt verschil tussen het begin, zonder mosselzaad en het einde van de meetperiode, met het dan nog zeer kleine gevestigde mosselzaad. Waarschijnlijk was het zaad nog te klein om duidelijk effecten te kunnen detecteren, anders dan bij het zaadinvangsubstraat waar de hoeveelheid in gevangen zaad en dus de biomassa veel hoger was.



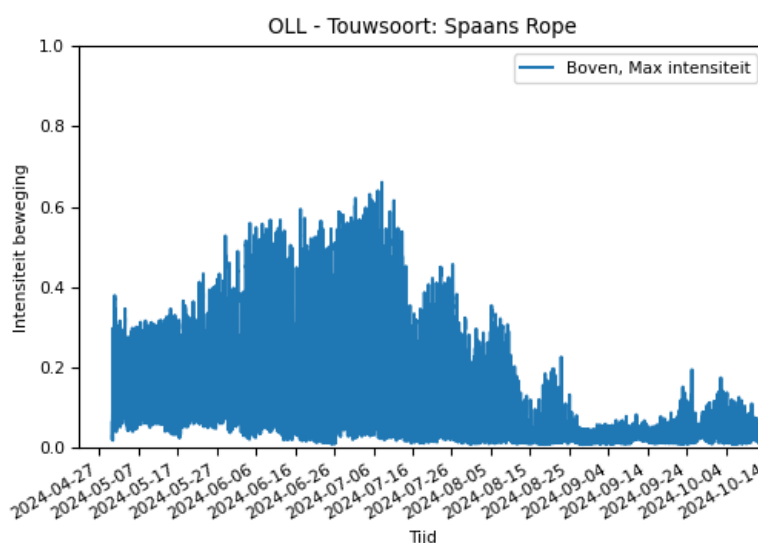
Figuur 18 Grafische weergave van de bewegingsdata (acceleratiesensoren) onderaan gepositioneerd voor de ondergedoken longline met Spaans Looped-touw voor de periode april '24 tot half mei '24.

De beweging onderin het Spaans Looped-touw (Figuur 18), toont een gemiddelde bewegingsintensiteit van 0,370 met daarbij een minimum van 0,002 en een maximum van 0,653. Omdat dit een korte meting (3-4 weken) betreft is het aannemelijk dat er geen of anders heel klein mosselzaad aan de touwen zaten waardoor eventuele beweging na het vestigen van mosselzaad in deze datareeks niet waarneembaar is.



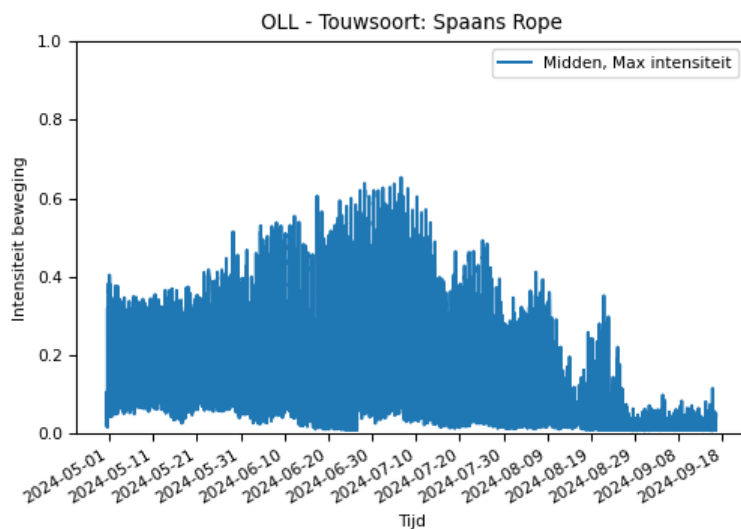
Figuur 19 Grafische weergave van de bewegingsdata (acceleratiesensoren) bovenin gepositioneerd voor de ondergedoken longline met Spaans Looped-touw voor de periode april '24 tot juni '24.

De periode dat er data gemeten is onderaan het Spaans Looped-touw is van april tot juni '24 (Figuur 19), waarbij te zien is dat de bewegingsintensiteit toeneemt in de tijd. Dit wordt veroorzaakt doordat er meer gewicht aan de touwen komt door het gevestigde en groeiende mosselzaad. De gemeten bewegingsdata toont een minimum van 0,018 een maximum van 0,433 met een gemiddelde intensiteit over de hele periode van 0.150.



Figuur 20 Grafische weergave van de bewegingsdata (acceleratiesensoren) bovenin gepositioneerd voor de ondergedoken longline met Spaans-touw voor de periode april '24 tot en met oktober '24.

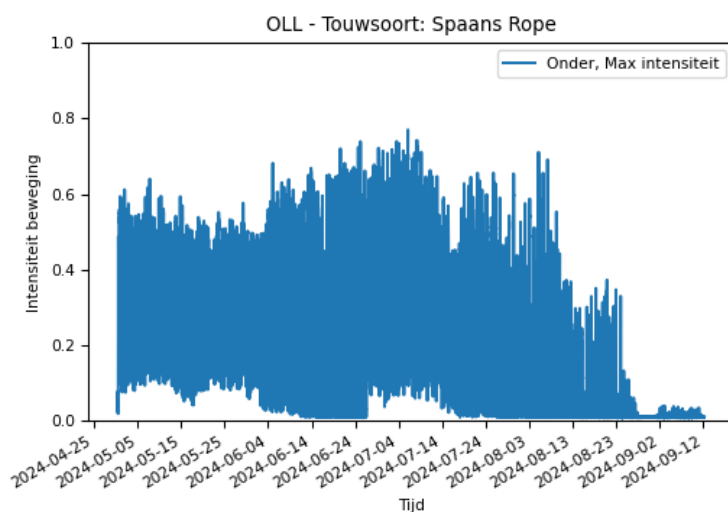
Figuur 20 toont de bewegingsdata bovenin het Spaanse-touw met een minimale beweging van 0,008 en een maximum van 0,661. De gemiddelde bewegingsintensiteit over de gehele meetperiode, mei tot half september '24, was daarbij 0,122. In Figuur 20 is te zien dat de beweging toeneemt vanaf juni '24, door gevestigd en groeiend mosselzaad, en vervolg is er vanaf augustus '24 minder beweging gedetecteerd. Dit komt hoogstwaarschijnlijk doordat de touwen met mosselen rond die periode afgezonden zijn naar de bodem en daarvoor veel minder bewogen hebben.



Figuur 21 Grafische weergave van de bewegingsdata (acceleratiesensoren) in het midden gepositioneerd voor de ondergedoken longline met Spaans-touw voor de periode april '24 tot half september '24.

De data gemeten in het midden van het Spaanse-touw loopt van mei tot half september '24, Figuur 21. Hierbij is de minimale beweging 0,007 en de maximale beweging 0,653 met een overall gemiddelde van 0,157. Dit patroon lijkt op het patroon in Figuur 20.

Vanaf juni is er meer beweging geregistreerd, na het gevestigde en groeiend mosselzaad. Vanaf augustus '24 is een afname van de beweging omdat de touwen vermoedelijk naar de bodem gezakt waren.



Figuur 22 Grafische weergave van de bewegingsdata (acceleratiesensoren) onderin gepositioneerd voor de ondergedoken longline met Spaans-touw voor de periode april '24 tot half september '24.

Naast bewegingsdata van het Spaanse-touw boven en midden is er ook data van het Spaans-touw onder, zie Figuur 22. Hierbij is de data gemeten van mei tot half september '24 en wordt een vergelijkbaar patroon waargenomen. Meer beweging vanaf juni en een bewegingsafname vanaf half augustus '24. Over de gehele meetperiode is er een minimale beweging van 0,007, een maximum van 0,770 met een gemiddelde van 0,228 gemeten.

Als de gemiddelde beweging van het Spaans-touw, boven-midden-onder, aan de ondergedoken longline onderling met elkaar vergeleken wordt is er te zien dat het touw, naar verwachting, meer beweging aan de onderkant (0,228) van de touwen heeft t.o.v. van midden (0,157) of boven (0,122).

Tabel 1 Overzicht van de gemeten bewegingsintensiteit (acceleratiesensoren) per systeem en touwsoort.

Systeem	Touwsoort	Min	Max	Gemiddelde
LL (drijvend)	Powerloop + Biosok	0,025	0,816	0,235
LL (drijvend)	Powerloop + Offshore sok	0,025	0,846	0,326
OLL (ondergedoken)	Powerloop + Offshore sok	0,014	0,613	0,249
OLL (ondergedoken)	Donaghys-touw (onder)	0,593	0,758	0,196
OLL (ondergedoken)	Short Cut Looped (midden)	0,008	0,550	0,225
OLL (ondergedoken)	Spaans Looped (onder)	0,002	0,653	0,370
OLL (ondergedoken)	Spaans Looped (boven)	0,018	0,433	0,150
OLL (ondergedoken)	Spaans-touw (boven)	0,008	0,661	0,122
OLL (ondergedoken)	Spaans-touw (midden)	0,007	0,653	0,157
OLL (ondergedoken)	Spaans-touw (onder)	0,007	0,770	0,228

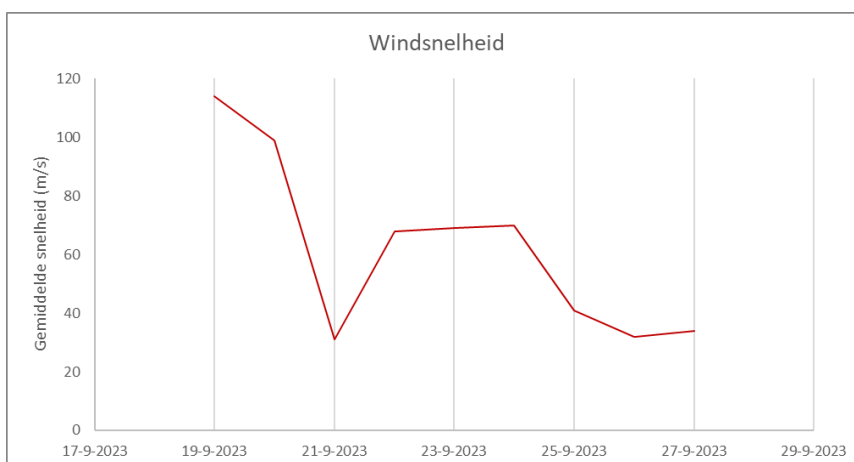
De gemiddelde bewegingsintensiteit van de verschillende systemen en touwsoorten varieerde tussen 0,122 (Spaans-touw, bovenin OLL) en 0,370 (Spaans Looped-touw, onderin OLL). De drijvende longline met Powerloop-touw en offshore-sok vertoonde de hoogste gemiddelde waarde (0,326), terwijl de ondergedoken longline met Spaans-touw aan de bovenzijde de laagste gemiddelde waarde liet zien. Opvallend is dat de maximale bewegingswaarden bij de drijvende longline ($>0,8$) hoger lagen dan bij de ondergedoken systemen ($<0,8$). Dit wijst erop dat de drijvende systemen over het algemeen sterker worden beïnvloed door golfslag en oppervlakte-effecten, terwijl de ondergedoken systemen een meer gedempte, maar gelijkmatiger beweging ervaren.

3.1.3 ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler):

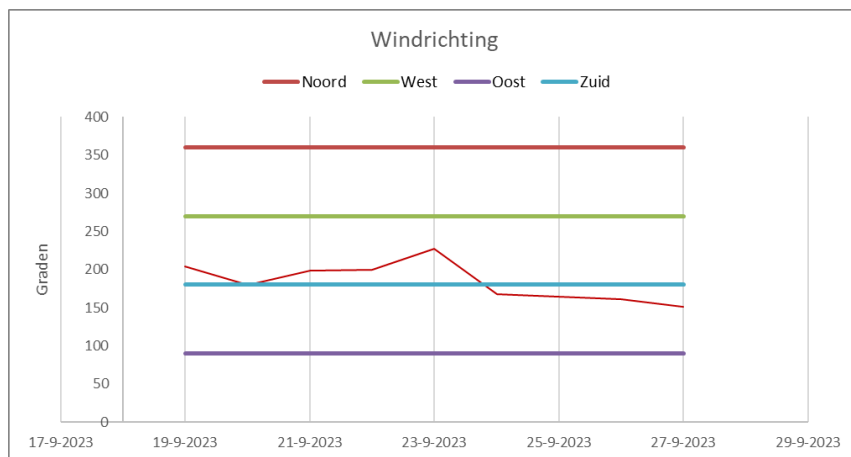
Om de relevante omgevingsomstandigheden voor mosselkweek in kaart te brengen, is op meerdere momenten een ADCP-profiler op de bodem geplaatst, waardoor er data verzameld zijn tijdens verschillende weersomstandigheden. Deze ADCP meet het stromingsprofiel, inclusief stromingsrichting, stroomsnelheid en golfhoogte. Het apparaat beschikt over een intern geheugen en heeft, bij de gekozen instellingen, een batterijcapaciteit van ongeveer één maand.

Zodra de weersomstandigheden en zee-condities het toelaten, en de ADCP succesvol wordt teruggevonden, wat een uitdaging kan zijn gezien de grote waterdiepte ter plaatse (24 meter), wordt het apparaat uitgelezen opnieuw ingezet.

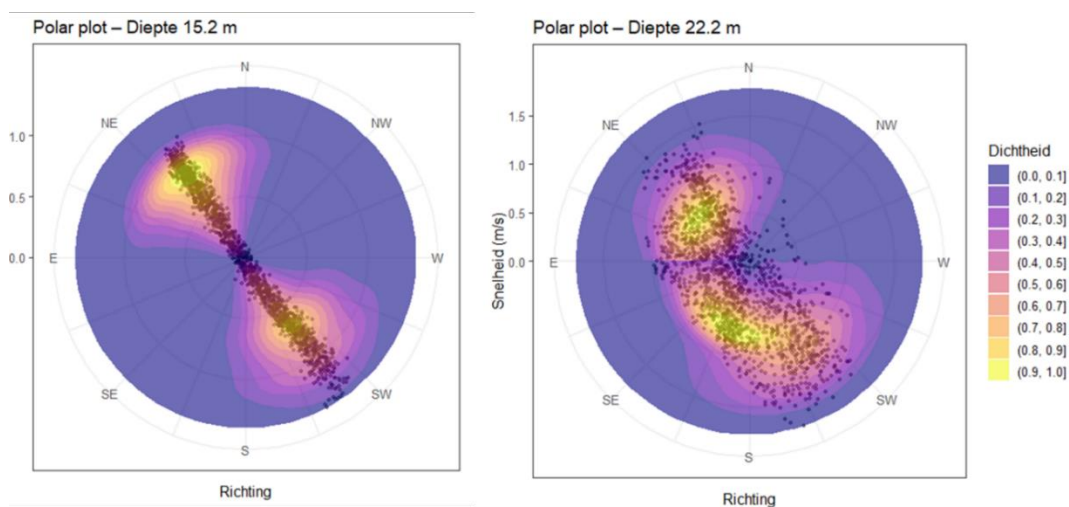
In september 2023, kort na het plaatsen van de meetapparatuur, volgde een periode met relatief veel wind uit een vrij constante zuidelijke richting (Figuur 23 en Figuur 24). Ook de stroming op de pilotlocatie was vrij consistent, met een hoofdrichting van zuidwest naar noordoost (Figuur 25). De waterdiepte varieerde daar tussen de 22,0 en 25,5 meter (Figuur 26).



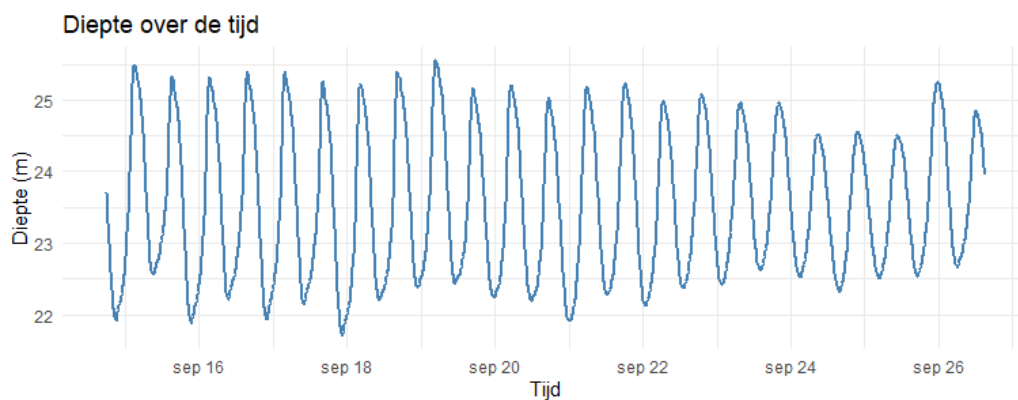
Figuur 23 Windsnelheid (m/s) gedurende de meetperiode in september 2023, gemeten door het KNMI (Den Bilt).



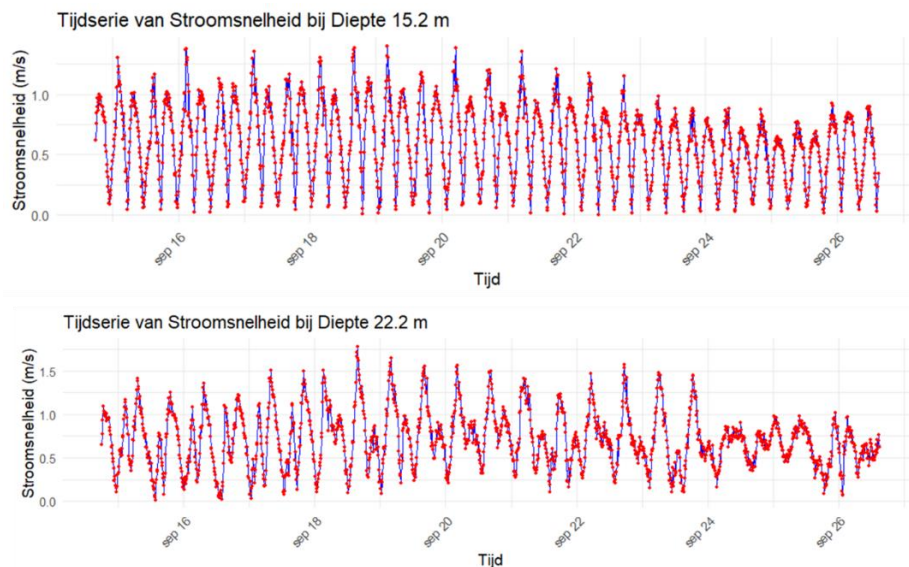
Figuur 24 Windrichting gedurende de meetperiode in september 2023 weergegeven in graden, met referentielijnen voor noord (0°), oost (90°), zuid (180°) en west (270°), september 2023.



Figuur 25 Verdeelde frequentie van stromingsrichtingen aan het wateroppervlak (links: 15,2 m van de bodem en rechts: 22,5 m van de bodem), geaggregeerd per 10 minuten over een volledige meetperiode (19-9 tot en met 27-9 2023).

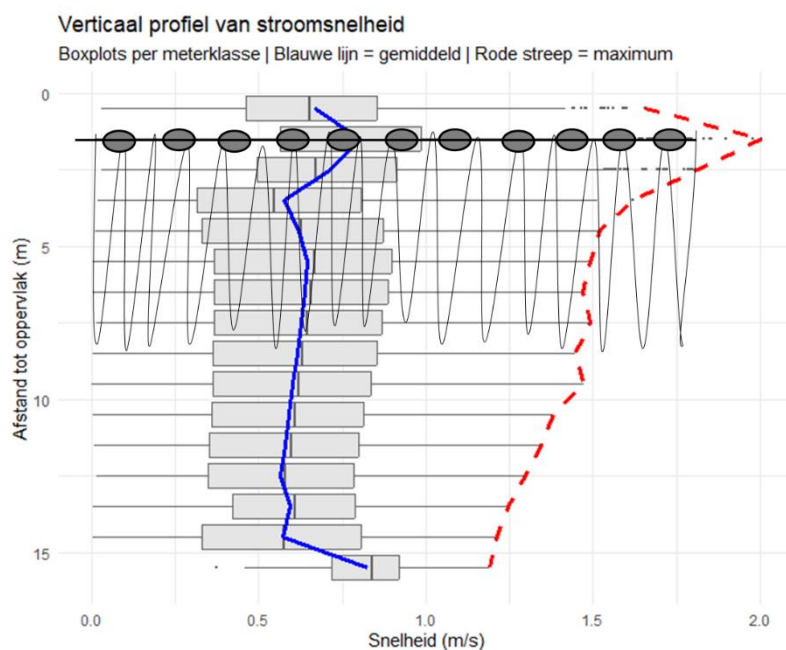


Figuur 26 Diepte van de waterkolom op de pilotlocatie, zoals gemeten met de ADCP (september 2023).

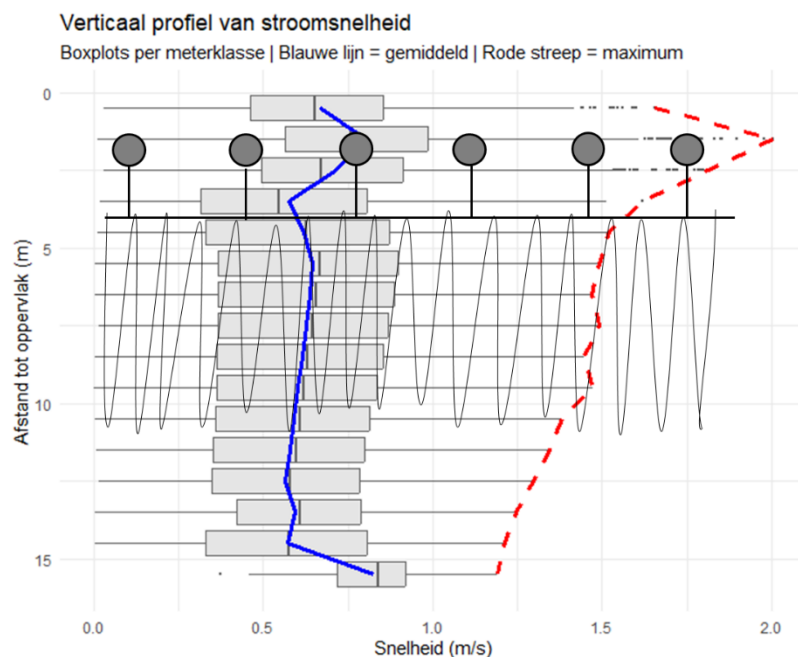


Figuur 27 Tijdreeks van stroomsnelheden, boven: 15.2 meter van de bodem en, onder: 22.5 van de bodem (aan het wateroppervlak) gedurende een volledige meetperiode (15-27 september 2023).

De stroomsnelheid aan het wateroppervlak (ca. 22,5 meter vanaf de bodem) vertoonde duidelijke getijfluctuaties: tijdens springtij liep deze op tot 1,75 m/s, terwijl bij doottij nauwelijks stroming werd gemeten (Figuur 27). Op een diepte van 15,2 meter van de bodem, ter hoogte van het substraat van de ondergedoken longline, was de stroming merkbaar lager, met een maximale snelheid van circa 1,30 m/s bij springtij (Figuur 27). De stroomrichting op deze diepte was zeer constant en vrijwel identiek aan die aan het wateroppervlak, maar met minder variatie (Figuur 25).



Figuur 28 Stromingsprofiel in de bovenste 10 meter van de waterkolom, met ingetekende positie van de drijvende dubbele longline.



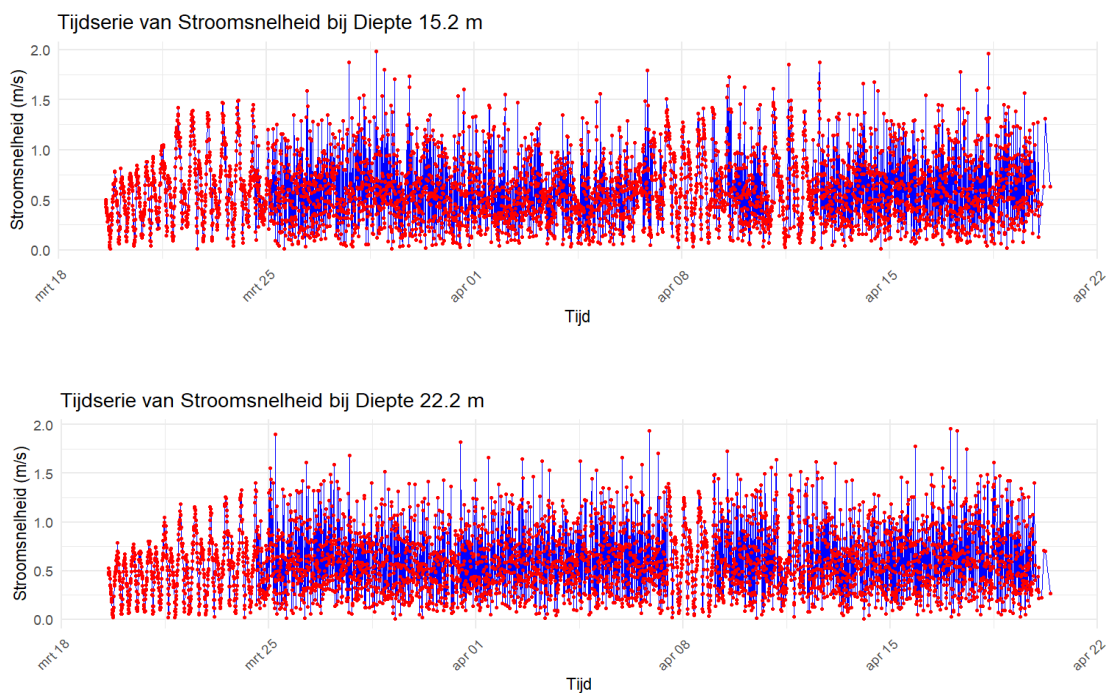
Figuur 29 Stromingsprofiel in de bovenste 10 meter van de waterkolom, met ingetekende positie van de ondergedoken longline.

In Figuur 28 en Figuur 29 zijn de verticale stromingsprofielen weergegeven, met daarin ingetekend de drijvende longline (Figuur 28) en de ondergedoken longline (Figuur 29). Het bovenste datapunt vertoont een lichte terugval, wat een meetartefact is doordat hier alleen bij vloed gemeten wordt. Vervolgens is er een duidelijke afname in stromingssnelheid te zien naarmate de diepte toeneemt. De bovenste 3-4 meter van het wateroppervlak laat een scherpe afname zien, waarna de stroming zich stabiliseert. Het is duidelijk te zien dat de ondergedoken longline hiervan profiteert, aangezien de stroming daar minder effect heeft op het substraat dan bij de drijvende longline, die zich met het bovenste deel van het systeem juist in deze dynamische zone bevindt.

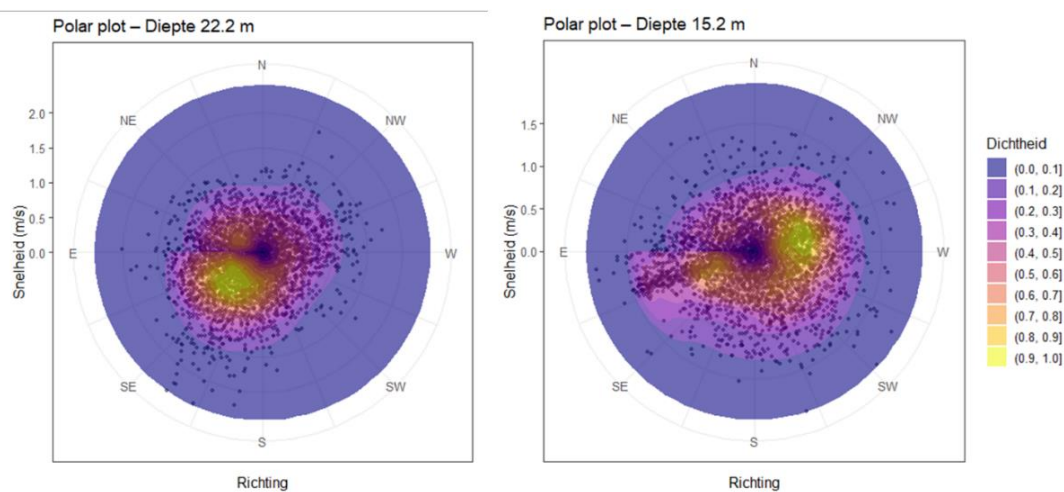
Analyse van golfhoogte en stroming bij zware weersomstandigheden.

Tijdens de pilot zijn op meerdere momenten golfmetingen uitgevoerd. Om het effect van wind en windrichting op stroming en golfvorming nader te analyseren, is ingezoomd op de periode mei-juni 2024, waarin de hoogste golfmetingen met de ADCP zijn geregistreerd. Dit betekent niet dat dit de hoogste golfhoogten waren gedurende de gehele pilotperiode, aangezien de ADCP niet continu gemeten heeft. Wel biedt deze periode waardevolle inzichten in de omstandigheden tijdens zware weersituaties.

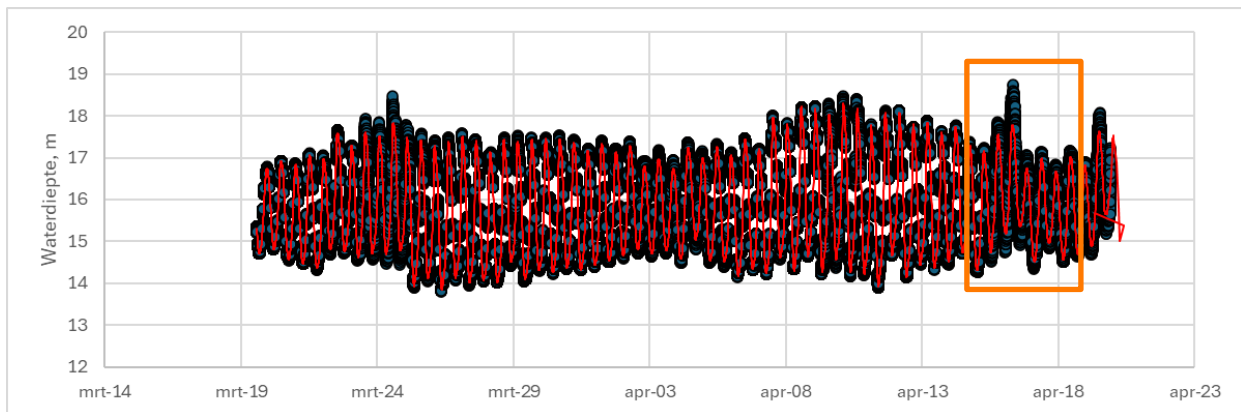
De gemeten stroomsnelheden in maart-april 2024 bereikten aan het wateroppervlak (22,5 meter van de bodem) piekwaarden tot 2,00 m/s (Figuur 30). Lager in de waterkolom, ter hoogte van het substraat van de ondergedoken longline (15,2 meter van de bodem), lag de maximale stroomsnelheid lager, met waarden tot circa 1,8 m/s (Figuur 30). De stromingsrichting was aan het wateroppervlak sterk variabel (Figuur 31). Op grotere diepte was de stroming veel constanter, met een dominante richting van oostzuidoost naar westnoordwest (Figuur 31). Tijdens dezelfde periode zijn ook de golfhoogtes gemeten. In Figuur 32 zijn deze weergegeven als zwarte punten. De rode lijn toont de getijslag, waaruit blijkt dat pieken in golfhoogte niet direct samenhangen met de getijbeweging. Er zijn twee duidelijke pieken in golfhoogte waargenomen: rond 24 maart en rond 16 april 2024. In Figuur 33 is ingezoomd op de periode van 15–19 april 2024. Op 16 april werden golven gemeten tot circa 2,5 meter hoogte. Wanneer de windgegevens naast deze golfmetingen worden gelegd, valt op dat vooral de windrichting bepalend is voor de golfopbouw (Figuur 34). In beide periodes met hoge golfslag kwam de wind uit westelijke richting. Hoewel op andere momenten de windsnelheid hoger kon zijn, resulteerde wind uit andere richtingen in beduidend lagere golfhoogte, vermoedelijk door afscherming door het land.



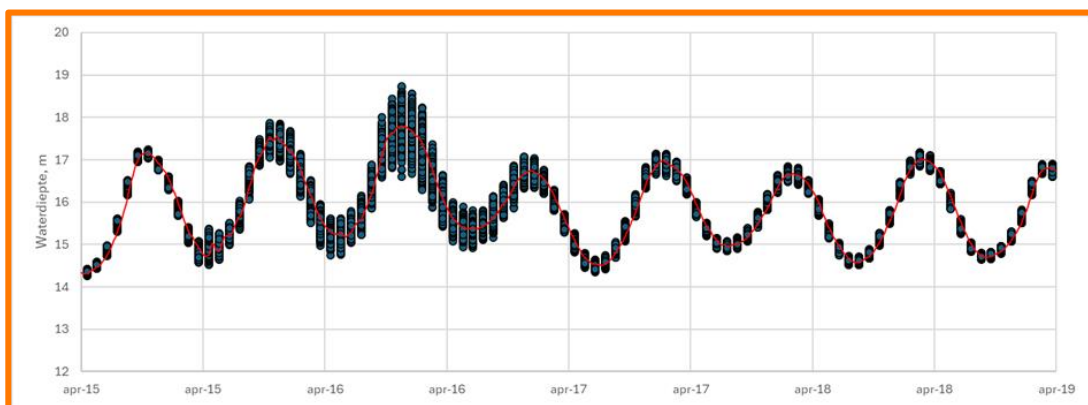
Figuur 30 Boven: Tijdsree van stroomsnelheid op 15,2 meter van de bodem (ter hoogte van de ondergedoken longline) tijdens de periode maart-april 2024, Onder: Tijdsree van stroomsnelheid aan het wateroppervlak (22,5 m van de bodem) in dezelfde periode.



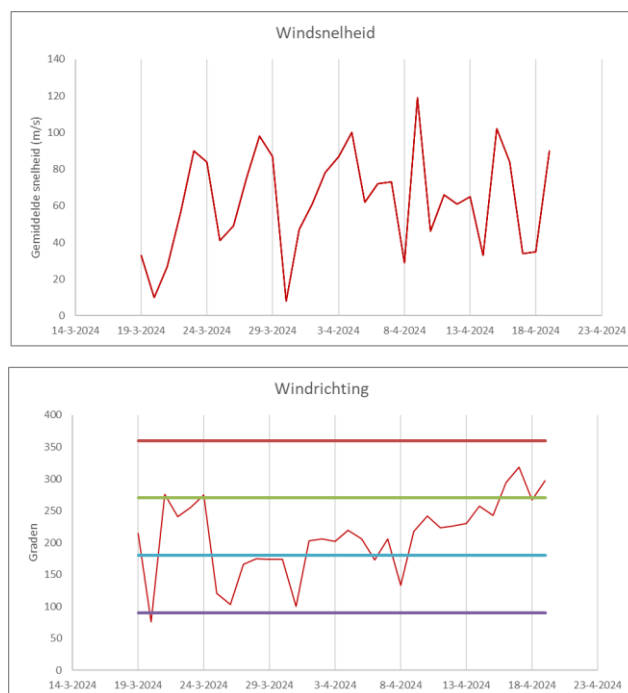
Figuur 31 Links: Stromingsrichting aan het wateroppervlak (22,5 m van de bodem), gemeten gedurende maart-april 2024, rechts: Stromingsrichting op 15,2 meter van de bodem, met een dominante stroming van oostzuidoost naar westnoordwest.



Figuur 32 Gemeten significante golfhoogte (zwarte punten) tijdens maart-april 2024, met als referentie de getijslag (rode lijn).



Figuur 33 Detailweergave van de golfhoogte tussen 15 en 19 april 2024 (oranje kader in Figuur 32), met een piek tot circa 2,5 meter op 16 april.



Figuur 34 Windsnelheid (boven) en windrichting (onder) gedurende de meetperiode maart-april 2024, weergegeven in graden, met referentielijnen voor noord (0°), oost (90°), zuid (180°) en west (270°).

3.1.4 JFE- Chlorofyl/Turbiditeitsmeter:

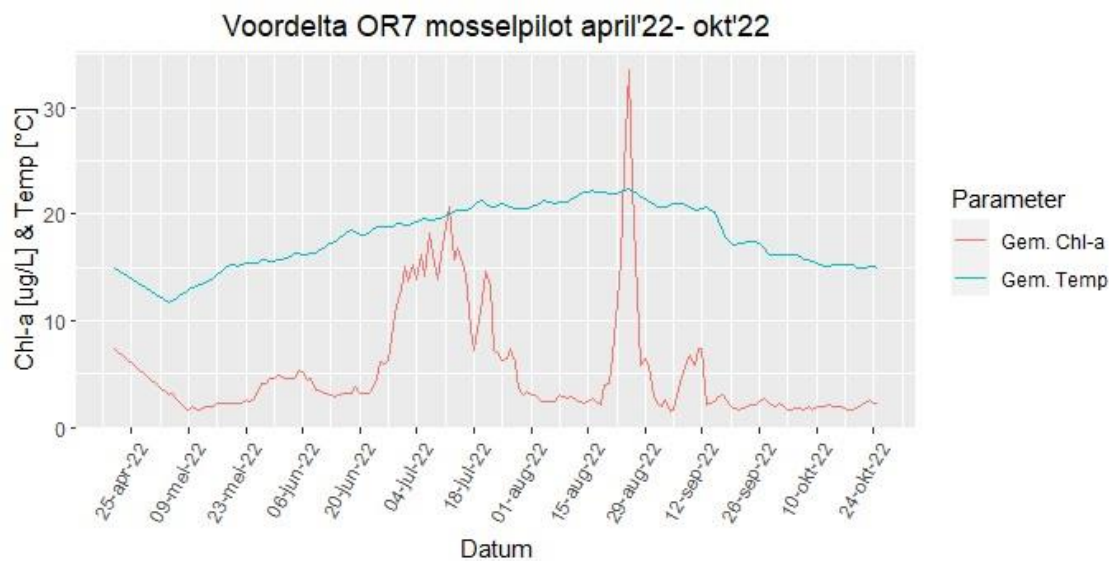
Het oorspronkelijke plan was om gedurende de volledige projectperiode met twee chlorofyl-meters het chlorofyl-a-gehalte en de temperatuur te meten, één op de pilotlocatie (R12) en één op de referentielocatie (OR7). In totaal zijn er echter vier chlorofyl-meters verloren gegaan: één op de pilotlocatie en drie op de referentielocatie.

Door de beperkte bereikbaarheid van de locaties, veroorzaakt door wind en golfslag, was het niet mogelijk om maandelijks metingen uit te voeren. Soms was het gebied zelfs weken achtereen niet toegankelijk. Het herplaatsen van een nieuwe meter gebeurde pas tijdens het eerstvolgende veldbezoek, wat vaak enkele weken duurde. Door deze omstandigheden ontbreekt er veel meetdata over de gehele projectperiode. Uiteindelijk is er slechts één meetreeks beschikbaar van de referentielocatie OR7, namelijk van april tot en met oktober 2022.

Chlorofyl is een proxy voor de biomassa van fytoplankton en zegt dus iets over de hoeveelheid voedsel in de waterkolom. Grofweg kan de volgende classificatie aangehouden worden:

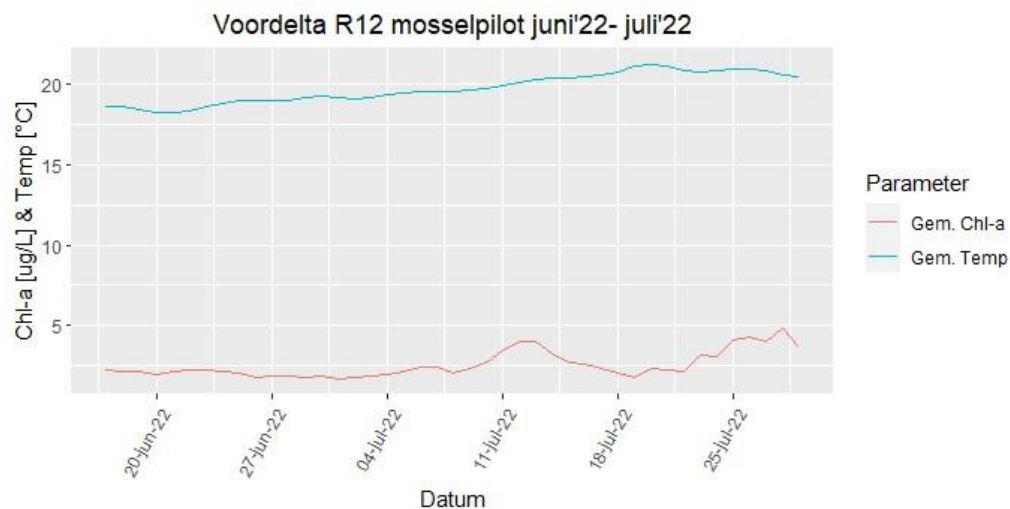
- *Laag:* $< 2 \mu\text{g/L}$: vaak oligotrofe of voedselarme omstandigheden, waarbij de groei van mosselen beperkt kan zijn.
- *Gemiddeld:* $2\text{--}8 \mu\text{g/L}$: mesotrofe omstandigheden, voldoende voedsel voor onderhoud en redelijke groei.
- *Hoog:* $> 8\text{--}10 \mu\text{g/L}$: eutrofe omstandigheden, vaak in kust- en estuariene systemen; dit zijn gunstige condities voor snelle groei van mosselen, al kan bij zeer hoge waarden ($>20 \mu\text{g/L}$) ook negatieve invloed ontstaan (bv. door zuurstoftekort of algenbloei).

In veel Noord-Europese mosselgebieden (zoals Waddenzee, Oosterschelde, Duitse bocht) liggen chl-a waarden doorgaans in de bandbreedte van $2\text{--}15 \mu\text{g/L}$, met pieken in het voorjaar en najaar (OSPAR).

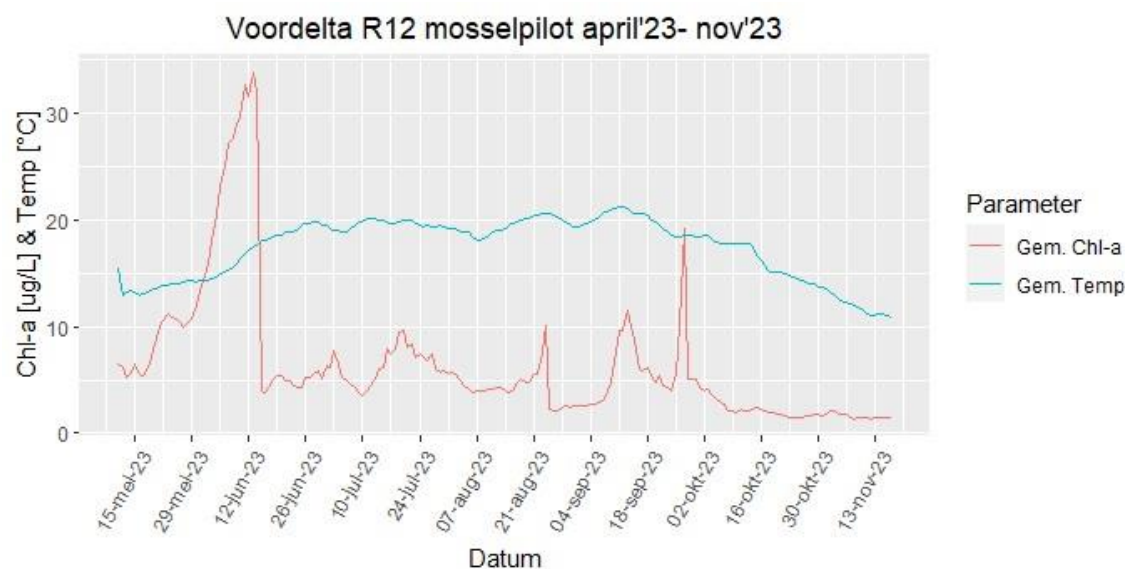


Figuur 35 Gemeten daggemiddelde chlorofyl-a ($\mu\text{g/L}$) (rode lijn) en Temperatuur ($^{\circ}\text{C}$) (blauwe lijn) bij de referentielocatie OR7 voor de maanden april tot eind oktober 2022.

De gemeten daggemiddelde chlorofyl-a- en temperatuurdatta voor de periode van april tot eind oktober 2022 op de referentielocatie OR7 zijn weergegeven in Figuur 35. Uit de gegevens blijkt dat in de voorjaarsmaanden (april, mei en juni) veel chlorofyl-a aanwezig is als proxy voor voedselbron van mosselen. Daarnaast is in juli en augustus een duidelijke toename van het chlorofyl-a-gehalte zichtbaar, gevolgd door een lichte stijging in september. De temperatuur (in $^{\circ}\text{C}$) vertoont het verwachte seizoenspatroon, met een toename in de zomermaanden tot een maximum van 22°C , waarna vanaf half september een geleidelijke afname wordt waargenomen.

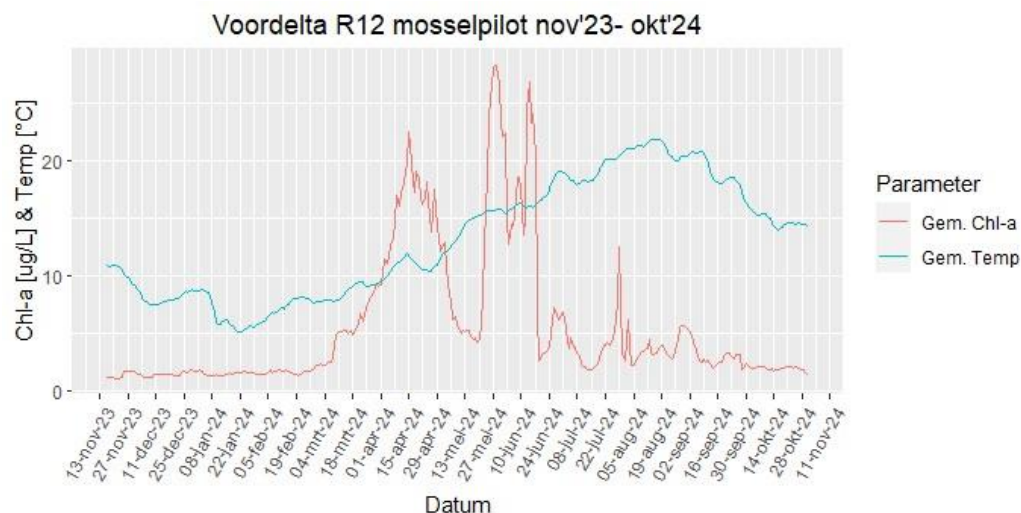


Figuur 36 Gemeten daggemiddelde chlorofyl-a ($\mu\text{g/L}$) (rode lijn) en Temperatuur ($^{\circ}\text{C}$) (blauwe lijn) bij de pilotlocatie R12 voor de maanden juni en juli 2022.



Figuur 37 Gemeten daggemiddelde chlorofyl-a ($\mu\text{g/L}$) (rode lijn) en Temperatuur ($^{\circ}\text{C}$) (blauwe lijn) bij de pilotlocatie R12 voor de maanden april tot half november 2023.

Figuur 36, Figuur 37 en Figuur 38 tonen het gemeten daggemiddelde aan chlorofyl-a en temperatuur voor de pilotlocatie (R12) voor juni-juli 2022, april-november 2023 en november 2023-oktober 2024. Figuur 37 (2023) en Figuur 38 (2024) tonen ongeveer dezelfde toename in chlorofyl-a concentraties tijdens het voorjaar (mei/juni), gevolgd door een scherpe afname van de voorjaarsbloei, vaak veroorzaakt door een uitputting van stikstof en/of silicium (Philippart *et al.* 2010). In de zomermaanden (juli/augustus) zijn de waarden wel hoger dan in de wintermaanden. Figuur 36 (2022) toont de toename in chlorofyl-a concentratie half juni – eind juli niet, wat zou kunnen komen doordat de sensor eventueel iets vervuild was of omdat er in die periode van 2022 minder chlorofyl-a aanwezig was. In alle 3 de jaren ('22-'23-'24) volgt de temperatuurcurve het normale seizoenspatroon.



Figuur 38 Gemeten daggemiddelde chlorofyl-a ($\mu\text{g/L}$) (rode lijn) en Temperatuur ($^{\circ}\text{C}$) (blauwe lijn) bij de pilotlocatie R12 voor de maanden half november 2023 tot half november 2024.

Prinseplaat Oosterschelde

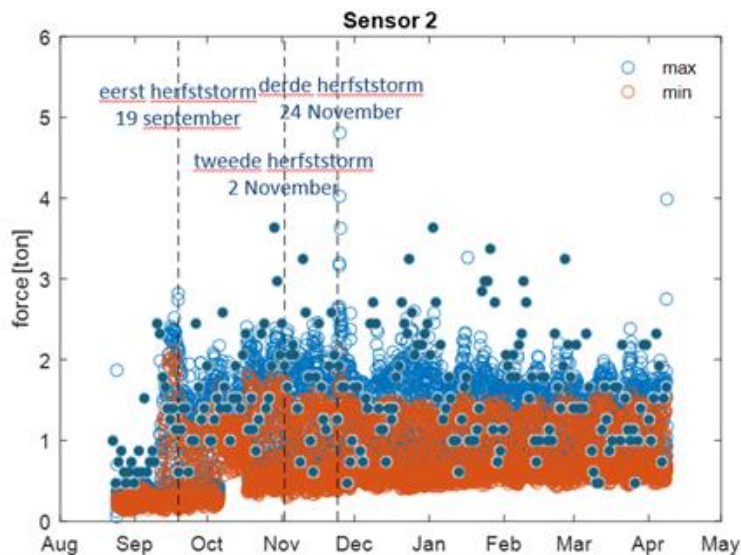


Figuur 39 Gemeten daggemiddelde chlorofyl-a ($\mu\text{g/L}$) (rode lijn) en temperatuur ($^{\circ}\text{C}$) (blauwe lijn) bij de Prinseplaat in de Oosterschelde voor de maanden december 2022 tot begin juli 2023.

In de Oosterschelde worden veel mosselen en oesters gekweekt. Het chlorofyl-a gehalte is eind 2022-halverwege 2023 gemeten bij de locatie Prinseplaat, nabij Yerseke, in de Oosterschelde. Om een vergelijk te maken met het gemeten daggemiddelde aan chlorofyl-a tussen de Voordelta en de Oosterschelde is Figuur 39 toegevoegd. Als Figuur 39 vergeleken wordt met Figuur 38 is er een lichte toename in Chlorofyl te zien in het voorjaar waarbij in beide gebieden een hogere toename te zien is in mei/juni. De Voordelta toont een chlorofyl-a piek van net onder de $30 \mu\text{g/L}$ en de Oosterschelde net boven de $20 \mu\text{g/L}$. De Voordelta toont hierdoor een hogere Chlorofyl-a concentratie van ongeveer 30% tijdens het piekmoment. De gemeten watertemperaturen zijn ook zeer vergelijkbaar in beide systemen.

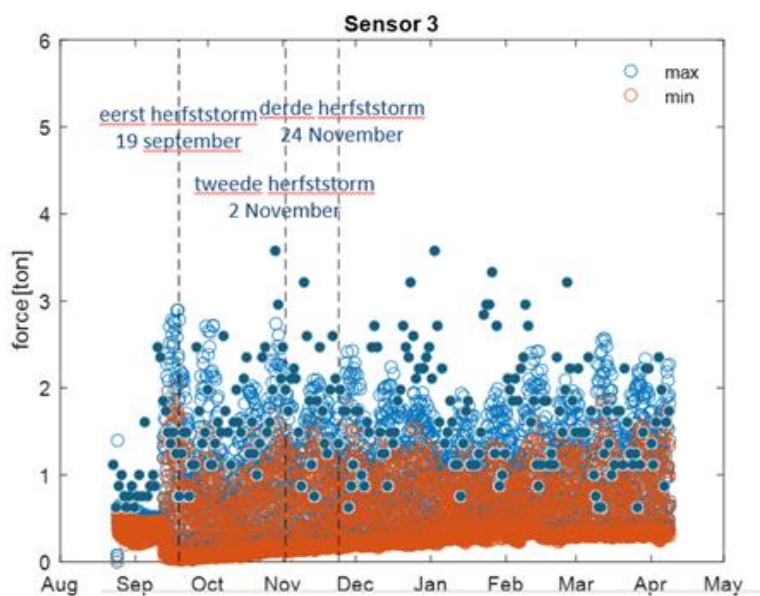
3.1.5 Load-Cells:

Tijdens het plaatsen van beide systemen (LL en OLL) zijn de load-cells geplaatst (24 augustus 2023), zie Figuur 6. Tijdens de oogst en verwijderen van de mosseltouwen op 8 April 2024 zijn alle load-cells uitgelezen. Tijdens het uitlezen bleek dat load-cell nr1, aangegeven in Figuur 6 met rode ster, dusdanige schade te hebben opgelopen (door het invaren van de YE118 in oktober 2023) waardoor deze niet uit te lezen was. Hierdoor zijn er alleen data beschikbaar van load-cells 2, 3 en 4.

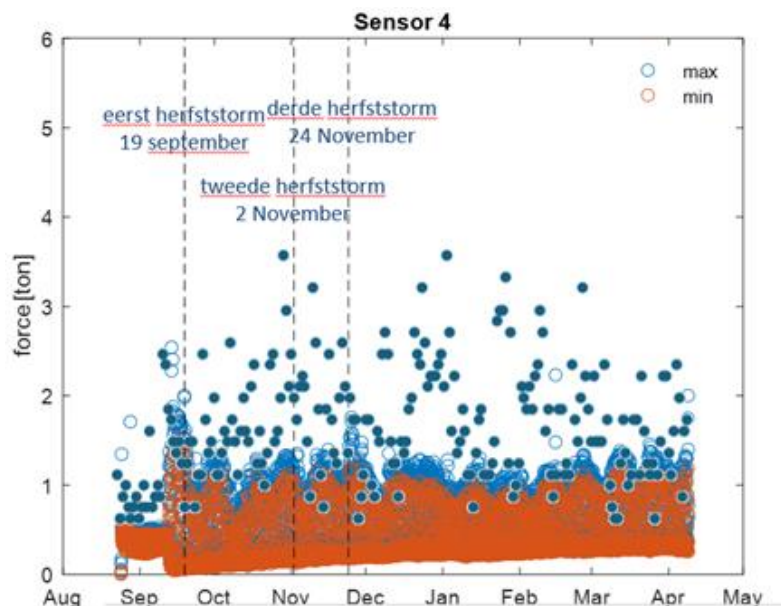


Figuur 40 Sensor 2 Noordoost locatie op de LL. Weergegeven is de correlatie met wind bij Vlissingen waarbij de kracht op de load-cells uitgedrukt is in ton, met daarbij drie stormmomenten, respectievelijk 19 september, 2 november en 24 november (donkerblauwe bolletjes).

De maximale gemeten kracht voor sensor 2 (noordoost op de LL) was net iets onder de 5 ton tijdens de storm van 24 november 2023 waarbij er dus een verband waargenomen is tussen stormmomenten en krachten op het systeem, zie Figuur 40. Deze krachten op het LL-systeem hebben echter geen negatief effect gehad op de stabiliteit van het systeem (ankers, ketting, hoofdlijn en boeien), aangezien deze niet verplaatst is en op locatie gebleven is. De maximaal krachten gemeten op het OLL-systeem komen niet hoger dan 3 ton. De data voor sensor 3, (zuidwest OLL, Figuur 41) en de data voor sensor 4 (zuidoost OLL, Figuur 42) toont geen effecten op de maximaal gemeten krachten op het OLL-systeem. Stormen zijn duidelijk terug te zien, wat aantoont dat de load-cells goed gefunctioneerd hebben.



Figuur 41 Sensor 3 Zuidwest locatie op de OLL. Weergegeven is de correlatie met wind bij Vlissingen waarbij de kracht op de load-cells uitgedrukt is in ton, met daarbij drie stormmomenten, respectievelijk 19 september, 2 november en 24 november (donkerblauwe bolletjes).



Figuur 42 Sensor 4 Zuidoost locatie op de OLL. Weergegeven is de correlatie met wind bij Vlissingen waarbij de kracht op de load-cells uitgedrukt is in ton, met daarbij drie stormmomenten, respectievelijk 19 september, 2 november en 24 november (donkerblauwe bolletjes).

MARIN heeft als onafhankelijke derde partij een beoordeling uitgevoerd van de hydrodynamische simulaties van het ontwerp voor mosselijnen (Bijlage 1). De toegepaste rekenmethode is van hoge kwaliteit en geschikt voor dit type drijvend systeem. De veronderstellingen en omgevingscondities zijn realistisch en conservatief gekozen. In de praktijk zijn de gemeten krachten behoorlijk lager dan voorspeld (Tabel 2), wat wijst op voldoende veiligheidsmarges. De stormcondities tijdens de proef bleken overeen te komen met een relatief milde storm (ongeveer een 1-jaarlijkse gebeurtenis).

Tabel 2 Maximale gemeten windstoten tijdens de testperiode (sep 2023 – apr 2024) vergeleken met langjarige stormstatistieken. De zwaarste storm tijdens de proef kwam overeen met een storm die gemiddeld eens per jaar voorkomt. Experiment zijn de waardes tijdens de pilotfase: sep 2023 tot en met maart 2024.

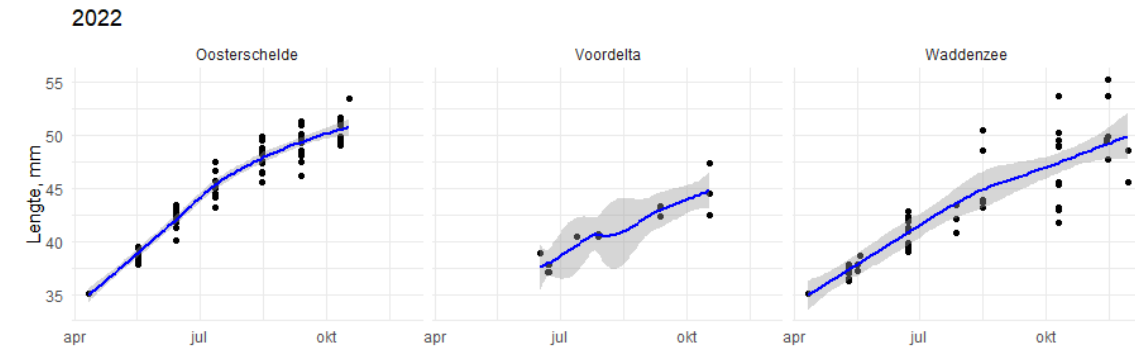
System	Design			Measured			
	MPE Mooring Line [t]	Minimum MBL [t]	Safety Factor	Sensor	Maximum [t]	Design/ Measured	Safety Factor
Dual	19.1	33.9	1.78	2	4.8	4.0	8.5
Single	9.6	33.9	3.54	3, 4	3.0	3.2	10.6

	Experiment 23M9-24M3	1971-2024					
Return period [1/yr]	1.3	1	2	4	6	10	25
Max wind gust [m/s]	31.0	30.9	32.9	34.3	37.1	38.9	42.9

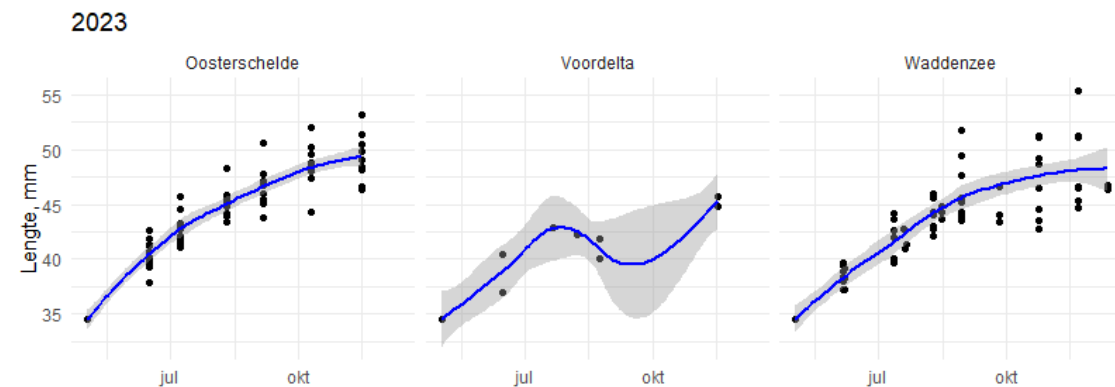
3.2 Werkpakket 2 – Mosselen

3.2.1 Gestandaardiseerde groeimetingen

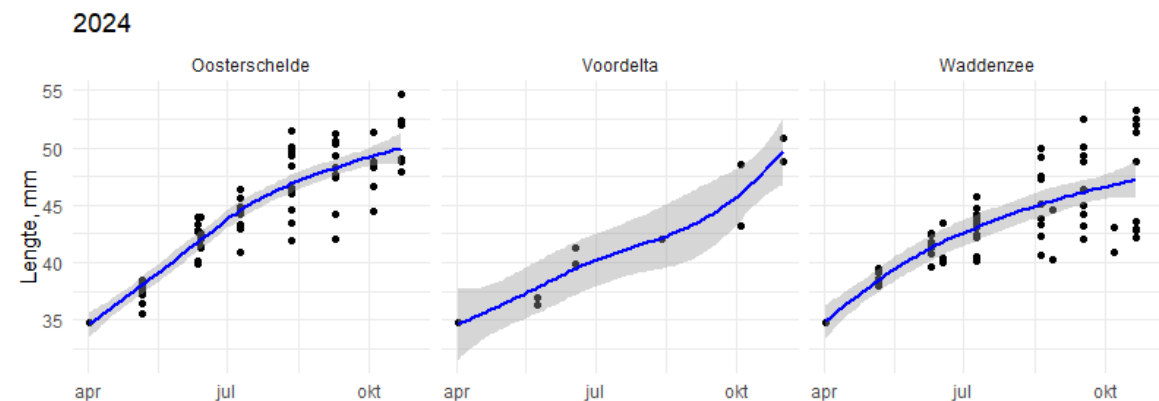
Figuur 43, Figuur 44 en Figuur 45 tonen de lengteontwikkeling (in mm) van mosselen gedurende de pilotfase: 2022, 2023 en 2024 in drie Nederlandse kustgebieden: de Oosterschelde, de Voordelta en de Waddenzee (zie bijlage 3 voor locaties Oosterschelde en Waddenzee). Elke zwarte stip vertegenwoordigt een individuele meting (locatie), terwijl de blauwe lijn het verloop van de gemiddelde lengte weergeeft over de tijd, met een betrouwbaarheidsinterval (grijze band) rond de schatting.



Figuur 43 Groei van mosselen van dezelfde oorsprong die in mandjes zijn uitgehangen: twaalf locaties op Oosterschelde en twaalf locaties in Waddenzee en drie locaties in de Voordelta in 2022.



Figuur 44 Groei van mosselen van dezelfde oorsprong die in mandjes zijn uitgehangen: twaalf locaties op Oosterschelde en twaalf locaties in Waddenzee en twee locaties in de Voordelta in 2023.



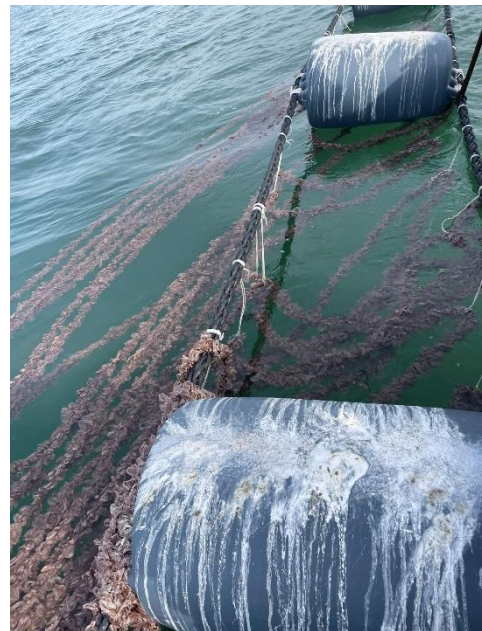
Figuur 45 Groei van mosselen van dezelfde oorsprong die in mandjes zijn uitgehangen: twaalf locaties op Oosterschelde en twaalf locaties in Waddenzee en twee locaties in de Voordelta in 2024.

De groeicurve in 2024 laat zien dat de mosseltjes die ingezet zijn over de groeiperiode van 35 mm uitgegroeid zijn tot 50 mm. Deze groei is vergelijkbaar met de mosselgroei op de Oosterschelde en valt ook binnen de range die gemeten is op de Waddenzee. Hier zijn dezelfde mosseltjes uitgezet waardoor dit vergelijk gemaakt kan worden. Er is dus sprake van vergelijkbare groeisnelheden binnen de onderzochte gebieden.

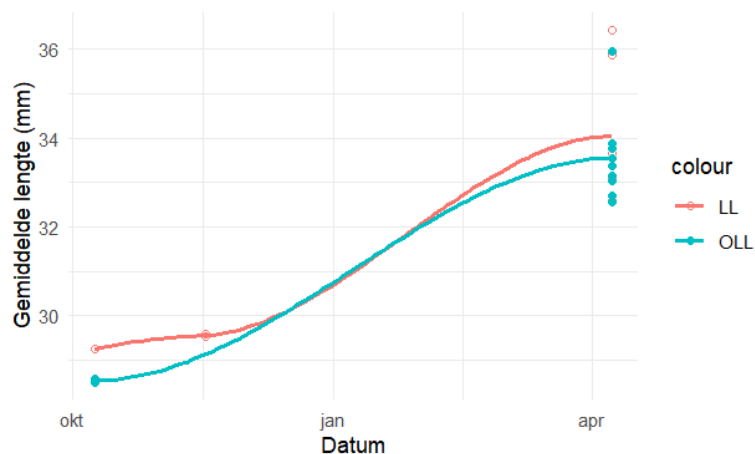
Bij de behandelingen waarbij mosselzaad vanaf de bodem (2023) is opgesokt met behulp van een offshore mosselsok, hebben de mosselen zich onvoldoende gehecht aan het substraat (Figuur 51f). Doordat de mosselsok werd afgebroken voordat de mosselen zich stevig genoeg hadden vastgehecht, zijn vrijwel alle mosselen verloren gegaan. Dit werd duidelijk toen het Powerloop-touw begon te drijven (Figuur 46), wat aangeeft dat er geen gewicht (mosselen) meer aan hing. Alleen in de behandelingen met de bioafbreekbare sok (Figuur 51a) bleven de mosselen rond het substraat (Tabel 2). Dit komt doordat de afbraaktijd van deze sok niet enkele dagen is, zoals bij de offshore sok, maar bijna een heel jaar.

Op 8 april 2024 zijn de mosselen, samen met het substraat en de bioafbreekbare sok, uit de systemen verwijderd. De mosselen waren nog steeds niet goed gehecht aan het substraat en werden voornamelijk door de sok op hun plaats gehouden. Een groot deel van de mosselen was inmiddels dood. Om massale overgroei met nieuw mosselzaad te voorkomen, zijn de lijnen verwijderd. Deze behandeling bleek hiermee niet werkbaar en interessant voor de praktijk. De mosselen uit de sokken zijn wel doorgemeten. De groei in lengte is weergegeven in Figuur 47. Er werd geen verschil in groei waargenomen tussen de mosselen op de drijvende longline en de ondergedoken longline. De totale groei bedroeg in beide systemen 0,03 mm per dag over een periode van 182 dagen.

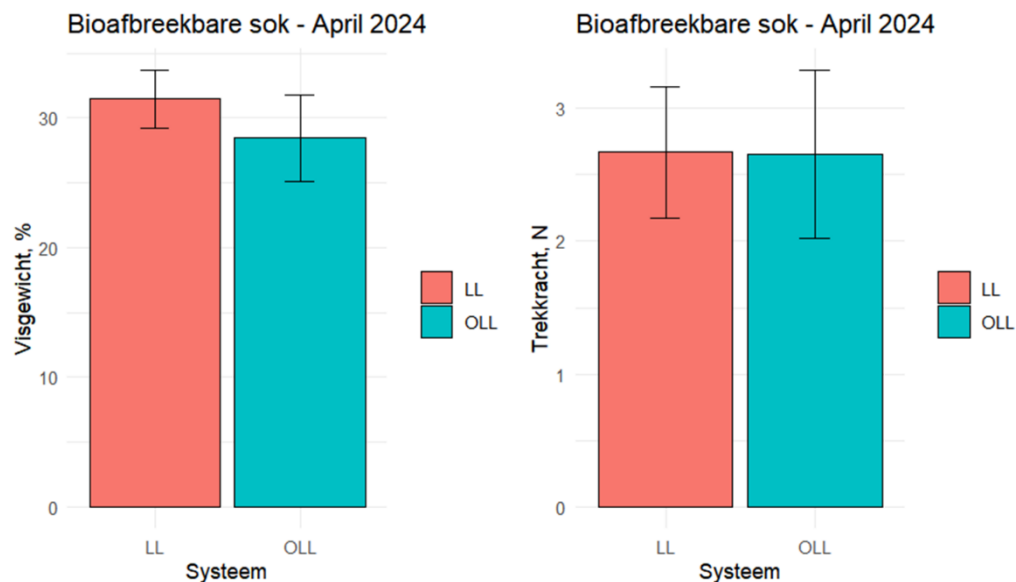
De conditie van de mosselen (uitgedrukt als percentage gekookt visgewicht) verschilde niet significant tussen de longline (LL) en de ondergedoken longline (OLL) zie Figuur 48. Er was echter een tendens zichtbaar waarbij de mosselen op de LL een iets betere conditie hadden ($p=0,054$). Het verschil in trekkracht werd eveneens getest, maar er was geen significant verschil tussen beide systemen (Figuur 48).



Figuur 46 Drijvend Powerloop substraat op 27 september 2023, 8 dagen na het insokken van de mosselen.



Figuur 47 Groeicurve van mosselbodenzaad uit de Oosterschelde, wat op 19 september 2023 is ingesokt met behulp van bioafbreekbare mosselsok die op 18 april nog steeds intact was. LL is de behandeling op de drijvende longline en OLL de behandeling op de ondergedoken longline.



Figuur 48 Linker paneel, gemiddeld gekookt gewicht per mossel en rechterpaneel de gemeten trekkracht nodig waarmee de mosselen vastgehecht waren voor de mosselmonsters van de drijvende longline (LL) en ondergedoken longline (OLL) voor de behandeling ingesokt bodemzaad Oosterschelde (okt 23), beide systemen zijn niet significant verschillen van elkaar.

Behandeling 2: het opsokken van halfwas mosselen uit de Oosterschelde, met het doel deze op te vetten.

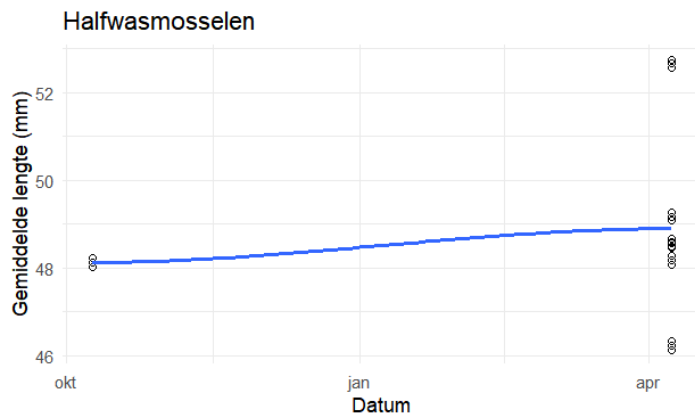
Net als bij de bodemzaadmosselen bleek dat in de behandelingen waarbij al wat grotere (halfwas) mosselen vanaf de bodem waren opgesokt, de mosselen zich onvoldoende hadden gehecht aan het substraat (Tabel 4). Doordat de mosselsok werd afgebroken, zijn vrijwel alle mosselen verloren gegaan, met uitzondering van de behandeling waarin een plastic sok werd gebruikt (Figuur 51e). Deze plastic sok breekt niet af, waardoor de mosselen niet van het touw konden vallen. Omdat de halfwasmosselen zich nauwelijks hechtten aan het substraat en plastic een glad materiaal is, gleden de mosselen naar beneden en bleven ze hangen op de plekken waar het wikkeltouwtje strak kwam te staan. Dit resulteerde in een heterogene verdeling van mosselen rond het substraat, met hier en daar flinke 'ballen' mosselen (Figuur 51b). Een groot deel van de mosselen in deze behandeling was dood bij de bemonstering in april 2024.

Tabel 4 Behandelingen waarbij halfwas van de Oosterschelde is ingesokt, inzet en de overleving (rood aangegeven = geen overleving).

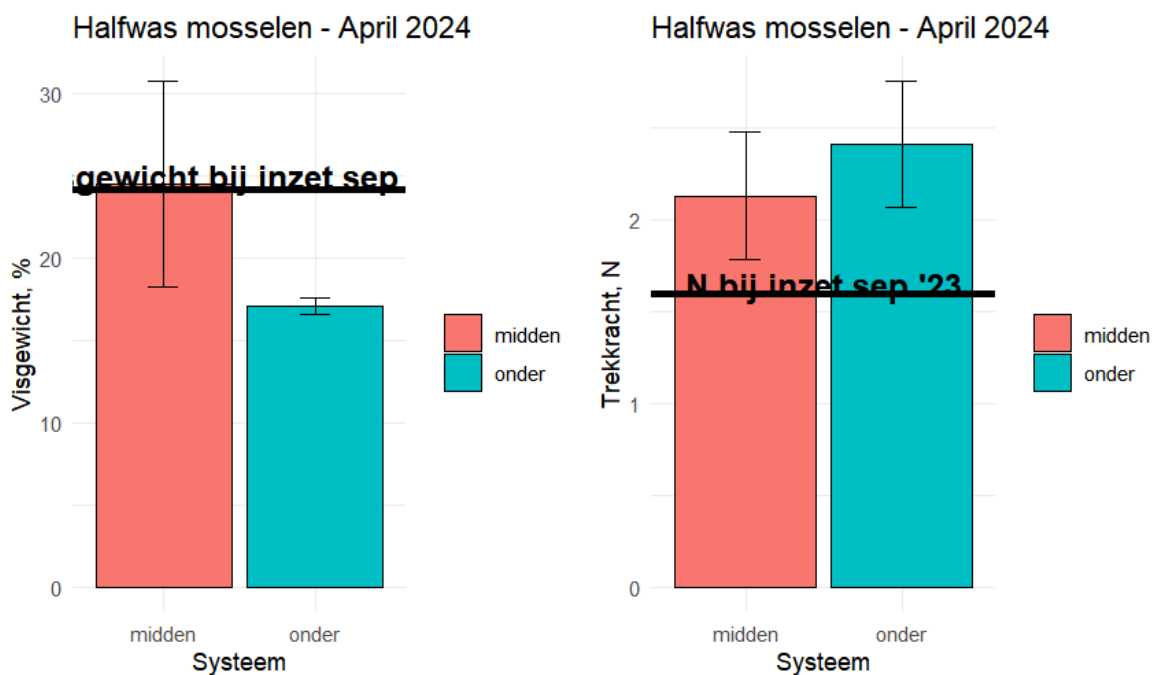
	Type	herkomst	Systeem	Touw	Sok	2023				2024											
						sep	okt	nov	dec	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
LL	Halfwas	Oosterschelde	Continu	Powerloop	Offshore																
LL	Halfwas	Oosterschelde	Droppers	Powerloop	Offshore																
LL	Halfwas	Oosterschelde	Continu	Powerloop	Mixsok																
LL	Halfwas	Oosterschelde	Droppers	Megaloop	Plastic																
LL	Halfwas	Oosterschelde	Continu	Megaloop	Plastic																
LL	Halfwas	Oosterschelde	Droppers	Powerloop	Plastic																
LL	Halfwas	Oosterschelde	Continu	Powerloop	Plastic																
LL	Halfwas	Oosterschelde	Droppers	Megaloop	Offshore																
LL	Halfwas	Oosterschelde	Continu	Megaloop	Offshore																
OLL	Halfwas	Oosterschelde	Droppers	Powerloop	Offshore																
OLL	Halfwas	Oosterschelde	Continu	Powerloop	Offshore																
OLL	Halfwas	Oosterschelde	Continu	Megaloop	Offshore																
OLL	Halfwas	Oosterschelde	Droppers	Megaloop	Offshore																
OLL	Halfwas	Oosterschelde	Droppers	Powerloop	Plastic																
OLL	Halfwas	Oosterschelde	Continu	Powerloop	Plastic																
OLL	Halfwas	Oosterschelde	Droppers	Megaloop	Plastic																
OLL	Halfwas	Oosterschelde	Continu	Megaloop	Plastic																

in deze periode mosselen waargenomen
mosselen verdwenen

Van de levende mosselen uit de mossel 'ballen' is een monster genomen op twee verschillende hoogtes: in het midden van het touw, op ongeveer 3,5 meter onder de hoofdlijn, en onderaan het touw, op circa 7 meter onder de hoofdlijn. Uit de groeicurve (Figuur 49) blijkt dat de mosselen tussen oktober 2023 en april 2024 nauwelijks zijn gegroeid (<1 mm). Omdat deze behandeling was gericht op het testen van de mogelijkheid om halfwassmosselen op te vetten, is het visgewicht een betere maatstaf dan de lengtegroei. Het visgewicht is in deze periode afgenomen, zonder significant verschil tussen de mosselen in het midden en onderaan de lijn (Figuur 49). Wel is het bekend dat visgewichten in april lager zijn als gevolg van de voortplanting. De treksterkte van de mosselen is in deze periode ook nauwelijks toegenomen (Figuur 49).

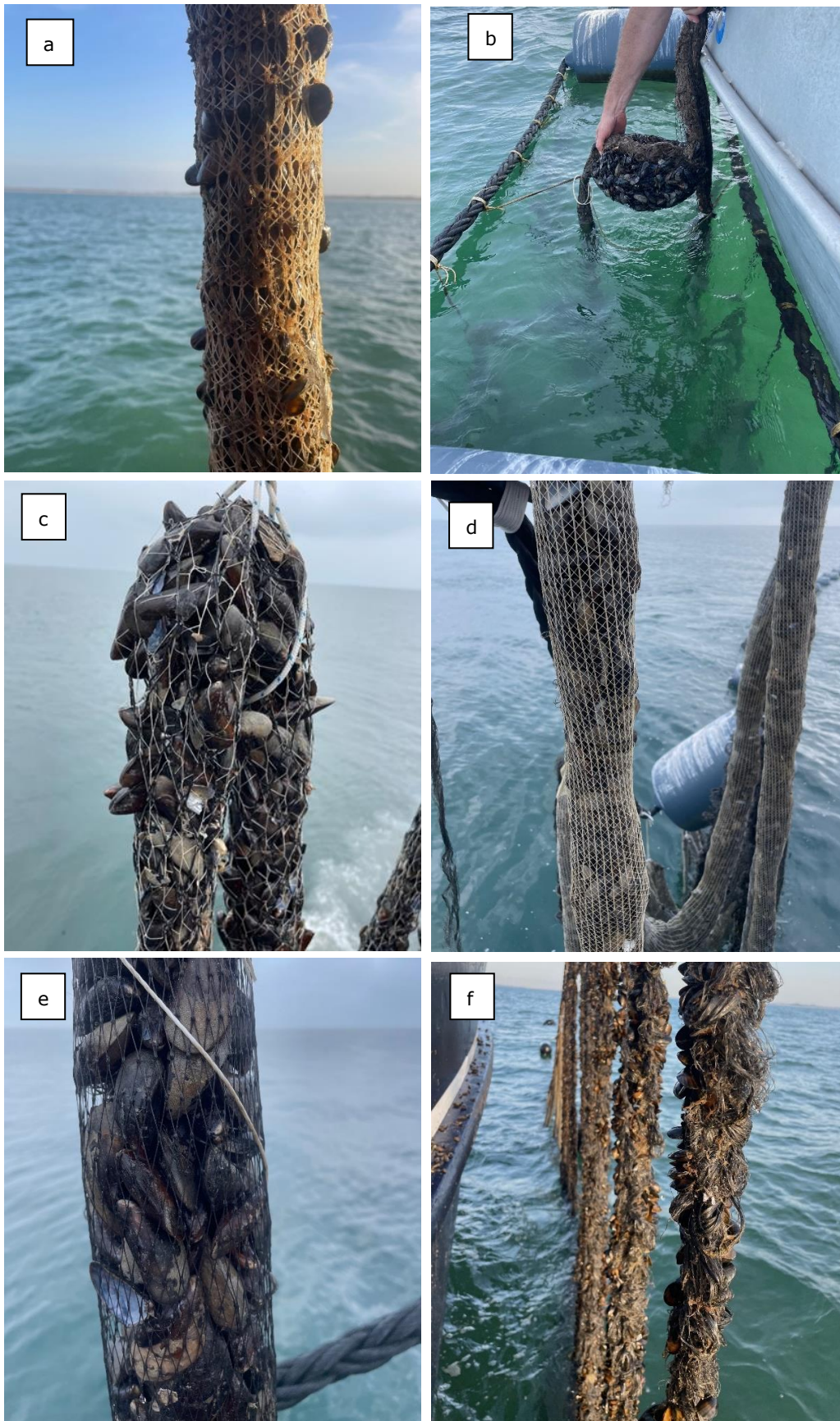


Figuur 49 Groeicurve van halfwassmosselen uit de Oosterschelde, op de ondergedoken longline die op 19 september 2023 zijn ingesokt met behulp van plastic sok die op 18 april nog intact was.



Figuur 50 Linker paneel, gemiddeld gekookt gewicht per mossel en rechter paneel de gemeten trekkracht nodig waarmee de mosselen vastgehecht waren voor de halfwassmosselen met plastic sok in de ondergedoken longline (OLL) beide systemen zijn niet significant verschillen van elkaar.

In de praktijk bleken droppers – dat zijn enkele, losse lijnen met substraat in plaats van doorgaande, doorlopende lijnen – erg arbeidsintensief te zijn. Daarom zijn er uiteindelijk minder droppers uitgezet dan oorspronkelijk gepland. Bij de oogst bleek bovendien dat veel droppers waren verdwenen. Dit komt doordat droppers, door hun grotere bewegingsvrijheid, na verloop van tijd losraken van de hoofdlijn.



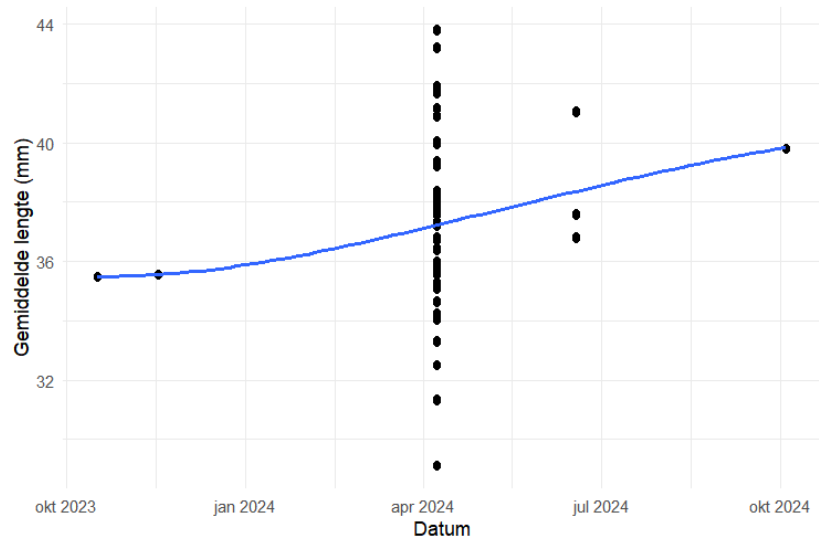
Figuur 51 a) Mosselzaad met bioafbreekbare sok na 182 dagen in het water, b) halfwasmosselen met plastic sok 9 dagen na opsokken, de mosselen zijn grotendeels naar beneden gezakt, c) opsokken van halfwasmosselen met mixed sok, d) opsokken van halfwasmosselen met Offshore sok, e) opsokken van halfwasmosselen met plastic sok, f) restant bodemmosselen Oosterschelde op megalooop touw 12 dagen na het opsokken.

Behandeling 3: het opsoeken van mosselen uit de hangcultuur

Tabel 5 Behandelingen waarbij mosselzaad van de hangcultuur uit het Grevelingen is ingesokt, inzet en de overleving (rood aangegeven = geen overleving).

							2023				2024											
	Type	herkomst	Systeem	Touw	Sok	sep	okt	nov	dec	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec	
LL	Zaad Hangcultuur	Grevelingen	Continu	Powerloop	Offshore																	
LL	Zaad Hangcultuur	Grevelingen	Continu	Powerloop	Mixsok																	
OLL	Zaad Hangcultuur	Grevelingen	Continu	Powerloop	Offshore																	
OLL	Zaad Hangcultuur	Grevelingen	Continu	Powerloop	Mixsok																	

Het materiaal dat in september 2023 was opgesokt, namelijk mosselzaad en halfwasmosselen van bodempercelen uit de Oosterschelde, was in oktober grotendeels verloren gegaan. Het onderliggende probleem leek te zijn dat de mosselen zich niet goed vasthechtten. Misschien had het leven op de bodem ze te 'lui' gemaakt. Om deze reden werd in oktober besloten om mosselen in te sokken die afkomstig waren uit een bestaande hangcultuur. Mosselen werden van een hangcultuurlijn in de Grevelingen gehaald en binnen 24 uur opnieuw opgesokt in de Voordelta, zie Tabel 5. Volgens hangcultuurkwekers zou deze methode goed moeten werken. Daarnaast werd ervoor gekozen niet langer met droppers te werken, omdat dit bij het uithangen en oogsten erg bewerkelijk en tijdrovend bleek te zijn. Bovendien was het succes hiervan erg laag. Er werd gebruikgemaakt van twee soorten sokmateriaal: de katoenen offshore sok (Figuur 51d) en de mixsok, (Figuur 51c) een sok die bestaat uit kunststof gaas met een geïntegreerde katoenen sok, het katoen breekt af en het kunststof functioneert als aanhechtingssubstraat, hierbij wordt dus geen touw gebruikt. De mixsok bleek echter niet effectief. Het katoen brak zeer snel af, waardoor de mosselen deels van de lijnen vielen voordat ze zich goed konden hechten. Bovendien raakte het lichte materiaal al snel verstrikt in ander substraat. De lijnen op de OLL en LL zijn uitgebreid bemonsterd in april 2024 en opnieuw in oktober 2024. In april waren er nog mosselen aanwezig op zowel de LL als de OLL, met een dichtheid van 293 mosselen per meter op de OLL en 270 mosselen per meter op de LL. Dat is een zeer lage dichtheid. Tijdens de zomer viel er mosselzaad tussen de mosselen, waardoor ze volledig werden overwoekerd. In oktober werden alleen bij de OLL nog mosselen uit de hangcultuur aangetroffen, met een dichtheid van circa 10 mosselen per meter, tussen het gevallen mosselzaad. Hier kan nog 1 mengmonster van genomen worden. De afname in aantallen reflecteert ook in het aantal monsters (Figuur 52).

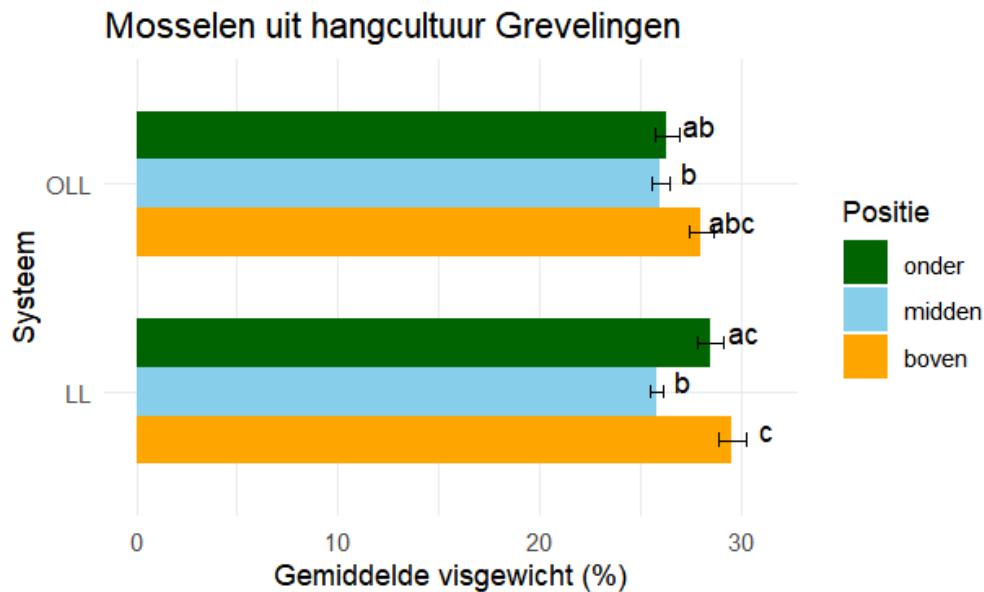


Figuur 52 Gemiddelde schelpenlengte (mm) aan de ondergedoken longline (OLL) over een periode van een jaar (2023-2024).

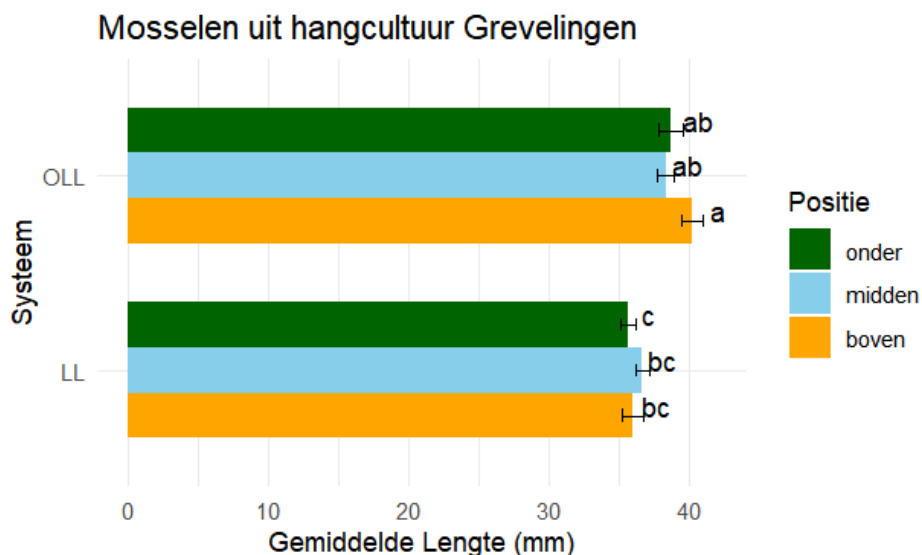
Figuur 53 toont het gemiddelde visgewicht (%) van mosselen uit de hangcultuur Grevelingen, uitgesplitst per systeem en positie op de lijn. Mosselen aan de bovenkant van de lijn hadden het hoogste visgewicht (~28%), bij de LL significant hoger dan die in het midden. Bij de ondergedoken longline (OLL) zijn de verschillen tussen posities kleiner (~26-27.5%). Er is geen significant effect van positie zoals bij de LL. Vergelijking tussen beide systemen laat zien dat mosselen op de bovenste positie van zowel LL en OLL beter presteren. De OLL toont daarentegen minder sterke verticale verschillen, wat duidt op een meer gelijkmatige groeisituatie binnen dit systeem.

Deze resultaten suggereren dat de drijvende longline een sterkere invloed ondervindt van factoren zoals voedselbeschikbaarheid en waterstroming bovenaan, terwijl de ondergedoken longline een stabielere groeiklimaat biedt over de gehele lijn.

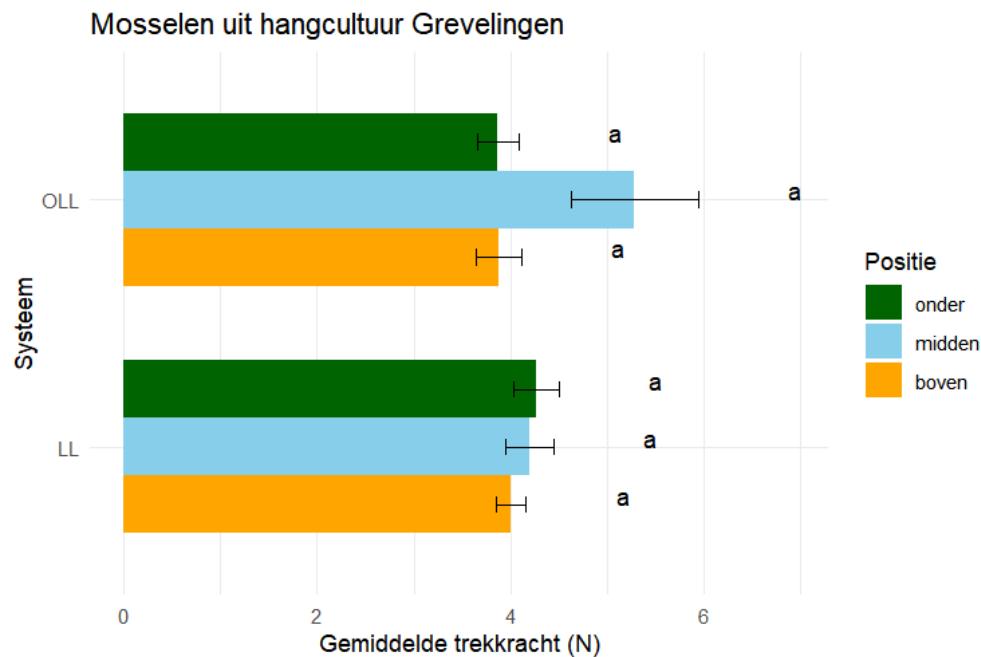
Bij de lengtes van de mosselen (Figuur 54) was te zien dat juist de mosselen op de OLL harder gegroeid zijn dan op de LL en significant langer zijn. Bij de treksterkte (Figuur 55) is geen significant verschil te zien tussen de locaties en systemen. Samenvattend lijken de mosselen op de LL minder sterk te groeien dan op de OLL, dit kan komen door inhibitie van groei door de hogere dynamiek door golfwerking op de LL.



Figuur 53 Gemiddelde visgewichten (%) aan de twee verschillende systemen (OLL&LL) van ingesokt mosselzaad uit de hangcultuur.



Figuur 54 Gemiddelde schelpenlengte (mm) aan de twee verschillende systemen (OLL&LL) van ingesokt mosselzaad uit de hangcultuur.



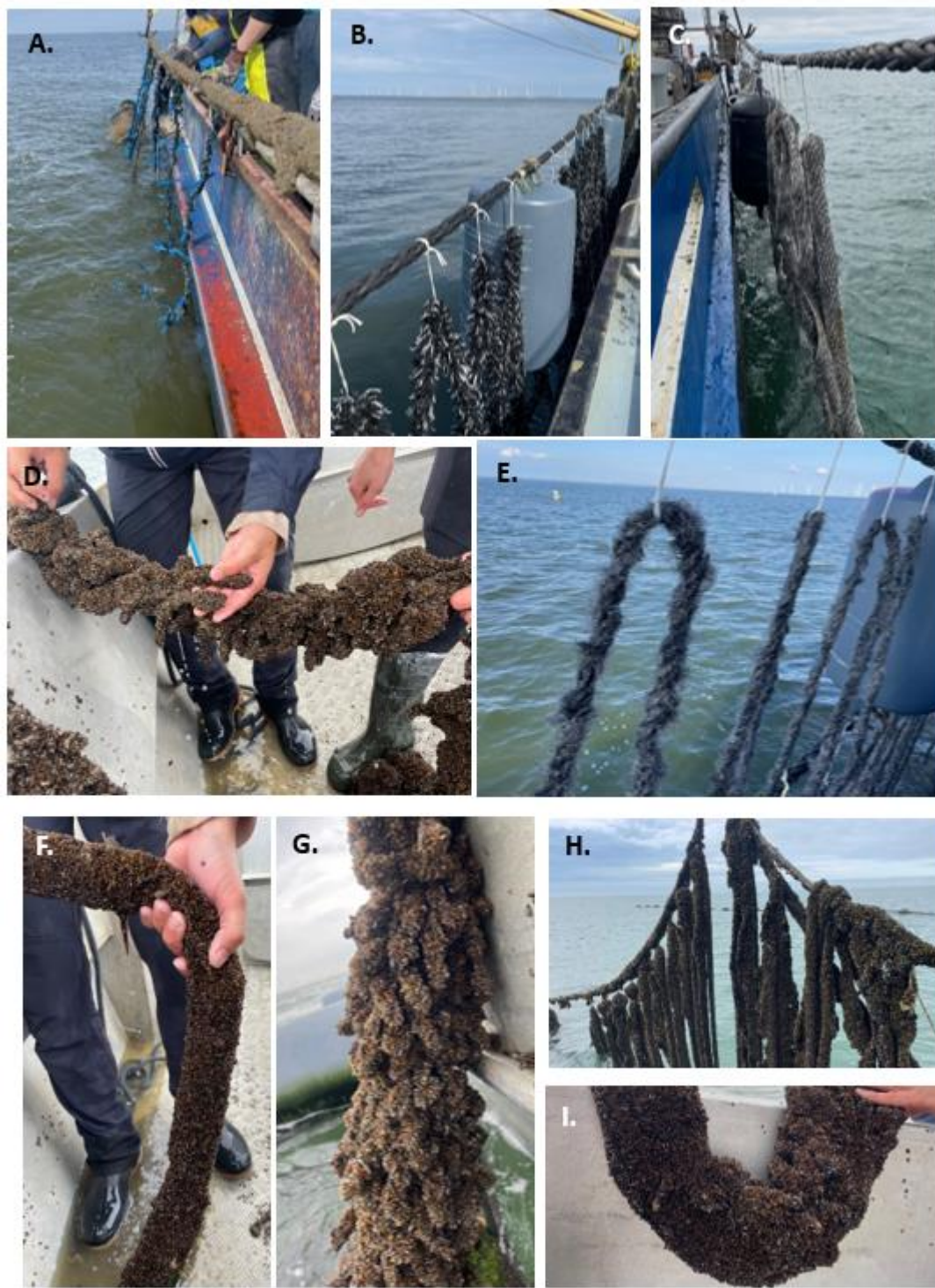
Figuur 55 Gemiddelde treksterkte (N) van de aanhechting van de mosselen aan de twee verschillende systemen (OLL&LL) van ingesokt mosselzaad uit de hangcultuur.

Behandeling 4 het invangen van mosselzaad op locatie en dit na oogst opsokken

Tabel 6 Verschillend uitgehangen substraatmateriaal aan de verschillende systemen en het terugvinden van de materialen (rood aangegeven = niet teruggevonden).

						2023				2024											
						sep	okt	nov	dec	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
LL	Zaadval	Voordelta	Continu	Donaghys	Sok																
LL	Zaadval	Voordelta	Continu	Short cut loop																	
LL	Zaadval	Voordelta	Continu	Cut loop																	
LL	Zaadval	Voordelta	Continu	Spaans looped																	
LL	Zaadval	Voordelta	Continu	Spaans rope																	
LL	Zaadval	Voordelta	Continu	Pegs																	
OLL	Zaadval	Voordelta	Continu	Donaghys																	
OLL	Zaadval	Voordelta	Continu	Short cut loop																	
OLL	Zaadval	Voordelta	Continu	Cut loop																	
OLL	Zaadval	Voordelta	Continu	Spaans looped																	
OLL	Zaadval	Voordelta	Continu	Spaans rope																	
OLL	Zaadval	Voordelta	Continu	Pegs																	
OLL	Zaad	Voordelta	Continu	Megalooop	Offshore																
OLL	Zaad	Voordelta	Continu	Spaans rope	Offshore																
LL	Zaad	Voordelta	Continu	Megalooop	Offshore																

In april 2024 zijn aan zowel de drijvende als de ondergedoken longline een aantal lijnen bevestigd met als doel mosselzaad in te vangen, zie Tabel 6. Er zijn verschillende soorten substraat toegepast, waaronder Donaghys invangtouw (Figuur 56E), short cut loop-touw, cut loop-touw en twee soorten Spaans touw (Figuur 56B). Daarnaast zijn touwen met pegs bevestigd (Figuur 56A). Het mosselzaad dat zich hierop nestelt, kan uitgroeien tot consumptiemosselen zonder dat oogsten en opsokken nodig is. De pegs zorgen ervoor dat de mosselen niet van het touw afglijden. Alle genoemde substraten hebben uitstekend mosselzaad ingevangen; het zaad vormde een dikke, uniforme laag op het touw (Figuur 56D/F/G/H&I).



Figuur 56 A) Uithangen van touwsubstraat met peps. B) Spaans touw. C) Mosselzaad ter plaatse geoogst en ingesokt, teruggehangen. D) Mosselzaad op het cut loop-substraat. E) Donaghys invangssubstraat. F) Mosselzaad op het short cut loop-substraat. G) Cut loop-substraat. H) Mosselzaad tijdens het oogsten van een ondergedoken longline (let op de knopen). I) Mosselzaad op het Spaanse touw.

Door de grote zaadval en de daaropvolgende groei werden de lijnen al snel zwaar. Vanwege planning en technische redenen was het pas mogelijk om in oktober te oogsten. Voor de meeste typen substraat op de dubbele (drijvende) longline bleek dit te laat. Tijdens het oogsten hing alleen nog het short cut loop-substraat aan de hoofdlijn. Doordat dit substraat kleine zijdraden heeft en een relatief klein oppervlak voor vestiging biedt, viel hier minder zaad op dan op de andere substraten, waardoor het minder zwaar was, zie Tabel 6.

Bij de ondergedoken longline werden de touwen met mosselen zo zwaar dat het systeem deels op de bodem belandde. Hoewel het substraat aan de hoofdlijn bleef hangen, raakten de touwen vaak in de knoop of ondervonden ze veel schade door vraat door zeesterren (Figuur 57).



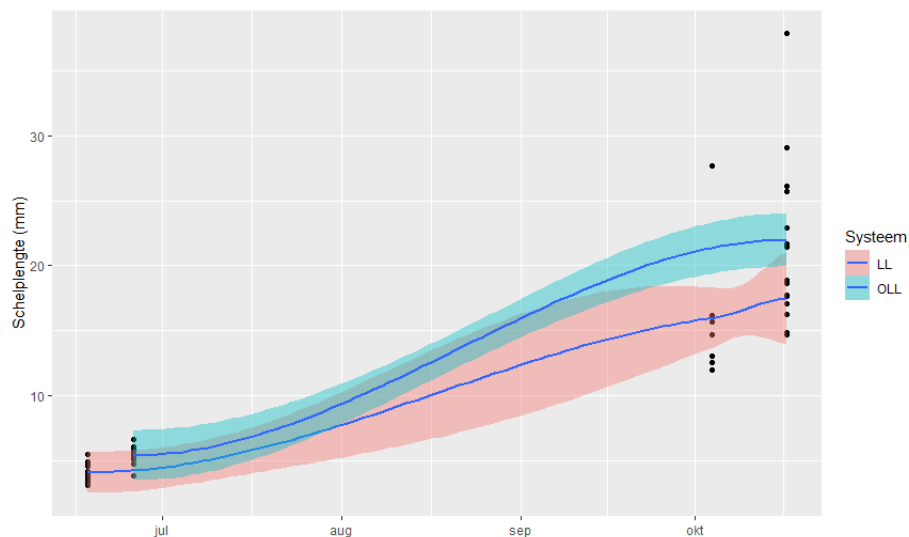
Figuur 57 Lijnen met mosselzaad die in de knoop zijn geraakt doordat ze op de bodem terechtkwamen, en zeesterren die vanaf de grond omhoog zijn gekropen op de lijnen.

Bij de eerste bemonstering van het nieuwe zaad in juni waren de mosselen nog zeer klein, meestal onder de 5 mm. In

Figuur 58 is te zien dat de lengte van het zaad op zowel de drijvende als de ondergedoken longline snel toenam. Bij de laatste bemonstering in oktober was het zaad op de ondergedoken longline uitgegroeid tot een gemiddelde lengte van 22 mm, terwijl het zaad op de drijvende longline een gemiddelde lengte van 17 mm bereikte, dit verschil is significant (t -test: $t = -2,77$, $df = 10$, $p = 0,02$,).

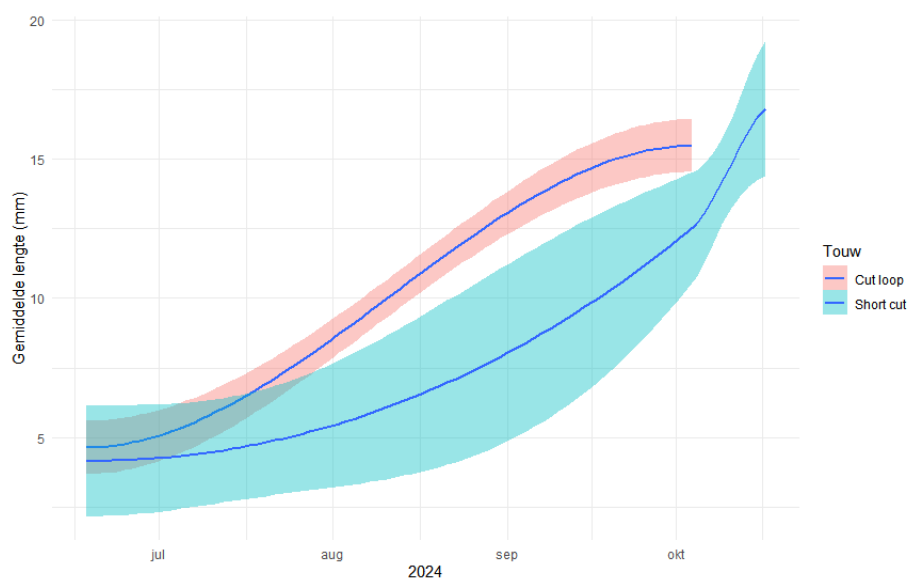
De verschillende soorten touw waarop het zaad is ingevangen, konden alleen voor de ondergedoken longline worden vergeleken. Bij de drijvende longline was bij de oogst namelijk nog maar één type touw over (Figuur 59). Op de ondergedoken longline werden echter duidelijke verschillen waargenomen tussen de typen touw (Figuur 60, ANOVA: $p < 0,001$). Het viel op dat de mosselen op de geloopte typen touw (doorgeluste zijdraden) het kleinste waren en dat deze lengtes onderling nauwelijks verschilden (). Daarentegen groeiden de mosselen op het Spaanse touw en de pegs het best; deze waren significant groter dan de mosselen op het geloopte touw (Tukey HSD: $p < 0,05$). De mosselen op het Donaghys-touw hadden een lengte die tussen de andere twee clusters in lag, maar er werd geen significant verschil gevonden tussen dit touw en de andere typen substraat op de ondergedoken longline.

Zowel de trekkracht (Figuur 62) als het visgewicht (Figuur 63) waren significant hoger op de drijvende longline dan op de ondergedoken longline ($p < 0,05$). De hogere trekkracht kan worden verklaard door de intensere beweging van het substraat op de longline, veroorzaakt door de aanzienlijk krachtigere golven en stroming boven in de waterkolom. Het hogere visgewicht is waarschijnlijk het gevolg van een groter voedselaanbod en een hogere temperatuur in de bovenste lagen van de waterkolom.



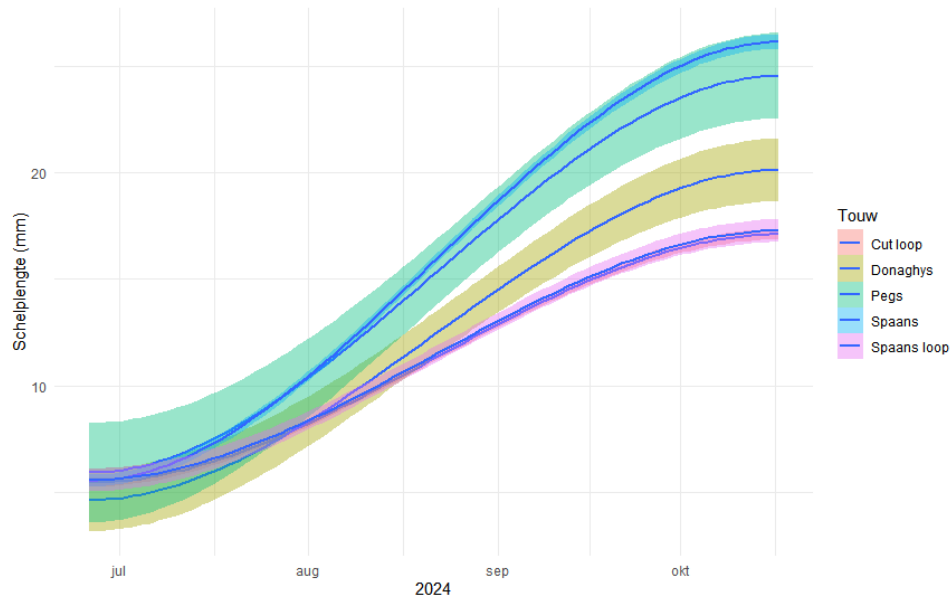
Figuur 58 Groei in schelpenlengte van mosselbroed 2024 op de drijvende longline (LL) en op de ondergedoken longline (OLL).

Drijvende longline



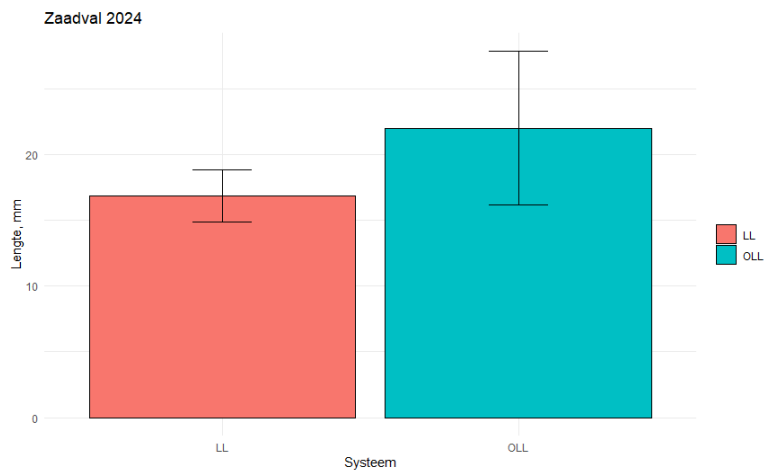
Figuur 59 Groei in schelpenlengte van mosselbroed 2024 op de drijvende longline (LL) op de twee overgebleven typen touw substraat.

Ondergedoken longline

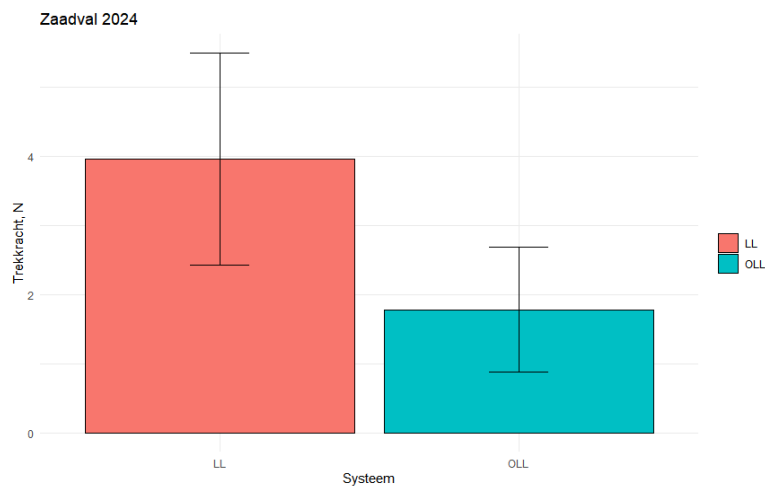


Figuur 60 Groei in schelpenlengte van mosselbroed 2024 op de ondergedoken longline (LL) op de diverse typen touw substraat.

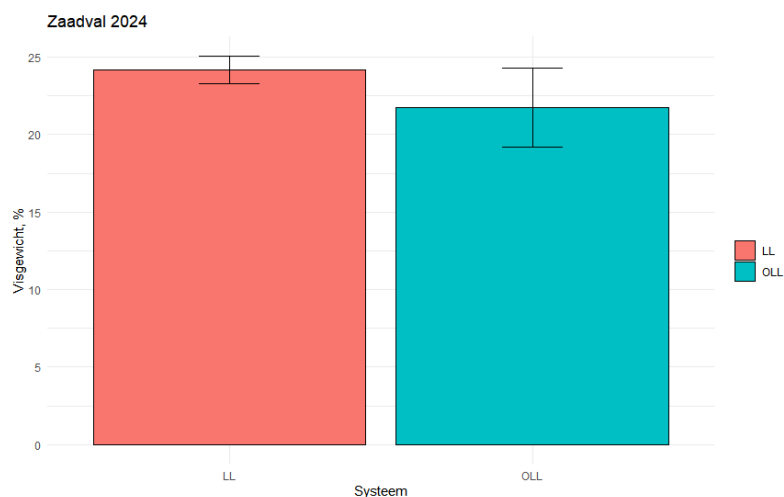
Laatste monitoring op 17 oktober 2024



Figuur 61 Lengte van het mosselzaad bij de laatste monitoring (oogst) op 17 oktober 2024.



Figuur 62 Trekkkracht die nodig is het mosselzaad van het substraat te verwijderen (N) voor de drijvende longline (LL) en de ondergedoken longline, bij oogst op 17 okt 2024.

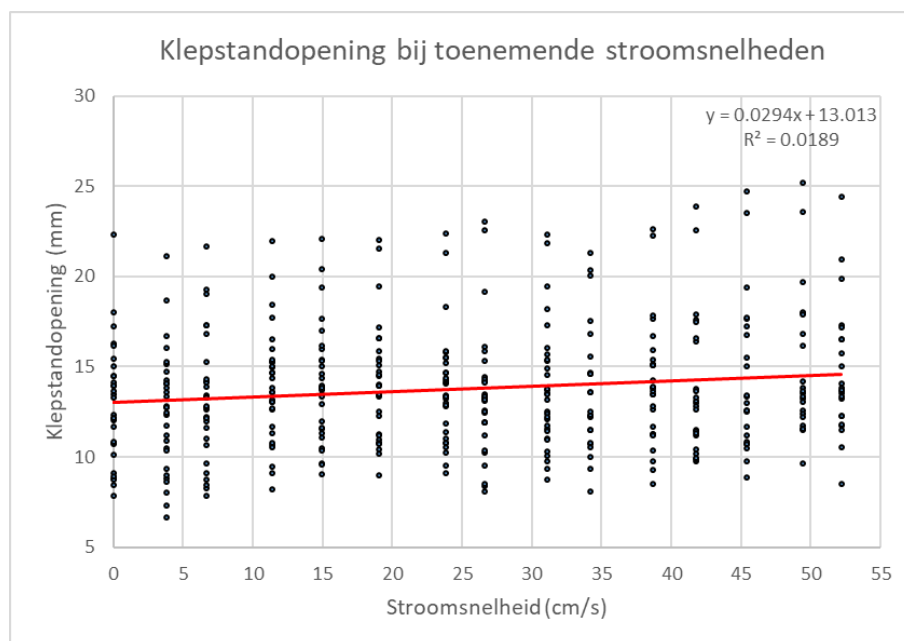


Figuur 63 Het visgewicht (%) van het mosselzaad op de drijvende longline (LL) en de ondergedoken longline, bij oogst op 17 okt 2024.

3.2.3 Laboratoriumexperimenten:

Experiment 1 - Effect van stroming

Op de pilotlocatie worden hoge stroomsnelheden gemeten, tot wel 2.0 m/s. In de literatuur (Nielsen and Vismann, 2014) is terug te vinden dat mosselen hun klep (twee mosselschelpen) sluiten als er hogere stroomsnelheden (>0.6m/s) aanwezig zijn. Met deze gedachte is er een experiment uitgevoerd waarbij de klepstand (opening) van gebiedseigen mosselen bekeken is bij verschillende stroomsnelheide met een maximum van 0.53 m/s (max. flume settings).



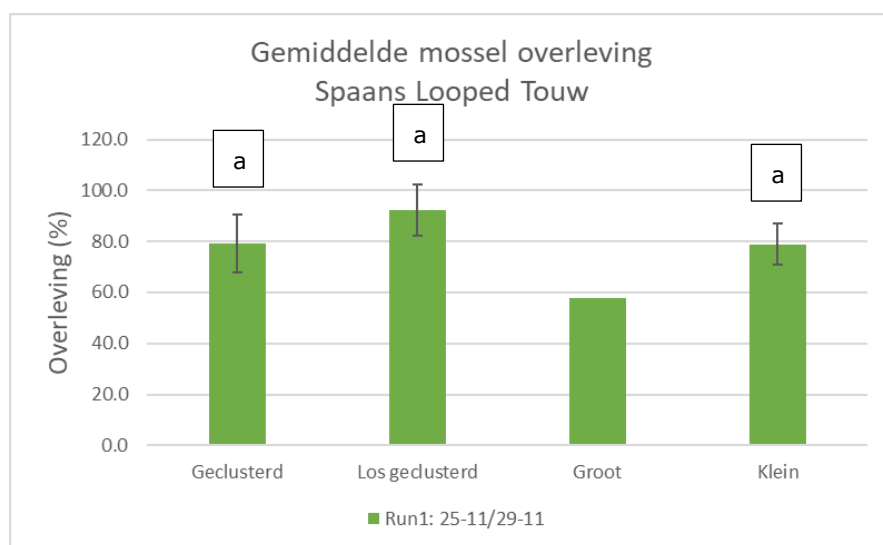
Figuur 64 Gemeten klepstandopeningen in mm uitgezet tegen de stroomsnelheid in cm/s, $n=30$ mosselen.

De resultaten in Figuur 64 tonen niet aan dat de klepstand van mosselen afneemt bij toenemende stroomsnelheid. Integendeel, de regressielijn laat een lichte toename zien. De R^2 -waarde van 0,0189 geeft echter aan dat er slechts een zeer zwakke relatie is tussen de klepstandopening en stroomsnelheid. Er is dus geen duidelijk verband gevonden tussen deze twee variabelen.

Experiment 2 - Predatie van krabben op locatie ingevangen mosselen

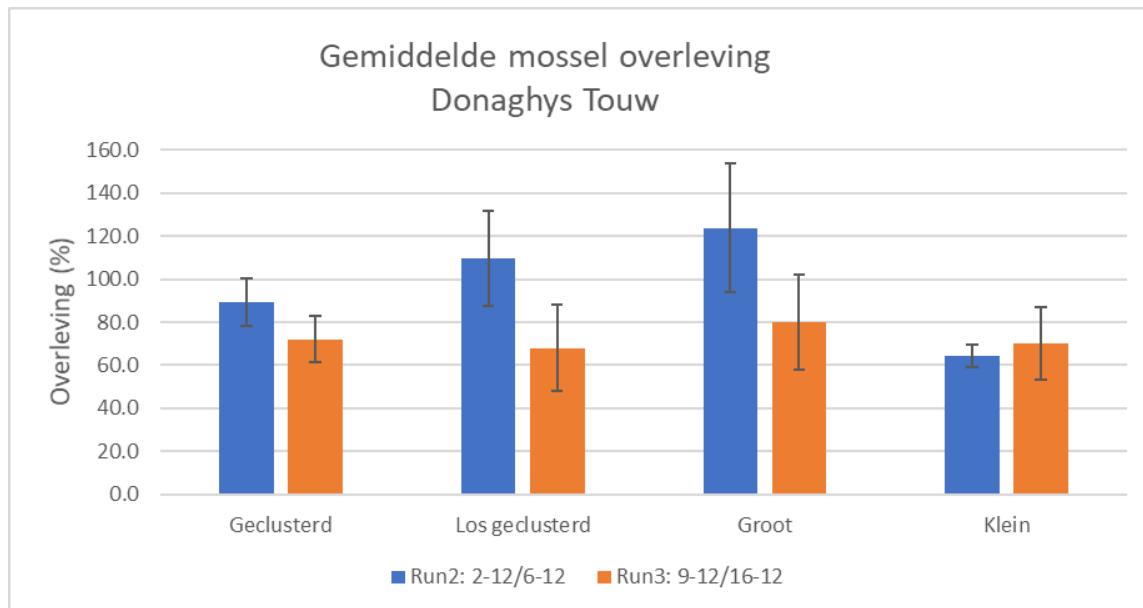
Om aan te tonen of er eventueel minder predatie, door krabben, plaatsvindt op mosselen ingevangen op de pilotlocatie is er een predatie experimenten uitgevoerd.

In totaal zijn er 4 runs uitgevoerd waarbij een gelijke hoeveelheid mosselen (in gram) blootgesteld zijn aan krabben, met een tijdsduur van 5 dagen, waarbij de predatie op mosselen van 3 verschillende touwsoorten in onderzocht. Na de afloop van een run is bepaald hoeveel gram overleving er per mosseltype per tank aanwezig was, welke gerelateerd is aan het percentage overleving.



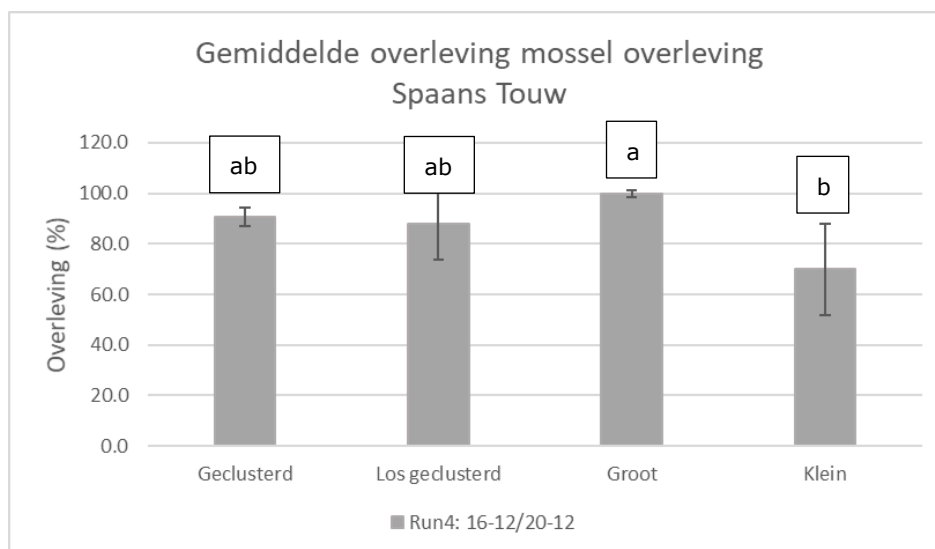
Figuur 65 Gemiddelde mossel overleving van het Spaanse loopde touw, geclusterd $n=4$, los geclusterd $n=2$, groot $n=1$ & klein $n=4$. Sd is weergegeven.

Figuur 65 toont de procentuele overleving van de verschillende type mosselen afkomstig van het Spaans looped touw. Hieruit blijkt dat de krabben gepredeerd hebben op alle mosseltypes, waarbij er geen significant verschil ($p > 0.05$) werd waargenomen tussen de verschillende mosseltypes. Mosseltype 'groot' is hierbij buiten beschouwing gehouden omdat deze maar uit slechts een waarneming bestond.



Figuur 66 Gemiddelde mossel overleving van het Donaghys touw. Run 2: geclusterd $n=4$, los geclusterd $n=3$, groot $n=3$ & klein $n=4$. Run 3 $n=4$ voor alle mosseltypes. Sd is weergegeven.

In Figuur 66 wordt de overleving (%) van run 2 & 3 van de verschillende mosseltypes afkomstig van het Donaghys touw weergegeven. In run 2 werd niet in alle tanks op de los geclusterde en op de losse grote mosselen gepredeerd. Doordat de inzet is gebaseerd op het asvrijdrooggewicht, gerelateerd aan het versgewicht, kan het voorkomen dat het versgewicht van de overlevende mosselen hoger ligt dan bij de inzet. Dit kan voorkomen als mosselen meer water in de schelpen bevat bij de eindweging top van de begin weging waardoor de overleving boven de 100% uitkomt. Er werd een significant verschil waargenomen tussen de grote en kleine mosselen ($p = 0,007$), terwijl er geen significant verschil werd vastgesteld met de andere mosseltypen. In run 3 werd op alle mosseltypen gepredeerd en werd geen significant verschil waargenomen ($p > 0,05$).



Figuur 67 Gemiddelde mossel overleving van het Spaans looped touw. $n=4$ voor alle behandelingen. Sd is weergegeven.

De overleving van run 4 van de mosseltypes afkomstig van Spaans looped touw wordt weergegeven in Figuur 67. Hierbij lijkt er niet gepredeerd op het mosseltype 'groot', 100% overleving. Er werd een significant verschil ($p=0.016$) waargenomen tussen mosseltype 'groot' en 'klein'.

3.3 Werkpakket 3 – Ecosysteem effecten

3.3.1 Vogeltellingen

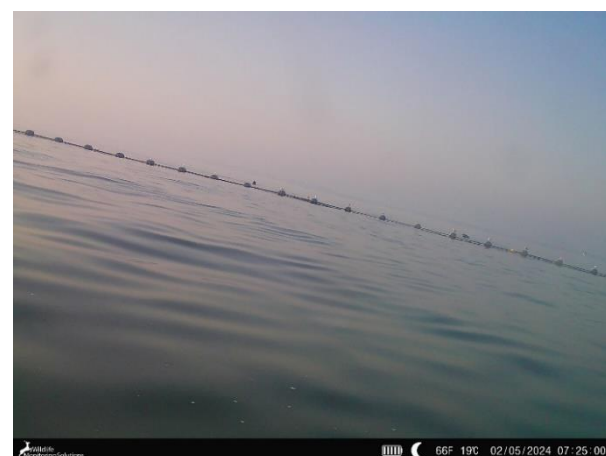
De drijvende boeien, van vooral de dubbele longline, zijn vrijwel altijd bezet door verschillende vogelsoorten. Tijdens werkzaamheden en monitoring op locatie zijn, wanneer een onderzoeker met vogelkennis aanwezig was, aantekeningen gemaakt van de vogelsoorten die zich op de systemen bevonden. Dit wordt ook duidelijk geïllustreerd door de foto's die met de wildcamera zijn gemaakt (zie ter illustratie Figuur 68).

De vogel soorten die gebruik maken van de longlines zijn zilvermeeuw, kleine mantelmeeuw, grote stern en steenloper. Uit kustbroedvogeltellingen blijkt dat er kolonies van zowel de kleine mantelmeeuw als de zilvermeeuw aanwezig zijn op het werkeiland Neeltje Jans. Voor de grote stern bevinden de dichtstbijzijnde kolonies zich bij de Hoge Platen in de Westerschelde en bij de Maasvlakte. De gepresenteerde data in Tabel 7 Losse waarnemingen van vogels op en rondom de pilot is exemplarisch en bedoeld om aan te tonen dat vogels de systemen gebruiken en welke soorten dit voornamelijk doen. In de tabel staat aangegeven welke werkzaamheden tijdens de waarnemingen zijn uitgevoerd. Over het algemeen viel op dat de vogels pas opvlogen wanneer de boot zeer dichtbij kwam of er daadwerkelijk aan de systemen werd gewerkt. Meestal verplaatsten zij zich dan naar het andere uiteinde van het systeem, waar zij opnieuw op de boeien neerstreken. Een meer systematische analyse zou kunnen worden uitgevoerd door de wildcamerbeelden te analyseren, deze beelden zijn opgeslagen maar de analyse is vanwege tijd- en kostentechnische redenen niet gedaan.

Tabel 7 Losse waarnemingen van vogels op en rondom de pilot.

Datum	Tijd	Aantal	Soort	Activiteit	Werkzaamheden
6-12-2023	08:50	2	Jan van Gent	Vliegen	Werkzaamheden met mosselboot
6-12-2023	09:20	11	Zilvermeeuw	Vliegen	Dreggen grote boot (YE62)
6-12-2023	09:20	2	Stormmeeuw	Vliegen	Dreggen grote boot (YE62)
6-12-2023	10:30	2	Zilvermeeuw	Op boeien LL	Dreggen grote boot (YE62)
6-12-2023	11:00	2	Zwarte zee-eend	Vliegen	Dreggen grote boot (YE62)
5-03-2024	na	6	Grote Stern	Op boeien LL	Monitoring kleine boot
9-03-2024	08:30	1	Zilvermeeuw (adult)	Op boeien LL	Monitoring kleine boot
9-03-2024	08:30	4	Zilvermeeuw/Kleine Mantelmeeuw (juveniel)	Op water langs boeien	Monitoring kleine boot
9-03-2024	08:42	1	Gewone zeehond	In water langs boeien	Monitoring kleine boot
19-3-2024	12:25	1	Steenloper	Op boeien LL	Monitoring kleine boot
19-03-2024	12:25	4	Grote Stern	Op boeien LL	Monitoring kleine boot
8-04-2024	11:06	29	Grote Stern	Op boeien LL	Werkzaamheden met mosselboot
8-04-2024	11:51	47	Grote Stern	Op boeien LL	Werkzaamheden met mosselboot
8-04-2024	14:19	17	Grote Stern	Op boeien LL	Werkzaamheden met mosselboot
Datum	Tijd	Aantal	Soort	Activiteit	Werkzaamheden
8-04-2024	14:19	2	Zilvermeeuw (adult)	Op boeien LL	Werkzaamheden met mosselboot

8-04-2024	15:23	19	Zilvermeeuw/Kleine Mantelmeeuw (juveniel)	Op boeien LL	Werkzaamheden met mosselboot
8-04-2024	15:23	2	Zilvermeeuw (adult)	Op boeien LL	Werkzaamheden met mosselboot
30-04-2024	11:03	17	Grote Stern	Op boeien LL	Werkzaamheden met mosselboot
30-04-2024	11:03	1	Zilvermeeuw/Kleine Mantelmeeuw (juveniel)	Op boeien LL	Werkzaamheden met mosselboot
30-04-2024	11:03	1	Zilvermeeuw (adult)	Op boeien LL	Werkzaamheden met mosselboot
18-06-2024	10:30	5	Grote Stern	Op boeien LL	Monitoring kleine boot
18-06-2024	10:30	1	Grote mantelmeeuw (adult)	Op boeien LL	Monitoring kleine boot
18-06-2024	10:30	1	Zilvermeeuw/Kleine Mantelmeeuw (juveniel)	Op boeien LL	Monitoring kleine boot
31-10-2024	10:00	42	Zilvermeeuw/Kleine Mantelmeeuw	Op boeien LL	Monitoring kleine boot
30-10-2024	10:00	16	Zilvermeeuw/Kleine Mantelmeeuw	Op boeien LL	Monitoring kleine boot
17-10-2024	14:58	3	Steenloper	Op boeien LL	Werkzaamheden met mosselboot
17-10-2024	14:58	7	Grote Stern	Op boeien LL	Werkzaamheden met mosselboot
16-10-2024	12:12	7	Grote stern	Op boeien LL	Werkzaamheden met mosselboot
4-10-2024	10:00	1	Steenloper	Op boeien LL	Werkzaamheden met mosselboot
4-10-2024	12:00	1	Steenloper	Op boeien LL	Werkzaamheden met mosselboot
4-10-2024	12:00	3	Grote Stern	Op boeien LL	Werkzaamheden met mosselboot
4-10-2024	14:00	7	Grote Stern	Op boeien LL	Werkzaamheden met mosselboot
4-10-2024	14:00	3	Zilvermeeuw/Kleine Mantelmeeuw (juveniel)	Op boeien LL	Werkzaamheden met mosselboot



Figuur 68 Foto's van de dubbelde longline, met camera genomen en beelden van de wildcamera, die laten zien dat vogels veel gebruik maken van de drijvende structuren.

3.3.2 Vissen:

Tijdens de periode, dat er mosselijnen aan de drijvende longline (LL) gehangen hebben, heeft er een groot deel van de tijd een onderwater cameraframe tussen deze lijnen gehangen met daarin een GoPro die ieder uur een foto heeft genomen, zie Figuur 69. Hierbij was het doel om beeldmateriaal vast te leggen van de vissen die de hangcultuursystemen gebruiken als biotoop.



Figuur 69 Onderwater cameraframe met daarin een GoPro camera die time-lapse foto's neemt (een per uur), bevestigd tussen de mosselijnen aan de drijvende longline (LL).

Doordat het doorzicht van het water op de pilotlocatie op de voordelta vaak zeer slecht is er slechts beperkt bruikbaar fotomateriaal. Daarnaast is er voldoende daglicht nodig om goed zicht te hebben, welke in de wintermaanden ook beperkt is. Hierdoor zijn er slechts enkele bruikbare foto's met beeld, Figuur 70. Op deze beelden zijn geen vissen waargenomen.



Figuur 70 Onderwaterbeelden gemaakt met een GoPro in het onderwaterframe.

De verwachting is wel dat er op en rond de pilotlocatie onder andere Zeebaars (*Dicentrarchus labrax*), Wijting (*Merlangius merlangus*), Geep (*Belone belone*) en Makreel (*Scomber scombrus*) zwemmen (Tonk et al. 2025). Deze aanname wordt gemaakt omdat er tijdens alle vaarmomenten veelvuldig activiteiten waargenomen zijn van sportvissers rond de pilotlocatie. Daarnaast zijn er tussen de invangtouwen geregeld haken en draden, van deze sportvissers, aangetroffen.

Tijdens het oogsten van de mosselijnen zijn er wel vele kleine straalvinnige vissen aangetroffen, zoals de Puitaal of Magge (*Zoarces viviparus*) en de botervis (*Pholis gunnellus*). Deze leven tussen de mosselen aan de lijnen waar ze beschermd zijn tegen predatoren en kwamen tijdens het oogsten met de mosselijnen mee aan boord. Doordat het oogsten van de lijnen in snel tempo gaat is het niet mogelijk geweest hiervan de aantallen te tellen of foto's te maken waardoor het alleen als waarneming meegenomen kan worden.

4 Discussie

In het kader van het Mosselconvenant is afgesproken om in de periode 2022-2024 een aanvang te maken met het onderzoeken van de mogelijkheden van de kweek van mosselhangcultuur in de Voordelta. Het Mosselconvenant is een afsprakenkader tussen het Ministerie van LNV, natuurorganisaties (Waddenvereniging, Vogelbescherming, Natuurmonumenten, Stichting Wad) en de Producentenorganisatie van de Nederlandse Mosselcultuur. In het convenant (2008-2020) en het daarbij behorende addendum (december 2020-2029) zijn de volgende afspraken vastgelegd: De bodemmosselzaadvisserij in de Waddenzee zal verder worden afgebouwd via een 50%-sluiting in 2022 en een 65%-sluiting in 2026. Partijen hebben de ambitie uitgesproken om in 2029 het definitieve besluit tot 100% beëindiging te nemen. Ook zijn gezamenlijk afspraken gemaakt over projecten voor natuurherstel in de Waddenzee en een pilot van mosselkweek in de Voordelta/Noordzee. Voorliggende subsidieaanvraag heeft betrekking op deze pilot.

De reden voor de pilot is de wens om te onderzoeken of mosselkweek in de Voordelta/Noordzee mogelijk is. De afgelopen drie decennia is zowel volume als kwaliteit van de Nederlandse mosselproductie substantieel gedaald. Een trendbreuk is noodzakelijk voor het voortbestaan van de sector en het investeren in de in het mosselconvenant afgesproken transitie. Hangcultuur op zee kan hieraan bijdragen. In het buitenland (o.a. Verenigd Koninkrijk, Portugal) vinden inmiddels min of meer succesvolle projecten plaats, waaruit blijkt dat mosselkweek in hangcultures op zee technisch mogelijk zijn, ook vinden er pilots plaats in Duitsland en België. Wel laten deze projecten in het buitenland zien dat de omstandigheden op de specifieke locatie zeer bepalend zijn voor het slagen van de kweek met de gebruikte technieken (het project van Offshore Shellfish Ltd is vele jaren op verschillende locaties bezig geweest voordat er succesvol mosselen gekweekt werden aan de zuidkust van het VK). Kennis over kweektechnieken in het buitenland is meegenomen in de keuze van de te testen technieken in de Voordelta.

In de periode 2022-2024 is, na een intensief voortraject voor de vergunningverlening, een pilot uitgevoerd in de Voordelta, Oude Roompot. Het doel van deze pilot was om te onderzoeken welke technieken het meest geschikt zijn voor mosselhangcultuur op open zee en welke factoren meegewogen moeten worden bij verdere opschaling in de toekomst. De primaire waarde van de projectresultaten is een ontwikkelingsperspectief voor mosselkweekbedrijven die verder willen investeren in mosselhangcultures op zee. Waar de insteek van de pilot zich voornamelijk richtte op technische aspecten, werd al vroeg in het traject duidelijk dat het op orde krijgen van de randvoorwaarden, met name het vaststellen van een geschikte locaties en het verkrijgen van vergunningen, een uitdagend proces.

4.1 Locaties

Ruimte is in Nederland schaars, ook op zee. Het vinden van locaties waar op redelijke schaal mosselhangcultuur kan worden gerealiseerd, vormt dan ook een uitdaging. De uiteindelijke gekozen pilotlocatie bleek behoorlijk dynamisch, met gemeten oppervlaktestroomsnelheden van 2,5 m/s en golfhoogtes tot circa 2,8 meter. Uit de acceleratiesensordata blijkt dat het substraat met mosselen aanzienlijke uitslagen maakt, waarbij het onderste deel van de lijn uitslagen tot 150 graden over het getij laten zien. Dit maakte het mogelijk om de kansen voor mosselhangcultuur op open zee te testen onder zeer uitdagende omstandigheden.

De resultaten met betrekking tot mosseloverleving en -groei tonen aan dat deze omstandigheden een aanzienlijke invloed hebben op het succes en de kweekpotentie. Mosselen afkomstig van bodempercelen in de Oosterschelde bleken zich onder deze omstandigheden onvoldoende te kunnen hechten. De overleving van mosselen afkomstig van hangcultuursystemen van een beschutte locatie (Grevelingenmeer) was iets beter, maar niet echt succesvol. Mosselzaad dat in het najaar werd uitgezet, hing in het voorjaar nog aan het substraat, maar in een lage dichtheid. Daarnaast is er in het voorjaar lokaal zaad ingevangen op de touwen wat er mogelijk voor zorgde dat de mosselen uit hangcultuur de grens van de oogstbare grootteklasse niet bereikten. De zaadinvang werd niet gehinderd door de ruwe omstandigheden; deze was op elk substraat soort succesvol. De overleving en groei van het lokaal ingevangen zaad vallen buiten de looptijd van dit project.

4.2 Krachten op de systemen

Omdat er weinig bekend is over de krachten op hangcultuursystemen onder geëxponeerde offshore en nearshore omstandigheden, is in eerste instantie gekozen voor zware ankers en materialen om het risico op wegspoelen/-stromen uit te sluiten. Tevens was dit een vergunningseis voor deze pilotlocatie. Deze aanpak bleek effectief: de systemen zijn gedurende de gehele pilotperiode op hun plaats gebleven, noemenswaardige schade door omgevingsinvloeden hebben niet plaatsgevonden. Het nadeel van deze zware uitvoering is echter dat het benodigde materiaal, zoals ankers en kettingen, groot, moeilijk hanteerbaar en kostbaar zijn. Hierdoor was het noodzakelijk een gespecialiseerd schip in te huren voor de plaatsing, wat in combinatie met de aanschaf van de materialen de kosten zodanig verhoogde dat een rendabele kweek voor individuele kwekers vrijwel onmogelijk wordt. Omdat duidelijk werd dat deze keuzes een groot effect hebben op verdere opschaling, is besloten aanvullend onderzoek te doen naar de krachten op het systeem. Uit de metingen blijkt dat de werkelijke krachten lager lagen dan vooraf was berekend. De gemeten veiligheidsfactor bedroeg 8,5 voor de drijvende longline en 10,6 voor de ondergedoken longline. Dit wijst erop dat het systeem aanzienlijk overgedimensioneerd was. Daarbij moet wel worden opgemerkt dat de meetperiode gekenmerkt werd door relatief rustig weer, zonder echte zware stormen. De zwaarste condities tijdens de metingen komen overeen met een storm met een terugkeerinterval van circa één keer per jaar. Voor een vervolgtraject is het aan te bevelen om ruim van tevoren berekeningen uit te voeren die ten grondslag liggen aan de benodigde verankering van het systeem. De data die in deze pilot is verzameld, kan hierbij als input dienen.

4.3 Mosselgroei en overleving

De vergelijkende metingen van mosselgroei in de Voordelta ten opzichte van de Nederlandse productiegebieden (Oosterschelde en Waddenzee) laten zien dat de groei over het algemeen vergelijkbaar is. Dit is anders dan verwacht, gezien de hogere chlorofylwaarden en sterkere stroming in de Voordelta, die in theorie zouden moeten leiden tot een groter voedselaanbod. Mogelijk speelt mee dat bij hogere stroomsnelheden ($>0,6$ m/s volgens Nielsen en Vismann, 2014) de voedselopname juist belemmerd wordt.

Een laboratoriumexperiment dat dit effect moest aantonen, leverde geen sluitende resultaten op, aangezien $0,54$ m/s de maximaal simuleerbare stroomsnelheid was met de beschikbare apparatuur. Aan de mossellijnen was het opvallend dat mosselen die zich van nature hadden gevestigd tussen de uitgezette mosselen (een jaar oud, afkomstig uit de Waddenzee) zo snel groeiden, dat ze binnen enkele maanden een vergelijkbare grootte bereikten. De massale vestiging, snelle groei en goede overleving van lokaal ingezameld zaad op de touwen wijst erop dat deze lokaal gerekruteerde mosselen beter presteerden dan de uitgezette exemplaren van elders. Er zijn specifieke studies die aantonen dat lokale schelpdier populaties beter bestand zijn tegen stressoren bijvoorbeeld door genetische adaptatie of fenotypische plasticiteit.



Figuur 71 Touw met ingevangen mosselzaad:
links het deel dat net onder het wateroppervlak hing;
rechts het deel dat onderaan hing (op 7 meter diepte).

Dit geldt onder meer voor tolerantie voor zuurstoftekort (Smith, 2022), temperatuur en zoutgehalte (Telesca et al. 2018), of een combinatie van diverse stressoren (Paul-Pont, 2010).

Opvallend was dat het mosselzaad dat tussen de mosselen, voor de groeimonitoring, in de mosselmandjes viel, aanzienlijk harder groeide dan de mosselen die op de touwen zaten. De luwte in de mandjes zorgt er vermoedelijk voor dat er minder energie geïnvesteerd hoeft te worden in byssusdraden of schelpdikte. Dit bleek ook uit het uiterlijke verschil tussen de mosselen op de ondergedoken longline en die op de drijvende longline: ondergedoken mosselen waren groter, minder getrost en hadden een dunnere schelp dan de mosselen op de drijvende longlijn. Bovendien bleken mosselen die dieper in het water hingen, ook substantieel groter te zijn dan die bij het wateroppervlak (Figuur 71).

Bij geen van de proeven is het gelukt om de mosselen op te kweken tot commerciële grootte:

- Bodemmosselen (zowel zaad als halfwas) hechtten onvoldoende en vielen van de touwen.
- Mosselen die gefixeerd zijn weggehangen (in plastic of bioplastic sokken) lieten weinig groei en geen toename in conditie zien.
- Mosselen afkomstig uit een hangcultuur (Grevelingenmeer) overleefden aanvankelijk beter dan mosselen van de bodem, maar ook hier was veel valverlies. Uiteindelijk werden de mosselen verstikt door invallend mosselzaad.
- Mosselzaad dat ter plekke werd ingevangen wordt nog gemonitord, maar deze monitoring valt buiten de looptijd van het project.

Het mosselzaad dat werd ingevangen met de drijvende longline was klein, had een dikke schelp met veel en sterkere byssusdraden. In habitus leek het sterk op mosselzaad van droogvallende mosselbanken. Dergelijk mosselzaad werd in het verleden (toen hier nog op gevist mocht worden) juist geliefd bij mosselkwekers vanwege de hoge overlevingskans. Met deze gedachte is er een predatie-experiment uitgevoerd waarbij gekeken is naar eventuele predatie verschillen van krabben op mosselen ingevangen op de verschillende invangsubstraten en verschillende schelpgroottes. Bij deze proeven is een significant verschil aangetoond tussen de predatie tussen grote en kleine mosselen, waarbij kleine mosselen meer gepredeerd werden dan grote mosselen. Wel werd waargenomen dat van beide mosselgroottes, al dan niet geclusterd, niet heel veel gegeten werd tijdens de experimenten. Deze observatie, in combinatie met de goede invang, zou perspectief kunnen bieden voor zaadinvang ten behoeve van verdere opkweek op bodempercelen. Voorwaarde is wel dat de installatie van het systeem kostenefficiënt uitgevoerd kan worden en de locatie goed bereikbaar is voor de huidige mosselkotters. Deze kotters zijn gebouwd voor het uitvoeren van bodemkweek in de ondiepe kweekgebieden en kunnen alleen bij heel rustig weer werkzaamheden op zee uitvoeren.

4.4 Onderhoud systemen

Er zijn verbeteringen mogelijk in het management van systemen. Idealiter worden zowel bij de ondergedoken als de drijvende longline zo min mogelijk boeien geïnstalleerd. Naarmate de mosselen groeien, kunnen er gefaseerd boeien worden bijgeplaatst. Dit voorkomt dat het substraat met mosselen naar de bodem afzinkt, en doordat er continu met zo weinig mogelijk drijfvermogen gewerkt wordt, is het systeem minder gevoelig voor golfslag of hydrodynamische verstoring. Door budgettaire- maar ook weersbeperkingen was het niet mogelijk om met hoge frequentie aanwezig te zijn op locatie. Daarom is ervoor gekozen om bij de installatie direct veel boeien te plaatsen. Hierdoor werd de drijvende longline juist maximaal beïnvloed door de golven en had de ondergedoken longline had daarentegen bij de zaadinvang juist te weinig drijfvermogen. Daar hadden boeien moeten worden bijgeplaatst, want het substraat met mosselen heeft hierdoor enige tijd op de bodem gelegen.

Bij de oogst van het mosselzaad op de drijvende longline is bovendien veel verlies geweest door het afvallen van het substraat. Dit is waarschijnlijk gekomen doordat de touwen met mosselzaad te zwaar geworden is waardoor de opbindtouwen aan de hoofdlijnen afgebroken zijn. Dit had vermoedelijk voorkomen kunnen worden door tijdiger te oogsten, maar budget en planningscapaciteit lieten dit niet toe.

Uit de resultaten blijkt dat de ondergedoken longline beter presteerde dan de drijvende longline. De set up van de ondergedoken longline is vergelijkbaar met de configuratie in andere delen van de wereld. Eventuele aanpassingen, zoals de afstand tussen het substraat en typen verankering, zijn in deze pilot niet meegenomen, maar zouden bij een vervolg nog onderdeel kunnen zijn van het afwegingskader.

Het doel van het onderzoek was: een technisch onderzoek naar de geschiktheid van verschillende kweektechnieken voor mosselhangcultuur op open zee, om zo te bepalen welke techniek het meest geschikt is voor verdere opschaling na 2024. Op basis van de resultaten van de pilot kan hier deels antwoord op gegeven worden. Hoewel sommige zaken in het onderhoud van het systeem beter uitgevoerd hadden kunnen worden en de uitkomsten mogelijk negatief beïnvloedden, zouden deze tekortkomingen naar alle waarschijnlijkheid niet tot andere conclusies hebben geleid.

5 Conclusies en aandachtspunten voor vervolg

5.1 Conclusies

1. Het vinden van geschikte locaties geëxponeerde nearshore locaties op zee voor mosselhangcultuur is complex, mede door de ruimtedruk en het moeten doorlopen van een tijdrovend vergunningstraject. Ruimtelijke en vergunning technische randvoorwaarden vormen daarmee een belangrijke bottleneck.
2. Met hoge stroomsnelheden en significante golfhoogtes kon de geschiktheid van de geteste technieken onder zware omstandigheden worden getest. Beide systemen (LL en OLL) hebben zich goed gehouden.
3. De gebruikte ankers en kettingen hebben het systeem succesvol op zijn plaats gehouden, maar de kosten en benodigde specialistische inzet waren te hoog voor rendabele commerciële toepassing.
4. Werkelijke krachten op het systeem zijn lager dan aangenomen. Het systeem bleek voor de gemeten krachten sterk over gedimensioneerd. Dit biedt ruimte voor lichtere en goedkopere oplossingen.
5. Groei en overleving zijn sterk afhankelijk van zowel de herkomst als de fysische opgroei omstandigheden. Mosselen uit de bodemcultuur hechtten onvoldoende. Mosselzaad van hangcultuur uit een luw gebied liet eveneens een lage overleving zien. Lokaal ingevangen mosselzaad presteerde beter dan mosselzaad wat van elders aangevoerd is, mogelijk door plasticiteit van de mossel.
6. Mosselen die dieper of beschut hingen (bijvoorbeeld in mandjes of aan de ondergedoken longline), groeiden harder en hadden een dunnere schelp dan exemplaren dicht bij het oppervlak of in open water.
7. Geen van de uitgevoerde opkweekproeven resulteerde in mosselen van consumptiemaat binnen de looptijd van het project.
8. Door een gebrek aan aanwezigheidscapaciteit op zee zijn noodzakelijke aanpassingen aan het systeem (zoals het gefaseerd toevoegen van boeien of het tijdig oogsten) niet uitgevoerd, wat leidde tot suboptimale prestaties en verliezen van substraat en mosselen.

5.2 Aanbevelingen

1. Vereenvoudig en standaardiseer het vergunningentraject. Het stroomlijnen van het aanvraagproces met de stakeholders dient ruim van tevoren te gebeuren. Bestuurlijk draagvlak bij alle stakeholders voor ruimte om mosselen te kweken op zee kan het proces aanzienlijk versnellen.
2. Gebruik de gemeten krachten en omgevingscondities van deze pilot bij het ontwerpen van kostenefficiënte systemen, afgestemd op realistische weersomstandigheden.
3. Gebruik ook data uit andere pilots om een goed idee te krijgen van bandbreedtes.
4. Bij zeer dynamische omstandigheden lijkt lokaal ingevangen mosselzaad voor verdere opkweek beter te presteren dan mosselzaad van elders.
5. De potentie van de ondergedoken longline in combinatie met lokaal mosselzaad vraagt om gerichte pilots met commerciële doorontwikkeling, bij voorkeur op een locatie met minder dynamiek en een hogere weersafhankelijke toegankelijkheid.
6. Mosselzaadinvang was succesvol. Het type mosselzaad dat werd ingevangen lijkt sterk op geliefd droogvallend zaad met hoge overlevingskans. Dit kan perspectief bieden voor mosselzaadinvang op dynamische locaties waarna dit verder opgekweekt wordt op de bestaande bodempercelen.
7. Zorg voor tijdig management van de systemen:
 - a. Installeer systemen met een minimaal aantal boeien bij aanvang, en voeg drijfvermogen gefaseerd toe naarmate de mosselen groeien. Dit beperkt gevoeligheid voor golfslag én voorkomt contact met de bodem. Het zou interessant zijn te onderzoeken of er remote sensors gebruikt kunnen worden, om het management op zee te optimaliseren.

-
- b. Verlies door afvallend substraat tijdens de oogst had waarschijnlijk voorkomen kunnen worden door een beter getimede oogst. Monitoring van substraat en mosselbezetting moet daarom onderdeel zijn van het operationele beheer.
 - 8. Commercieel succesvolle mosselweek begint bij betrokkenheid van ondernemers die bereid zijn risico te nemen en verantwoordelijkheid te dragen.

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

Buck B.H., Heasman K. and Sclodnick T. (2025) Editorial: Differentiating and defining “exposed” and “offshore” aquaculture and implications for aquaculture operation, management, costs, and policy. *Front. Aquac.* 4:1544379.

Kingma, E., Sokolova, M., Dogruer, G., & Bos, O. (2025). Innovations in marine biodiversity monitoring using small unmanned underwater vehicles: ROVs & AUVs. Wageningen Marine Research report: C028/25.

MarIdea (2022) Main Components Loads Report 22CP01-CR.10.51 Test Musselfarm – Oude Roompot, Delft

Newell, C. R., Wildish, D. J., & MacDonald, B. A. (2001). The effects of velocity and seston concentration on the exhalant siphon area, valve gape and filtration rate of the mussel *Mytilus edulis*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 262, 91-111. [https://doi.org/DOI: 10.1016/S0022-0981\(01\)00285-4](https://doi.org/DOI: 10.1016/S0022-0981(01)00285-4)

Nielsen, P., & Vismann, B. (2014). Clearance rate of *Mytilus edulis* (L.) as a function of current velocity and mussel aggregation. *Journal of Shellfish Research*, 33(2), 457-463.

Nielsen, P, and Vismann, B. (2014). Clearance Rate of *Mytilus Edulis* (L.) as a Function of Current Velocity and Mussel Aggregation. *Journal of Shellfish Research*, 33(2), 457-463.

Paul-Pont, I. (2010). Sensibilité et adaptation de populations de bivalves marins soumis à des stress multiples: infestation parasitaire, contamination microbienne et pollution métallique, Bordeaux 1.

Philippart, C. J. M., Van Iperen, J. M., Cadée, G. C., & Zuur, A. F. (2010). Long-term field observations on seasonality in chlorophyll-a concentrations in a shallow coastal marine ecosystem, the Wadden Sea. *Estuaries and Coasts*, 33, 286-294.

Smit de, J. C., Zhao, Z., Capelle, J. J., Gerkema, T., van de Koppel, J., & Bouma, T. J. (2025). Storm resilience of subtidal soft-bottom mussel beds: Mechanistic insights, threshold quantification and management implications. *Journal of Applied Ecology*, 62(1), 169-179.

Smith, H. N. (2021). Investigating Local Adaptation to Hypoxia Stress in the Eastern Oyster Through Comparative Transcriptomics. Louisiana State University and Agricultural & Mechanical College.

Telesca, L., Michalek, K., Sanders, T., Peck, L. S., Thyrring, J., & Harper, E. M. (2018). Blue mussel shell shape plasticity and natural environments: a quantitative approach. *Scientific Reports*, 8(1), 2865.

Tonk, L., Mavraki, N., Schotanus, J., Capelle, J. J., & Poelman, M. (2025). Inventory of ecosystem components and functions relevant for upscaling low trophic marine (LTM) production in the Dutch part of the North Sea: With a case study on the effect of mussel farming on fish for food production. Wageningen Marine Research report: C038/25

Verantwoording

Rapport: C062/25

Projectnummer: 4311400049

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: Ing. M. Poelman MSc.
 Collega-onderzoeker

Handtekening:

Ondertekend door:

185DFE3E3CF5496...

Datum: 3 oktober 2025

Akkoord: Dr. C.J. Wiebinga
 Business Manager Projecten

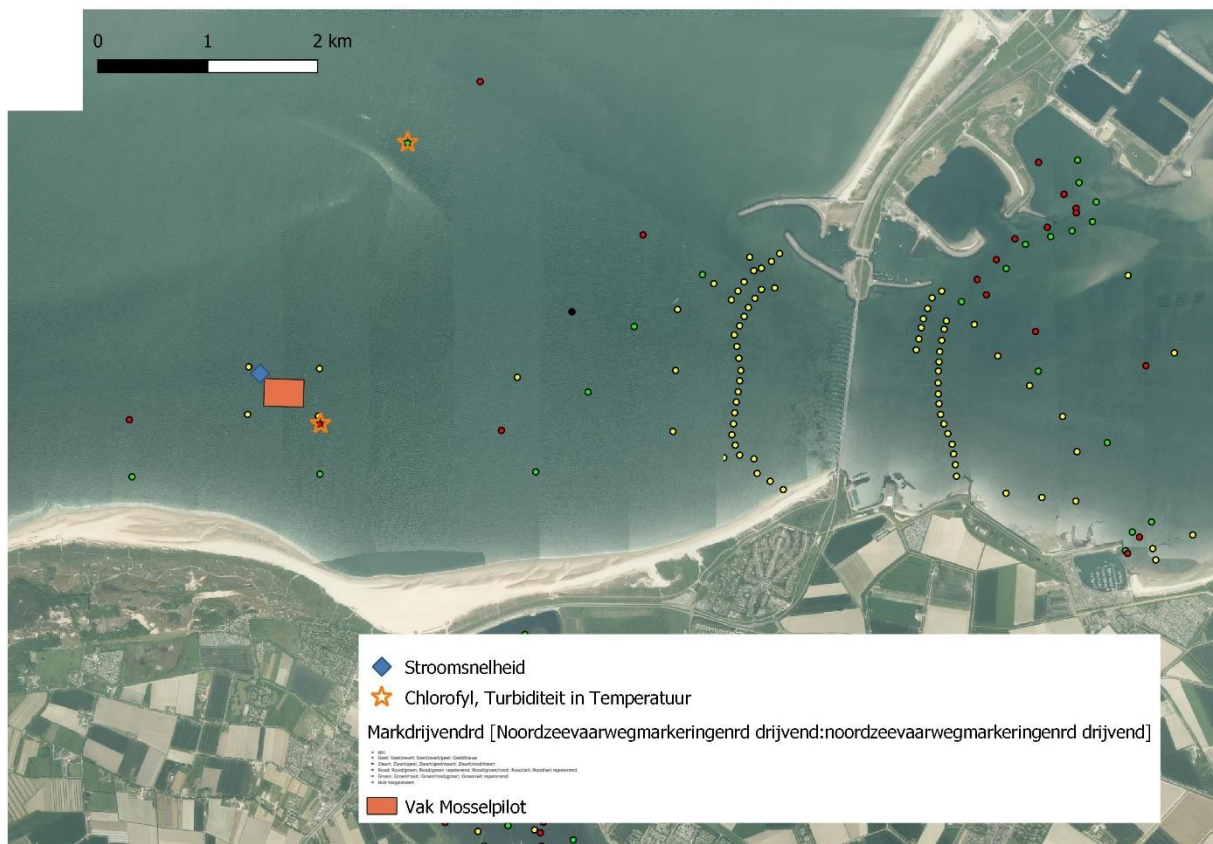
Handtekening:

Signed by:

D41E9304A710493...

Datum: 3 oktober 2025

Bijlage 1 Plaatsing sensoren



Bijlage 2 Rapportage Marin



MEMO

To : Jacob Capelle (WMR), Eva Den Hartog (HZ), Cora Siep (PO Mossel)
From : Jorrit-Jan Serraris (MARIN)
CC : Ingo Drummen
Date : 2024-09-19
Project No. : 34870
Subject : Design Review - Test Musselfarm – Oude Roompot

Background

Based on its knowledge and hydrodynamic experiences in the evaluation of floating structures MARIN has performed a third party independent review of the hydrodynamic simulations of the mussel string designs.

Objectives

The objective of the present memo is to provide a third party independent review of the hydrodynamic simulations of the mussel string designs.

Approach

The review consists of:

- Review of the a priori design
The design review is based on the information shared by the consortium as well as on public information. The information shared by the consortium is listed in Provided Information [1, 2].
- Comparison of the loads measured by MARIN during the experiment with the design loads.
The loads measured by MARIN during the experiment are reported in *"ankerkrachten.pptx"*.

Findings of both reviews are described in the present memo.

Review of the a priori design

The design and the hydrodynamic analysis described in [1] is judged as follows:

- The hydrodynamic design calculations are of high quality. The method, input and results are of high level of detail.
- The applied calculation approach consists of hydrodynamic time domain simulations. This is a high fidelity calculation method and the best suitable calculation method for this type of flexible floating structures with slender elements.
- The assumptions and simplifications applied, such as the lumping of strings, are adequate and justifiable.
- The input to the calculations is appropriate:
 - The calculations are performed for full-grown mussel ropes with 0.15m projected diameter. This might be a conservative assumption. The drag factors (Cd; Table 5-2) on the mussel ropes are in-line with values from literature and experiences.
 - The environmental conditions applied in the simulations represent severe conditions. Waves with 6 year return period at the further offshore location OS11 are applied ($H_s=3.94\text{m}$, $T_p=10\text{s}$) and current of 0.93m/s velocity. The combination of high wave height (H_s) and long period (T_p) is considered as an extreme design condition.
- The calculations result in safety factors higher than the required safety factor of 1.5. Based on the results of the simulations the integrity of the system is not foreseen to be affected.

Comparison of design and measured loads

The Most Probable Extreme (MPE) load, Minimum Breaking Load (MBL) and Safety Factor (SF) of the mooring line presented in [1] are adopted in Table 1. Furthermore the maximum measured load and realized Safety Factors are listed. The results presented in the table show that the maximum measured loads are well below the MBL. This can either be due to milder environmental conditions than applied in the simulations or due to conservatism in the simulation input and/ or approach. The conservatism in the simulations can for example originate from overestimates of the drag of the mussel lines.

System	Design			Measured			
	MPE Mooring Line [t]	Minimum MBL [t]	Safety Factor	Sensor	Maximum [t]	Design/ Measured	Safety Factor
Dual	19.1	33.9	1.78	2	4.8	4.0	8.5
Single	9.6	33.9	3.54	3, 4	3.0	3.2	10.6

Table 1: comparison design and measured loads

Based on the comparison between the design and measured loads there is no indication that the integrity of the system is affected during the experiments. The results show the loads have well been below the design values.

The environmental conditions experienced during the experiment are compared to statistical hindcast data in order to verify if the experienced conditions are below or beyond the 6 year return period applied in the simulations as basis of the design. Local environmental conditions at the test site are not available. Alternatively the wind speed at Hoek van Holland is obtained from KNMI over a period of 53.5 years (1/1/1971 to 16/6/2024). Although the mussel strings are not susceptible to wind the wind speed is a representative quantity for storm conditions. When there is high wind speed at Hoek van Holland, there will also be storm at the test site.

Figure 1 shows the wind speed probability of exceedance over a 53.5 years period (1971-2024) and during the experiment (7 months from 1/9/2023 to 1/4/2024, 23M9-24M3). The three most extreme conditions during the experiment are encountered on 24 November 2023, 2 November 2023 and 2 January 2024. Table 2 shows the maximum wind gust experienced during the experiment as well as the long term statistic return periods. The results presented in Figure 1 and Table 2 show that the maximum storm condition experienced during the experiment corresponds to approximately the 1 year storm condition.

	Experiment 23M9-24M3	1971-2024					
	1.3	1	2	4	6	10	25
Return period [1/yr]							
Max wind gust [m/s]	31.0	30.9	32.9	34.3	37.1	38.9	42.9

Table 2: Max wind gust and return periods

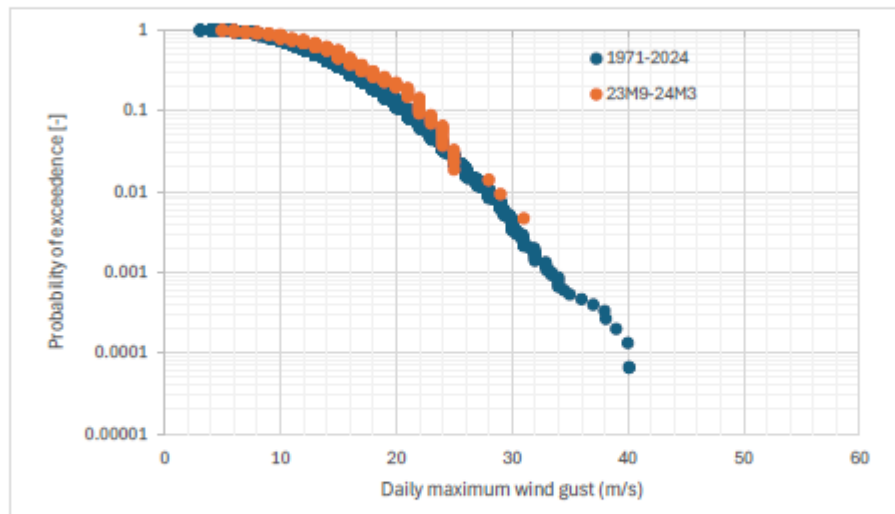


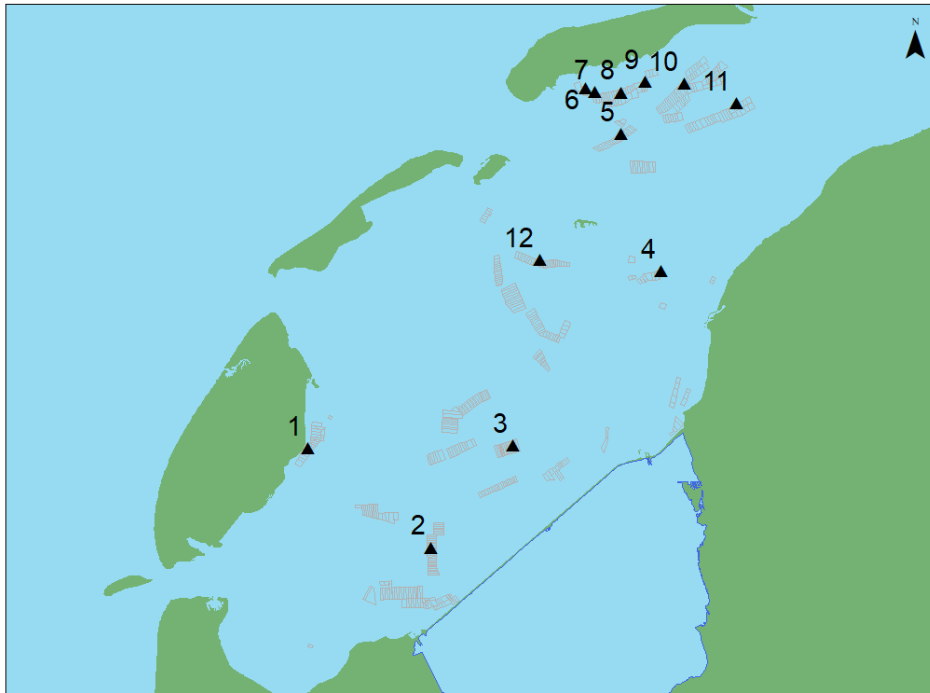
Figure 1: Probability of exceedence Daily Maximum wind gust Hoek van Holland

Received Information

Item	Date	Content	Reference
1	15-04-2024	Hydrodynamic calculation report	<i>Bijlage 2: Main Components Loads Report 22CP01-CR.10.51 Test Musselarm – Oude Roompot.</i>
2	15-04-2024	Drawings	Bijlage 3 Detail Anker-400.pdf Bijlage 3 Detail Anker-800.pdf Bijlage 3 Detail Double Backbone Assembly.pdf Bijlage 3 Detail Single Backbone Assembly.pdf

Bijlage 3 Locaties mosselgroeimetingen Waddenzee en Oosterschelde en Voordelta

Locaties mandjes Waddenzee



Locaties mandjes Oosterschelde



Locaties mandjes Voordelta



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

Bezoekersadres:

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



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.

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.700 medewerkers (7.000 fte), 2.500 PhD- en EngD-kandidaten, 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.
