



---

# Initiëren van een droogvallende mosselbank

Een proef in het Eems-Dollard estuarium

Auteur(s): S.T. Glorius<sup>1</sup>, A. Meijboom<sup>1</sup>, T. Gienapp<sup>2</sup>, T. Janssen<sup>2</sup>, A. Wehrmann<sup>2</sup> <sup>1</sup>  
Wageningen Marine Research  
<sup>2</sup> Senckenberg am Meer

Wageningen University &  
Research rapport C090/21C

---

# Initiëren van een droogvallende mosselbank

Een proef in het Eems-Dollard estuarium

Auteur(s): S.T. Glorius<sup>1</sup>, A. Meijboom<sup>1</sup>, T. Gienapp<sup>2</sup>, T. Janssen<sup>2</sup>, A. Wehrmann<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Wageningen Marine Research

<sup>2</sup> Senckenberg am Meer

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Marine Research en gesubsidieerd door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoekthema 'Ecologische basiskwaliteit water' (projectnummer BO-43-021.02-006).

Wageningen Marine Research  
Den Helder, november 2021

---

VERTROUWELIJK Nee

Wageningen Marine Research rapport C090.21C

---

Keywords: Eems-Dollard, droogvallende mosselbank, aanlegproef, Hond Paap wadplaat, netten, kokkelschelpen.

Opdrachtgever: Ministerie van LNV  
T.a.v.: Marjan Datema  
Postbus 20401  
2500 EK Den Haag

BO-43-021.02-006

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/557424>

Wageningen Marine Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

Wageningen Marine Research is ISO 9001:2015 gecertificeerd.

#### © Wageningen Marine Research

Wageningen Marine Research, instituut  
binnen de rechtspersoon Stichting  
Wageningen Research, hierbij  
vertegenwoordigd door  
Dr.ir. J.T. Dijkman, Managing director

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

Wageningen Marine Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor  
gevolg schade, noch voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de  
resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van Wageningen  
Marine Research. Opdrachtgever vrijwaart Wageningen Marine Research van  
aanspraken van derden in verband met deze toepassing.  
Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag weergegeven en/of  
gepubliceerd worden, gefotokopieerd of op enige andere manier gebruikt worden  
zonder schriftelijke toestemming van de uitgever of auteur.

A\_4\_3\_1 V30 (2020)

---

# Inhoud

<b>Samenvatting</b>	<b>5</b>
<b>Summary</b>	<b>8</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>11</b>
1.1 Herstelpogingen	11
1.2 Kennisvraag	12
<b>2 Vooronderzoeken</b>	<b>13</b>
2.1 Voedsel, zwevende stof en zoutgehalte	13
2.2 Waterkwaliteit	14
2.2.1 Vergelijking tussen kombergingen	15
2.2.2 Trend over de tijd	17
2.2.3 Gradiënten	18
2.2.4 Frequentie van verhoogde zwevende stof concentraties	19
2.3 Voorkomens van droogvallende mosselbanken	21
2.4 Overlevingsproef	23
2.4.1 Methode	23
2.4.2 Overleving mosselen	26
2.4.3 Groei	27
2.4.4 Waterkwaliteitsmetingen	28
2.5 Discussie en conclusies vooronderzoeken	31
<b>3 Proefontwerp</b>	<b>33</b>
3.1 Ervaringen uit aanlegpogingen	33
3.2 Proefontwerp	35
3.2.1 Vervaardiging van de netten	36
3.2.2 Invangen van mosselen op de netten	37
3.3 Proeflocaties	39
3.4 Monitoring aanlegproeven	42
3.4.1 Algemene indruk netten en mosselen	42
3.4.2 Mosselpopulatie	42
3.4.3 Afbraak touw	42
3.4.4 Mosselbedekking en hoogtekaarten	42
3.4.5 Droogvalduur	43
3.4.6 Winddata	43
<b>4 Aanlegproef 1</b>	<b>44</b>
4.1 Invangen van mosselzaad	44
4.2 Plaatsing op de Hond en Paap wadplaat	47
4.3 Ontwikkeling van de mosselen van aanlegproef 1	49
4.3.1 droogvalduur	49
4.3.2 Met mosselen bedekt oppervlak	50
4.3.3 Mosselpopulatie	52
4.3.4 Degradatie van de netten	55
4.4 Conclusie en discussie aanlegproef 1	56
<b>5 Aanlegproef 2</b>	<b>58</b>
5.1 Invangen van mosselzaad	58

---

5.2	Aanpassingen proefontwerp	58
5.3	Constructie van aanlegproef 2	60
5.4	Ontwikkeling van de netten en mosselen	61
5.4.1	Met mosselen bedekt oppervlak	62
5.4.2	Mosselpopulatie	69
5.5	(tussen) conclusies aanlegproef 2	71
<b>6</b>	<b>Discussie en conclusies</b>	<b>73</b>
6.1	Milieucondities op de Hond en Paad wadplaat	73
6.2	Functioneren van de netten voor het invangen van mosselzaad	74
6.3	Ontwikkeling van de mosselen op de wadplaat	74
6.4	Samenvatting	76
<b>7</b>	<b>Aanbevelingen</b>	<b>77</b>
7.1	Invangen van mosselzaad	77
7.2	Installatie op de wadplaat	78
7.2.1	Locatie	78
7.2.2	Methode	78
7.2.3	Monitoring	78
7.3	Eems Dollard estuarium	79
<b>8</b>	<b>Kwaliteitsborging</b>	<b>80</b>
	<b>Literatuur</b>	<b>81</b>
	<b>Verantwoording</b>	<b>84</b>
	<b>Bijlage 1 Modelresultaten overlevingsproef</b>	<b>85</b>
	<b>Bijlage 2 Meetfrequentie aanlegproeven</b>	<b>87</b>
	<b>Bijlage 3 Modeluitkomsten aanlegproef 1</b>	<b>88</b>
	<b>Bijlage 4 Modeluitkomsten aanlegproef 2</b>	<b>89</b>

---

# Samenvatting

Op 30 maart 2017 werd het Eems-Dollard estuarium aangewezen als speciale beschermingszone in het kader van de Habitatrichtlijn als onderdeel van het Habitatrichtlijngebied Waddenzee (Wijzigingsbesluit Natura 2000-gebied #1, 2017). De natuurdoelen die naar aanleiding hiervan zijn geformuleerd omvatten de verbetering van het areaal en de kwaliteit van verschillende habitattypen, waaronder bij eb droogvallende mosselbanken. Om dit herstel te bevorderen wordt gezocht naar manieren om de vorming van droogvallende mosselbanken te initiëren. In het hier beschreven onderzoek is hiervoor een methode ontwikkeld en uitgetest in het Eems-Dollard estuarium. Omdat de Nederlands-Duitse landsgrenzen in het gebied ter discussie staan, is een gezamenlijk Nederlands-Duits onderzoeksproject gevormd tussen Wageningen Marine Research (WMR) en Senckenberg am Meer (SaM). Een belangrijke projectdoelstelling werd gevormd door het credo "al doende leert men". Dit hield in dat het onderzoek gericht moest zijn op het in de praktijk beproeven van de meest veelbelovend geachte methodiek om een droogvallende mosselbank aan te leggen.

Bij de start van dit project was het duidelijk dat de milieuomstandigheden in het studiegebied, de Hond en Paap wadplaat in het Eems-Dollard estuarium, niet optimaal zijn voor de overleving van mosselen en mogelijk zelfs ontoereikend zijn om vitale banken in stand te houden. Voordat gestart werd met het uitvoeren van de aanlegproeven zijn daarom enkele korte vooronderzoeken uitgevoerd om een beter idee te krijgen van de milieucondities in het estuarium en de consequenties daarvan op de overlevingskansen van mossel(en)(banken). In de vooronderzoeken zijn waterkwaliteitsgegevens (afkomstig van de Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands, het 'MWTL-programma') geanalyseerd, zijn de historische ontwikkelingen van de droogvallende mosselbanken in het gebied onderzocht (gegevens afkomstig van de Wettelijke onderzoekstaken, WOT-visserij) en is op de wadplaat een mossel-overlevingsproef uitgevoerd. Voor de overlevingsproef werden mosselen van verschillende afkomst (banken gelegen op droogvallende wadplaten-, permanent onderwater staande banken in geulen en van een mosselzaad-invanginstallatie) uitgezet op het Hond en Paap wadplaat om de overleving en groei te monitoren. In het kader van deze proef zijn ook eigen waterkwaliteitsmetingen uitgevoerd.

De extreme koude temperaturen van eind februari 2018 hebben geleid tot ijsvorming in het estuarium. De installaties die voor de overlevingsproef gebruikt werden raakte hierdoor dermate beschadigd dat de proef noodgedwongen en vroegtijdig afgebroken moest worden. De resultaten van de proef waren hierdoor maar van zeer beperkte waarde. De proef toonde wel aan dat mosselen in staat waren twee maanden op de Hond en Paap wadplaat te overleven en dat de omstandigheden aan de noordzijde van de plaat iets beter waren dan aan de zuidzijde. Uit de resultaten van de waterkwaliteitsparameters van de MWTL die hier zijn geanalyseerd (het zoutgehalte, de concentraties aan zwevende stof- en chlorofyl-a, alsmede de verhouding tussen het zwevende stof en de chlorofyl-a) blijkt dat in het verleden regelmatig concentraties van zwevende stof gemeten zijn waarbij negatieve effecten op de mosselen kunnen worden verwacht. De zwevende stof concentratie lijkt de laatste decennia te zijn toegenomen, hetgeen ook blijkt uit de resultaten van meer uitgebreidere studies op dit onderwerp. Verder zijn in de afgelopen decennia twee perioden waargenomen van ieder ongeveer een jaar lang met bovengemiddeld hoge zwevende stof concentraties die bovendien samenvielen met een afname in het areaal aan droogvallende mosselbanken in het gebied. Verder ten zuiden van de Hond en Paap wadplaat verslechteren de milieuomstandigheden verder door een (verdere) daling van het zoutgehalte. Uit de analyse van de historisch aanwezige mosselbanken in het gebied bleek dat zich recentelijk, in 2016 een mosselbank heeft kunnen vormen op de Hond en Paap wadplaat die zich in de jaren erna heeft kunnen handhaven. Op basis van de resultaten van de vooronderzoeken is geconcludeerd dat de milieuomstandigheden voor mosselbankoverleving op de Hond en Paap wadplaat weliswaar suboptimaal zijn, maar dat dit wel mogelijk is. De mogelijkheid op langdurige perioden met ongunstige zwevende stof- en chlorofyl-a concentraties blijven echter wel een risico vormen voor mosselbankoverleving. Het is geconcludeerd dat het succesvol uitvoeren van een mosselbankproef op de Hond en Paap wadplaat, op zichzelf al moeilijk, hierom op voorhand niet onmogelijk is maar wel extra uitdagend zal zijn in het onderzoeksgebied.

---

Om tot een proefopzet te komen is een korte literatuurstudie uitgevoerd, zijn recente pogingen om droogvallende mosselbanken aan te leggen geëvalueerd en is kennis, aanwezig bij mosselbankonderzoekers van WMR en SaM, geraadpleegd en ontsloten. Dit heeft geresulteerd in een proefopzet waarbij mosselbroed, dat in het voorjaar aanwezig is in de waterkolom, op netten ingevangen wordt, waarna het geheel na verloop van tijd op de wadplaat aangebracht wordt om uit te groeien tot een droogvallende mosselbank. Door de netten van biologisch materiaal te vervaardigen hoeven de netten niet verwijderd te worden na plaatsing op de wadplaat. Hierdoor kunnen de hechtingstructuren, waarmee de mosselen zich aan de touwen van het net verankeren, behouden blijven. Na verloop van tijd zullen de netten biologisch afbreken waarna de mosselen op zichzelf aangewezen zijn. In de tussentijd biedt het net hechtingssubstraat voor de mosselen waarmee erosie, als gevolg van wind- en golfinvloeden, tegengegaan kan worden. In de selectieprocedure voor geschikte proeflocaties op de Hond en Paap wadplaat is gebruik gemaakt van een habitatgeschiktheidskaart voor droogvallende mosselbanken, een kaart van de droogvalduur alsmede de (historische) aanwezigheid van mosselbanken. Daarnaast zijn de beoogde proeflocaties bezocht om de geschiktheid ervan te beoordelen.

Uit touwen gemaakt van katoen, hennep en sisal vezels zijn negen netten vervaardigd (van elk materiaal 3 netten). Elk net was twee meter breed en tien meter lang. Door de vezelige structuur van de touwen was een machinale vervaardiging van deze netten niet mogelijk. Het C.I.V in Den Oever heeft de netten daarom op ambachtelijke (handmatige) wijze vervaardigd. Niet alle negen netten raakte (voldoende) gekoloniseerd met mosselzaad. De oorspronkelijke proefopzet moest hierom noodgedwongen aangepast worden. Hierbij zouden drie netten (van elk materiaal één) op drie verschillende proeflocaties op de Hond Paap wadplaat neergelegd zouden worden in hetzelfde seizoen. Uiteindelijk zijn er niet één maar twee proeven uitgevoerd, in twee seizoenen en dus onder verschillende milieuomstandigheden. Bovendien werden niet één maar twee verschillende uitgangssituaties beproefd. Door deze wijziging was het niet langer mogelijk om het effect van proeflocatie en touwmateriaal op de mosseloverleving statistisch te onderzoeken.

Proef 1 startte in het voorjaar van 2018 met gebruikmaking van drie netten waarop zich wel voldoende mosselzaad had verzameld. Deze netten (één van elk touwmateriaal) werden in hetzelfde jaar geplaatst en bevestigd op één van de aangewezen locaties op de Hond en Paap wadplaat. Proef 2 startte in het voorjaar van 2019. Omdat geen van de resterende zes netten gekoloniseerd raakte door mosselzaad werd in plaats daarvan mosselzaad van een commerciële mosselzaad installatie gebruikt als uitgangsmateriaal. In deze proef werden twee plots die ieder uit meerdere mosseltegels (van twee bij twee meter) bestonden aangelegd. In plot 1 werd bovenop elke tegel met mosselen een net (zonder mosselen) gespannen. In plot 2 werden de effecten van aanwezigheid van een net en de aanwezigheid van een fundering van kokkelschelpen getest. Hiertoe werden tegels met en zonder netten en met en zonder een fundering van kokkelschelpen aangelegd. In beide proeven is de ontwikkeling van de mosselen gemonitord. Hiertoe zijn regelmatig bodemmonsters genomen om veranderingen in de mosseldichtheid, mosselbiomassa en de mosselschelpenlengte te bepalen. Hiernaast is de proeflocatie in kaart gebracht om het met mosselen bedekte oppervlak en de hoogteligging te bepalen. De droogvalduur is bepaald met een CTD-sensor. Touwmonsters zijn genomen om de degradatiesnelheden van de gebruikte touwen te kunnen beoordelen.

Uit proef 1 is gebleken dat het mogelijk is grote hoeveelheden mosselen in te vangen op netten gemaakt van elk van de hier geteste touwmaterialen (hennep, katoen en sisal). Het invangsucces van mosselzaad wordt bepaald door verschillende factoren en bij de hier uitgevoerde proeven zijn slechts beperkte successen geboekt. Wat de belangrijkste factoren waren voor de slechte invang- en ontwikkeling van het mosselzaad op de netten die in het voorjaar van 2018 in de sleepboothaven (gelegen in het Jadekanaal) en in het voorjaar van 2019 in de binnenhaven van Wilhelmshaven zijn uitgehangen, zijn niet goed bekend. In de sleepboothaven is het aannemelijk dat de aanwezigheid van juveniele krabben en de ophoping van slib op de netten een rol hebben gespeeld in het beperkte invangsucces. Het is niet waarschijnlijk dat er onvoldoende mossellarven in de waterkolom aanwezig waren. In de binnenhaven heeft een vroege kolonisatie van zeepokken en draadalgen op de touwen en/of de beperkte aanwezigheid van mossellarven in de waterkolom of een nog andere onbekende reden het geringe succes veroorzaakt.

De netten met mosselzaad die gebruikt zijn in proef 1 zijn geplaatst in een gebied waar zich een sliblaag van ongeveer een decimeter diep had opgehoopt. Alleen de aanwezigheid van een net bleek het mogelijk te maken voor de mosselen om de eerste maanden door te komen. Alle mosselen die op enig moment buiten de netten terecht kwamen zijn niet teruggevonden op latere meetmomenten. De

---

aanwezigheid van dood schelpenmateriaal in de meer zanderige (en dynamische) omgeving van de proeflocatie van proef 2 maakte mosseloverleving wel mogelijk. Een groot deel van de mosselen die bovenop een bed van dode kokkelschelpen werden geplaatst overleefden het eerste jaar. Ook twee jaar later zijn levende mosselpatches teruggevonden op deze plekken. Deze mosselen hebben een goede kans gekregen om uit te groeien tot een meerjarige droogvallende mosselbank. Het betrof echter maar één proef uitgevoerd op één locatie en in één seizoen. Er zijn meer proeven nodig om de robuustheid van deze methode vast te kunnen stellen. De positieve bijdrage van de netten voor de overleving van mosselen in de hier uitgevoerde proeven kon niet onomstotelijk worden aangetoond. De locatie van proef 1 bleek ongeschikt, terwijl op de beter geschikte locatie van proef 2 de benodigde hechtingsstructuren ontbraken bij aanvang van de proef. Een stevige aanhechting van het mosselbroed op de touwen van het net (wat niet het geval was in proef 2) vóór plaatsing op de wadplaat bleek essentieel te zijn voor de werking van de netten.

Zowel bij de netten (proef 1) als bij de mosselen die op een laag kokkelschelpen zijn geplaatst (proef 2), vond het verlies van mosselen vooral plaats in de centraal gelegen zones. Het is juist in deze zones dat individuele mosselen, mogelijk als gevolg van voedsellimitatie en/of zuurstofgebrek, zich van elkaar losmaken om zich naar boven te verplaatsen waar condities beter zijn. Hierbij worden ze echter gevoelig voor erosie. Het bleek dat deze mosselen voornamelijk weggespoelen in perioden waarin de windsnelheden hoger zijn dan gemiddeld (5 à 6 Beaufort of hoger). Deze waarnemingen zouden kunnen worden gebruikt om de experimentele opzet te verbeteren.

In het verleden hebben zich mosselbanken kunnen vormen in het gebied met de meest recente waarneming uit 2016. Dit laat zien dat een natuurlijke vestiging van mosselbanken mogelijk is op de Hond en Paap wadplaat en dat ook zonder menselijke ingrepen bankarealen kunnen toenemen mits de gevormde banken weten te overleven. Alvorens meer mosselproeven uit te voeren in het gebied wordt daarom aanbevolen om eerst de onderliggende reden(en) te onderzoeken voor de in het verleden waargenomen lange aaneengesloten perioden (tot een jaar) met verhoogde concentraties zwevende stof omdat deze van belang lijken te zijn voor bankoverleving. Als dit het gevolg blijkt te zijn van menselijke activiteiten (baggeren bijvoorbeeld), dan zouden inspanningen erop gericht kunnen zijn om die te voorkomen. Andere maatregelen die resulteren in een afname van de zwevende stof concentratie zullen ook bij kunnen dragen aan de overleving van droogvallende mosselbanken in het gebied. De projecten die momenteel uitgevoerd worden zoals het project waarbij slib uit het estuarium wordt ingevangen en afgevoerd, maar ook het project waarin een kwelder aangelegd wordt, zijn hier voorbeelden van. In situaties waar droogvallende mosselbanken onbedoeld worden beschadigd of in situaties waar beschadiging niet kan worden vermeden, bijvoorbeeld bij het aanleggen van (stroom)kabels, kan de beschikbaarheid van een techniek om een mosselbank te initiëren van pas komen. De techniek kan dan ingezet worden om aangerichte schade te compenseren.

In de hier uitgevoerde proeven heeft vooral de 'kokkel' methode zich in de praktijk bewezen maar ook de 'netten' techniek heeft potentie mits het mosselzaad ingevangen is op het net voordat deze op de wadplaat geplaatst wordt. Meer proeven zijn echter nodig om de techniek(en) te optimaliseren en de robuustheid ervan vast te kunnen stellen. Voor de nettentechniek moet in de eerste plaats het invangsucces van mosselzaad verbeterd worden. Bij de zoektocht naar een geschikte invanglocatie kan gebruikt gemaakt worden van de ervaringen die ondernemers met mosselzaad invanginstallaties (MZI) opgedaan hebben. Het is ook raadzaam de milieucondities nabij succesvolle MZI locaties te onderzoeken en deze informatie te gebruiken in het selecteren van geschikte invanglocaties.

Maatregelen om de kans op loskomen en daaropvolgende erosie van de mosselen te verminderen, moeten erop gericht zijn de kans op voedsel- en zuurstoflimitatie te verkleinen. Hierbij kan worden gedacht aan het testen van variaties in mosseldichtheden, variaties in layout in plekken met en zonder mosselen en variaties in maaswijdte van netten. Het verdient aanbeveling variaties in de uitvoering te testen met voldoende replica's om te voorkomen dat de uitkomsten het gevolg zijn van toevallige omstandigheden. Het principe 'al doende leert men' wordt dan losgelaten of in ieder geval ruimer geïnterpreteerd. Omdat de techniek nog in ontwikkeling is, wordt aanbevolen deze proeven uit te voeren op locaties waar de milieuomstandigheden gunstig zijn voor mosseloverleving. Deze kunnen bijvoorbeeld gevonden worden op wadplaten in de buurt van zeegaten waar de zwevende stof concentraties laag zijn. Locaties waar reeds dood schelpmateriaal aanwezig is, waar een zandig bodemtype aanwezig is en waar in het verleden mosselbanken hebben gelegen verdienen de voorkeur.



---

# Summary

On March the 30<sup>th</sup> of 2017 the Ems-Dollard estuary was designated as a Special Protection Area under the Habitat Directive as part of the Wadden Sea Habitat Directive area (Amendment Decision Natura 2000 Area #1, 2017). The nature objectives formulated as a result of this included the improvement of the area and quality of various habitat types including intertidal mussel beds. Ways to initiate intertidal mussel beds were sought to aid this recovery. In the research described here, a method was developed and put to the test in the Ems-Dollard estuary. Because the Dutch-German national borders in the area are under debate, a joint Dutch – German research project was formed between Wageningen Marine Research (WMR) and Senckenberg am Meer (SaM). An important project objective was formed by the credo "learning by doing". This meant that the research should be focused on testing in practice the most promising method of constructing an intertidal mussel bed.

At the start of this project it was clear that the environmental conditions in the study area, the Hond and Paap tidal flat in the Ems-Dollard, are not optimal for the survival of mussels and may even be inadequate to sustain vital intertidal mussel beds. Some pre-studies, limited in design, were conducted to get a better idea of the survival changes for mussel(s)(beds). To this end water quality data (originated from the Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands, MWTL program) were analysed, the historical developments in intertidal mussel beds were investigated (data originated from the Wettelijke onderzoekstaken, WOT- fisheries) and a mussel survival test was carried out on site. For the survival test, mussels of various origins (intertidal- and subtidal beds as well as from a mussel seed collector), were placed on the Hond and Paap tidal flat to monitor survival and growth. Additional own water quality measurements were carried out as part of this test.

The extreme cold temperatures at the end of February 2018 has led to ice formation in the estuary damaging the installations of the survival experiment to such extent that it was terminated prematurely. Therefore, the results of the test were only of very limited use. The test did demonstrate that mussels could survive in the area for at least two months and that conditions at the northern side of the Hond and Paap tidal flat were a bit better compared to the southern side. Results of the MWTL water quality parameters that were analysed here (salinity, suspended solids and chlorophyll-*a* concentrations as well as the ratio between suspended solids and chlorophyll-*a*) showed that in the research area suspended solids concentrations at which negative effects on mussels can be expected have been frequently recorded. The suspended solids concentration seem to have increased in recent decades which is also evident from results of more elaborate studies on this subject. In the past decades periods lasting for a year with above average suspended solids and chlorophyll-*a* ratios have been observed twice, that co-occurred with decreases in the acreage of intertidal mussel beds in the area. Further south of Hond and Paap tidal flat conditions deteriorate further by (further) reduced salinity levels. Analysis of the historical fluctuations in mussel bed acreage carried out here showed that a bed has been able to form recently (2016) that was able to maintain itself for at least four years. In the end it has been concluded that the environmental conditions for mussel beds at the Hond and Paap tidal flat are suboptimal but mussel bed survival is possible although possibilities for prolonged periods with unfavourable suspended solids and chlorophyll-*a* conditions keeps forming a risks. Carrying out a mussel bed trial, difficult by itself, is therefore more challenging in the research area of the Hond and Paap.

To arrive at a trial design a brief literature study was conducted, recent attempts to construct a bed were evaluated and mussel bed researchers at WMR and SaM were consulted. The resulting experimental design consisted of collecting mussel seed using biodegradable collector nets after which the nets and mussels are placed and fixed on the Hond and Paap tidal flat. Because the mussels were not removed from the biodegradable nets after placement on the tidal flat, the structures made by the mussels by which they attach themselves to the ropes of the net remained intact. Over time the nets will biodegrade and disappear. In the meantime the nets offer the mussels an attachment substrate, preventing erosion, and time to form and mature into a self-sustaining bed. The test sites on the tidal

---

flat for the trials were selected using information of a habitat suitability map for intertidal mussel beds (Brinkman in preparation), maps of the emersion time on the tidal flat and the presence of (historical) natural mussel beds. In addition, the intended test sites were visited before the start of the trial.

As machinal construction of the nets with the desired fibres was not possible, nets were manufactured manually by C.I.V. in Den Oever. Nets, with a dimension of two by ten meters each, were made of cotton, hemp and sisal ropes. Nine nets were made in total, from each material three. Because on not all nine nets the capturing of the mussel spat was successful, the original experimental set-up, testing the three net materials at three different sites, all in one season and thus under similar environmental conditions, had to be abandoned. Not one but two trials were conducted spread out over two seasons under different environmental conditions. Furthermore, not one but two different starting situations were tested. Due to these alterations it was no longer possible to statistically investigate the effects of location and net material type.

Mussel spat collection was only successful at the nets that where hung out in the Inner harbour of Wilhelmshaven in 2018. Trial 1 started in spring of 2018 using those nets (three nets in total, one of each rope material). These nets were placed and fixed at one of designated sites on the Hond and Paap tidal flat the same year. Trial 2 started in spring 2019. In that year, none of the remaining six nets became colonized by mussel spat and mussel spat from a commercial mussel spat collector was used instead. In this trial two plots (plot 1 and plot 2) were constructed, each consisting of multiple tiles with mussels (dimension of two by two meter). On top of each of the tiles in plot 1 a (empty) net was strained. In plot 2 the effects of the presence of a net and the presence of a foundation of cockle shells for the erosion of mussels were tested. For this reason tiles with and without nets and with and without a foundation of cockle shells were constructed in plot 2. In both trials the developments of the mussel population and the coverage of the mussel patches were monitored over time. To this multiple fieldtrips were conducting taking samples and conducting measurements. The mussel population was assessed by taking field samples to determine the mussel density, mussel shell length and biomass in the laboratory. The development in mussel patch coverage was examined by construction of an ortho map. In addition, changes in elevation were investigated by constructing a digital elevation model. The emersion time was determined with the use of a CTD-sensor. Rope samples were taken to assess the rate of biodegradation.

Trial 1 showed that it is possible to capture large quantities of mussels with each of the net materials tested (hemp, cotton and sisal). The efficiency of capturing spat on the nets is determined by several factors, and with the trials conducted here, only limited successes were obtained. The dominant reason(s) for the poor capture and development of spat on the nets hung out in the tugboat harbour (located in the Jade channel) in spring 2018 and in the inner harbour of Wilhelmsharbour in spring 2019 are not known. In the tugboat harbour it is likely that the observed presence of juvenile crabs and the accumulation of silt on the nets may have prevented the development of the mussel population. It is not likely that there was not sufficient mussel larvae present in the water column. In the inner harbour it is less clear what might have caused the poor mussel spat development on the ropes. The observed colonization of barnacles and filamentous algae might have caused the poor settlement of mussel larvae on the ropes but it could also be that there were not enough mussel larvae in the water column or it might have been the results of yet another unknown reason(s).

The nets (containing mussel spat) that were used in trial 1, were placed in an area where a layer of mud of several centimetres deep had been build up. Only the presence of the nets made survival of the mussels for several months possible in this area. All mussels that were flushed off the nets at any point in time were not found back in subsequent monitor events and were likely buried in the mud. Instead, the presence of dead shell material in the more sandy (and dynamic) environment of test site used in trial 2 made survival of mussels possible. A large portion of the mussels placed on top of a bed of cockle shells survived their first year and also two years later patches with living mussels were found. It is believed that these mussels was provided a good chance to develop themselves. But as just one trial was conducted in this way, more trials are needed to test the robustness of this method and its performance under different environmental conditions. In addition, the positive contribution of the nets to mussel survival and washout could not be conclusively proven in the tests carried out here. The test location at trial 1 proved to be unsuitable while at the suitable location used in trial 2, a

---

positive net effect on the retention of mussels was not found. This showed that a firm attachment of mussel spat (which was not the case in trial 2) prior installation on the tidal flat is essential for its functioning in preventing mussel erosion.

On both the nets (trial 1) and the mussels that are placed on a bed of cockles (trial 2), losses of mussels occurred mainly in the inner areas. It is precisely in these areas, possibly as a result of food suppression and/or oxygen depletion, that individual mussels detach themselves from each other to move themselves upwards where conditions are better. By doing so they become susceptible to erosion that was observed in periods that contain wind speeds higher than average (5 to 6 Beaufort or higher). These observations could be used to improve the experimental design.

It is recommended to investigate the underlying reasons for the observed periods (up to a year) with elevated suspended solids concentration in the estuary first before conducting more mussel bed construction trials in the Ems-Dollard estuary. It is believed that during these periods survival changes of mussel beds decline. If these periods are the result of human activities (dredging for example) effort could be made to prevent it to improve mussel bed survival. Measures that could decrease the suspended solids concentration will improve the survival changes of the intertidal mussel beds in the area as well. Examples of such projects include a project by which sludge is extracted from the estuary system and also the project by which a salt march is constructed. The formation- and survival of the in 2016 established mussel bed proves that natural establishments of mussel beds is possible. As conditions allow for survival of beds, there are no reasons to think why beds could not form and develop naturally in the estuary. Human intervention is not needed. Due to the irregularity of years with good spat fall and variation in the locations where mussel spat falls, natural establishment of beds might require some patience. In situations where intertidal beds are unintendedly damaged or in a situation where damaging them cannot be avoided, in construction of cables for instance, the availability of a technique to initiate a bed can be of use in order to compensate for the damage done.

There is room for and a need to further optimize and test the techniques that were tested here, as both the 'cockle' and 'net' technique are believed to have potential but have not been tested to its full extent nor are fully proofed to work. First of all the success rate of mussel spat collection on the nets need to be improved by finding more suitable and reliable sites. In the search for sites, the experience from commercial mussel seed collectors can be used. It is also advisable to investigate the environmental conditions at successful collector sites and use this information to find suitable locations. Secondly suitable test sites on the tidal flat need to be found. As the technique is still in a development phase, it is recommended to select sites with favourable conditions for mussel survival. They can be found at tidal flats located near sea inlets. On these flats, areas with a more sandy substrate and with presence of shell material, and preferably where historically mussel beds have been located, should be selected. Measures to decrease the chance of detachment and subsequent erosion of mussels should aim at decreasing the chance for food limitation and oxygen depletion. They could include testing variations in mussel densities, mussel patch coverage and net-mesh sizes. It is recommended to test variations in execution with enough replicas to prevent outcomes to be the result of unforeseen differences in local autonomic developments. The 'learning by doing' principle is then abandoned or at least interpreted more broadly.

---

# 1 Inleiding

De Eems-Dollard estuaria werd in 1991, tegelijk met de rest van de Waddenzee, aangewezen als Vogelrichtlijn (VR) gebied. Doordat de Nederlands-Duitse landsgrens in de Eems-Dollard estuarium ter discussie staan werd deze in 2009 uit de aanwijzing van de Waddenzee als Habitatrictlijngebied gehouden. In 2010 is gestart met overleg tussen Nederlandse- en Duitse overheden om te komen tot aanwijzing van het gehele Eems-estuarium als Natura 2000-gebied. Op 30 maart 2017 werd de Eems-Dollard aangewezen als speciale beschermingszone onder de habitatrictlijn waarbij het wordt opgenomen als onderdeel van het Habitatrictlijngebied Waddenzee (Wijzigingsbesluit Natura 2000-gebied #1, 2017).

Het estuarium van de Eems-Dollard bestaat grotendeels uit permanent onder water staande geulen en intergetijdengebieden (gebieden die droogvallen in periodes van laagwater) en die deel uitmaken van het habitattype estuaria (H1130). De (Nederlandse) staat van dit habitattype is zeer ongunstig (H1130 Estuaria, versie 2016). Het (Nederlandse) landelijke doel is uitbreiding van het oppervlak (voorzien voor de Westerschelde) en verbetering van de kwaliteit. Voor de Eems-Dollard estuarium is de doelstelling een behoud van het oppervlak en een verbetering van de kwaliteit. Een van de verbeterdoelstellingen betreft een zo spoedig mogelijk herstel van de droogvallende mosselbanken omdat deze een kenmerkend onderdeel vormen voor een goede structuur en functie van H1130. Als referentietoestand voor H1130 geldt het jaar 2008 toen de Eems-Dollard op de lijst van Gebieden van Communautair Belang geplaatst werd. In 2008 lag er 118.3 ha aan mosselbanken (vooral op de zandplaat Hond-Paap) welke afgenomen is tot 12.8 ha in 2015 Baptist & Geelhoed (2016). Het is de wens om de vorming van droogvallende mosselbanken te stimuleren om daarmee een kwaliteitsverbetering in het estuarium te bewerkstelligen.

## 1.1 Herstelpogingen

Uit de verschillende pogingen die in het verleden gedaan zijn, en momenteel uitgevoerd worden, blijkt de moeilijkheid om droogvallende mosselbanken aan te leggen; de meeste banken verdwenen, om verschillende redenen, snel nadat ze aangelegd waren, Danker & Fey-Hofstede (2015) en de Paoli (2017). Wel hebben deze pogingen inzicht verschaft in factoren die van belang zijn voor een succesvolle aanleg en tevens duidelijk gemaakt wat niet goed werkt. Ook zijn onderzoeken naar mosselbankecologie uitgevoerd in onder andere Mosselwad en Waddensleutels die belangrijke inzichten hebben verschaft. Verschillen tussen mosselen van droogvallende- en ondergedoken banken zijn duidelijk geworden en inzicht is verkregen in factoren die van belang zijn bij de vorming van stabiele droogvallende mosselbanken die jaren op min of meer dezelfde plek aanwezig kunnen zijn. De onderzoeken hebben echter niet geleid tot één of meerdere beproefde technieken waarmee droogvallende mosselbanken gevormd kunnen worden.

---

## 1.2 Kennisvraag

Op dit moment is er geen beproefde methodiek beschikbaar waarmee meerjarige droogvallende mosselbanken gevormd kunnen. Hiernaast is het niet duidelijk in welke mate de milieucondities in het estuarium bijgedragen hebben aan de afname in droogvallende mosselbanken van de afgelopen jaren.

In het onderzoek dat in dit rapport beschreven is worden de volgende twee hoofdvragen behandeld:

- (1) In welke mate ondersteunen de milieucondities in het Eems-Dollard estuarium de vorming van stabiele droogvallende mosselbanken?
- (2) Op welke wijze zou, op basis van de meest recente inzichten en met de hoogste kans van slagen, een meerjarige droogvallende mosselbanken gevormd kunnen worden?

Bij onderzoeksvraag 1 kunnen de volgende deelvragen gesteld worden:

- Wat zijn de milieucondities (voedsel kwantiteit, slib gehalte en zoutgehalte) in de Eems-Dollard en hoe verhouden deze zich tot de andere getijdenbekkens in de (Nederlandse) Waddenzee?
- Wat is de trend over de tijd voor deze parameters in het Eems-Dollard estuarium?
- Zijn er gradiënten aanwezig in de Eems-Dollard?
- Hoe gevoelig zijn mosselen voor deze parameters?
- Zijn mosselen, van verschillende oorsprong, in staat zich aan te passen aan de condities op de Hond en Paap wadplaat en kunnen ze overleven en groeien?

Bij onderzoeksvraag 2 kunnen de volgende deelvragen gesteld worden:

- Wat is de meest recente kennis over variabelen die de stabiliteit van droogvallende mosselbanken bepalen?
- Wat kan er geleerd worden uit de pogingen die in het verleden gedaan zijn om mosselbanken aan te leggen?
- Wat is een kansrijk geachte methodiek om droogvallende mosselbanken aan te leggen en waar liggen geschikte locaties in de Eems-Dollard om deze te beproeven?

Aangezien zowel Duitsland als Nederland aanspraak maakt op het gebied is een nauwe betrokkenheid van Duitsland bij het maken van plannen en het herstellen van droogvallende mosselbanken essentieel voor het slagen ervan. Belangrijke projectdoelstelling is daarom het opzetten van een Nederlandse-Duitse samenwerking. Een tweede belangrijke projectdoelstelling is te werken volgens het credo "leren door doen". De filosofie van 'leren door te doen' houdt in dat men zich concentreert op het in de praktijk testen van methoden waarvan wordt aangenomen dat deze de grootste kans op succes hebben en bijvoorbeeld niet factoren die de overleving van de mosselbank bepalen onderzoekt of minder veelbelovende technieken onderzoekt.

---

## 2 Vooronderzoeken

Voordat gestart is met de uitwerking en uitvoering van de mosselbank aanlegproef is onderzocht in welke mate de condities in het Eems-Dollard gebied geschikt zijn voor mossel(bank)overleving. Dit deelonderzoek bestond uit een korte literatuurreview naar de dose-effect relaties tussen zwevende stof gehalten, een analyse van milieucondities (waterkwaliteit), een analyse van de historische mosselbank voorkomens in het gebied en een veldproef waarin de groei- en overleving van mosselen beproeft is.

### 2.1 Voedsel, zwevende stof en zoutgehalte

Mosselen verkrijgen hun voedsel door het zwevende stof uit het water te filteren. Zwevend stof bestaat uit anorganisch- en levend of dood organisch materiaal. Afhankelijk van de grootte en kwaliteit vormt het organisch materiaal voedsel van de mossel (Dankers & Fey-hofstede, 2015). Mosselen kunnen deeltjes uit het water filteren en geschikt materiaal naar de mond transporteren en ongeschikte deeltjes verwijderen in de vorm van pseudofaeces. Hierbij wordt door de mossel geproduceerd mucus (slijm) als transportmiddel gebruikt. Hoe meer onverteerbare delen in het zwevende stof aanwezig zijn hoe meer energie de mossel kwijt is met het filteren, transporteren en uitscheiden van deze deeltjes. Hoe lager de concentratie organisch materiaal in het zwevende stof hoe minder energie (voedsel) gewonnen wordt bij dit proces.

Te hoge concentraties (anorganisch) zwevende stof kunnen tot negatieve effecten op de mossel leiden. Effecten die kunnen optreden zijn een afname van de voedselopnamesnelheid, een verhoogde productie van pseudofaeces, afname van de pompsnelheid en daarmee verlaagd zuurstofaanbod, hogere energiebehoefte en respiratie, aanpassing van de morfologie, een verminderde groei en uiteindelijk ook sterfte (Tamis, 2016 & Essink et al., 1985 & 1999). De morfologische reactie op verhoogde zwevende stof concentraties bestaat eruit dat de kieuwen van de mosselen kleiner worden en de palpen groter (beide organen zijn betrokken bij het filteren van water en uitscheiden van ongewenste deeltjes) (Capelle et al., 2021; Essink, 1999). Sterfte kan optreden bij extreem hoge concentraties en is waargenomen bij 1220 mg/l (Purchon, 1937).

De relatie tussen het zwevende stof gehalten en filtratiesnelheid vertonen een optimumcurve. Bij lage zwevende stof concentraties neemt de filtratiesnelheid toe vanwege de rol als voedsel. Bij hoge zwevende stof concentraties neemt de energetische kosten voor het transporteren en uitscheiden van de anorganische fractie toe waardoor de filtratiesnelheid afneemt. Vanaf zeer lage zwevende concentraties neemt de filtratiesnelheid dus toe. Widdows et al., (1979) vond dat al bij een concentratie van 5 mg/l zwevende stof de productie van pseudofaeces op gang kwam. Afhankelijk van de grootte van de mossel bereikt de filtratiesnelheid een optimum bij 100 tot 200 mg/l om daarna af te nemen tot nul vanaf 250 tot ca. 380 mg/l, Widdows et al., (1979). Prins en Smaal vonden al bij lagere zwevende stof concentraties een afname in voedselopnamesnelheid, namelijk bij concentraties van 50 mg/l. Dit verschil in onderzoeksresultaten kan mogelijk veroorzaakt worden doordat de mosselen gebruikt voor de experimenten van Widdows afkomstig waren uit Lynher (een estuarium in Engeland) en mogelijk morfologisch beter aangepast waren aan hoge zwevende stof concentraties in vergelijking met de mosselen gebruikt door Prins en Smaal die uit de Oosterschelde kwamen. Net als Widdows et al., (1979) vonden Prins en Smaal (1989) ook een verlies in mosselgewicht bij zwevende stof concentraties boven de 200 mg/l.

In de Waddenzee zijn, onder invloed van de Noordzee enerzijds en zoetwaterafvoer anderzijds, gradiënten in het zoutgehalten aanwezig (Bouma et al, 2005; Baptist et al., 2019; en de Kok, 2000). Bij de zeegaten, die onder invloed staan van Noordzeewater, zijn zoutgehalten hoog en is er weinig fluctuatie in het zoutgehalten. In gebieden die onder invloed staan van riviermondingen (estuaria) en door spui van zoet oppervlakte water in de Waddenzee, bijvoorbeeld bij de afsluitduik, liggen

---

gemiddelde zoutgehalten lager. Bovendien treden in deze gebieden, als gevolg van variatie in rivierafvoer- en het spuidebiet, grotere fluctuaties op in het zoutgehalte (de Kok, 2002). Mosselen (*Mytilus edulis*) die in de Waddenzee voorkomen zijn aangepast aan fluctuaties in zoutgehalten. Nagarajan et al. (2006) vond dat mosselen periodes met verlaagde zoutgehalten overleven door hun kleppen te sluiten en over te gaan op anaerobe ademhaling. Lage zoutgehalten kunnen indirect een positieve effect hebben op mosselen, wanneer, als gevolg van verlaagde zoutgehalten, de predatiedruk uitgeoefend door zeesterren op ondergedoken mosselen afneemt volgens Agüera Garcia (2015). Troost et al. (2015) vond dat in gebieden boven de afsluitdijk, waar zoutgehalten lager zijn, het meest frequent ondergedoken mosselbanken aangetroffen worden. Troost et al., (2015) vond dat in gebieden boven de Afsluitdijk, waar zoutgehalten lager zijn, zeer frequent ondergedoken mosselbanken aanwezig zijn.

Hoewel mosselen een grote tolerantie hebben voor variaties in het zoutgehalte heeft een verlaging van het zoutgehalte wel invloed op de morfologie van mosselen en de filtratie- en groeisnelheden. Riisgard et al. (2013) hebben het aanpassingsvermogen van mosselen op een verlaging van het zoutgehalte onderzocht voor mosselen afkomstig van zowel de Oostzee en de Grote Belt (Denemarken). De filtratiesnelheid van mosselen afkomstig van de Grote Belt, die waren geacclimatiseerd aan zoutgehalten van 17 PSU, bleek sterk verlaagd te zijn wanneer ze blootgesteld werden aan zoutgehalten lager dan 10 PSU. De filtratie van mosselen afkomstig uit de Oostzee (geacclimatiseerd aan 20 PSU) lieten alleen een tijdelijke afname in filtratiecapaciteit zijn wanneer ze blootgesteld werden aan 6 PSU. Westerbom et al., (2001) onderzochten de invloed van een zout gradiënt aanwezig in de Oostzee op de morfologie en groeisnelheid van mosselen. Ze vonden dat bij afnemende zoutgehalten zowel de schelpenlengte als de biomassa sterk afnam en concludeerde dat het zoutgehalte de belangrijkste factor was die de grootte structuur en groei van de mosselen bepaalden in dat gebied.

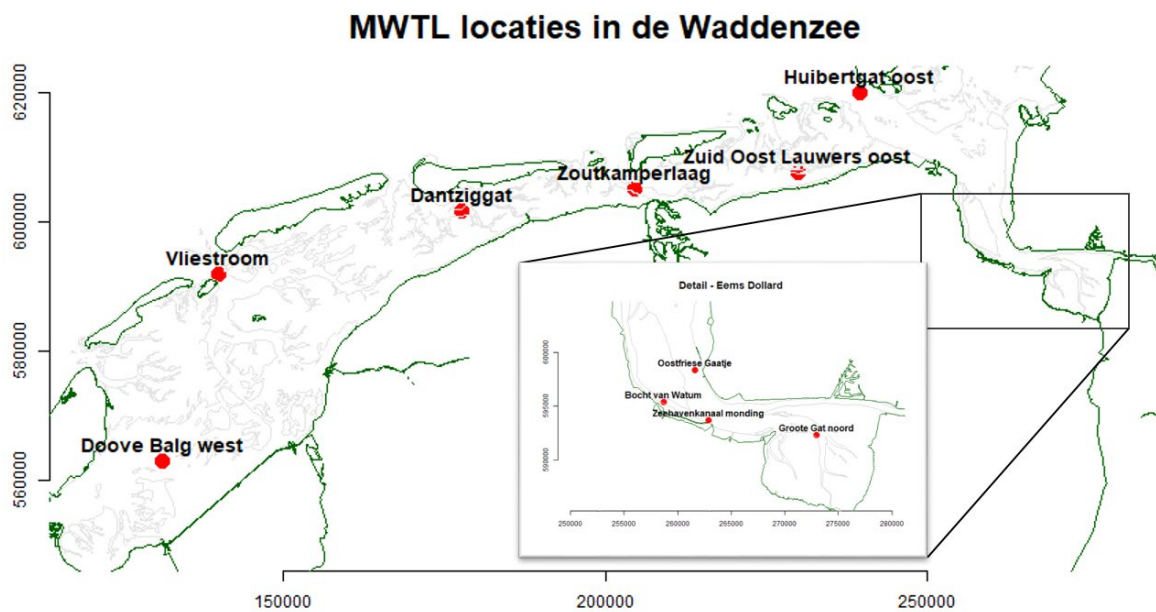
## 2.2 Waterkwaliteit

De concentraties aan chlorofyl-a- (als maat voor de beschikbaarheid van algen), totaal zwevende stof en het zoutgehalte zijn verkregen uit het MWTL (Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands) programma. Door de concentratie van zwevende stof te delen door concentratie chlorofyl-a zijn ratio's berekend. Hoge ratio waarden zijn indicatief voor ongunstige condities voor mosselen omdat er dan relatief veel (anorganisch) zwevende stof aanwezig is ten opzichte van de hoeveelheid algen. Wanneer de verhouding tussen de zwevende stof en chlorofyl-a concentratie erg ongunstig wordt (bv wanneer er heel veel zwevende stof en weinig chlorofyl-a aanwezig is) is het op een gegeven moment energetisch niet meer rendabel om het water te filtreren. Op dat moment stopt een mossel met het filtreren van het water en teert hij in op zijn vetreserves.

Data van MWTL meetstations gelegen in het Eems-Dollard estuarium zijn vergeleken met data van MWTL meetstations gelegen in de andere kombergingsgebieden van de Waddenzee ter referentie. Voor de meeste stations zijn gegevens gebruikt voor de periode 1988 tot en met 2016. Door gegevens te bekijken van MWTL meetstations gelegen binnen het Estuarium is onderzocht of er gradiënten aanwezig zijn. Hiervoor zijn MWTL meetgegevens gebruikt die verzameld zijn in de periode 1988 tot en met 1995. In Tabel 1 is een overzicht gegeven van de MWTL meetstations en meetperiodes die gebruikt zijn in de analyses. In Figuur 1 zijn de locaties van de MWTL meetstations die voor deze studie gebruikt zijn weergegeven op een kaart van de Waddenzee. In de meeste gevallen waren er voor elke stations drie metingen per maand of meer beschikbaar. Dit onderzoek heeft plaatsgevonden eind 2017.

Tabel 1. Gebruikte MWTL meetstations per kombergingsgebied en de meetperiode per station die gebruikt zijn in de analyses.

MWTL meetstation	Kombergingsgebied	Meetperiode	
		van	tot
Bocht van Watum	Eems-Dollard	1988	2016
Dantziggat	Borndiep	1988	2016
Doove Balg west	Marsdiep	1988	2016
Vliestroom	Vlie	1988	2016
Zoutkamperlaag	Zoutkamperlaag	1988	2009
Zuid Oost Lauwers oost	Lauwers	1988	2009
Bocht van Watum	Eems-Dollard (tbv gradient)	1988	1995
Groote Gat noord	Eems-Dollard (tbv gradient)	1988	1995
Huibertgat oost	Eems-Dollard (tbv gradient)	1988	1995
Oostfriese Gaatje	Eems-Dollard (tbv gradient)	1988	1995
Zeehavenkanaaldijk monding	Eems-Dollard (tbv gradient)	1988	1995

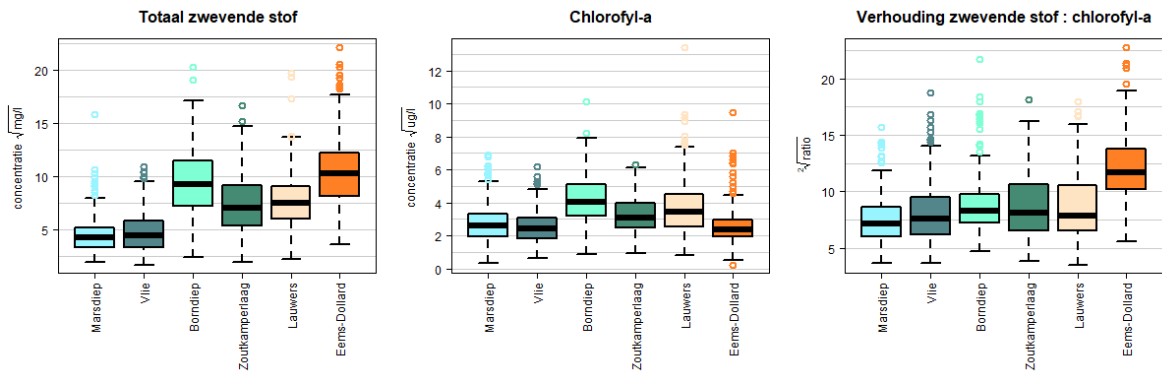


Figuur 1. Kaart van de Waddenzee met daarin de locaties van de gebruikte MWTL meetstations die gebruikt zijn in de analyses.

### 2.2.1 Vergelijking tussen kombergingen

In Figuur 2 zijn de concentraties voor zwevende stof en chlorofyl-a in de waterkolom weergegeven zoals gemeten binnen het MWTL meetprogramma en voor de meetstations gelegen in de verschillende kombergingen van de Waddenzee, zie ook Tabel 1. Ook is de ratio tussen beide parameters berekend en weergegeven in Figuur 2. Lage ratio waarden zijn gunstiger voor mosselen dan hoge ratio waarden.

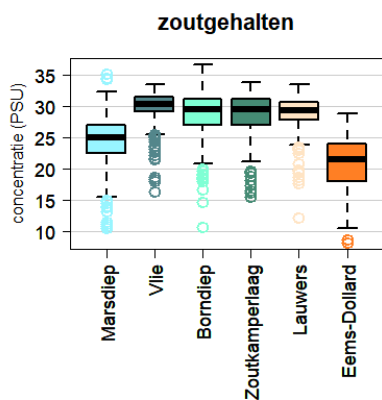




Figuur 2. Boxplots met wortel getransformeerde concentratie (totaal) zwevende stof (links), wortel getransformeerde concentratie chlorofyl-a (midden) en dubbele wortel getransformeerde ratio zwevende stof : chlorofyl – a (rechts) zoals gemeten in het MWTL meetprogramma voor stations gelegen in de Eems-Dollard en voor stations gelegen in de overige kombergingsgebieden van de Waddenzee in de periode 1988-2016.

In Figuur 2 is te zien dat in vergelijking met de andere kombergingsgebieden de zwevende stof concentraties relatief hoog zijn in de Eems-Dollard waar ook de hoogst maximale concentraties gemeten zijn. Concentraties zijn wat lager in de kombergingsgebieden Borndiep, Lauwers en Zoutkamperlaag gevolgd door concentraties gemeten in Marsdiep en Vlie. Zoals in het profiel H1130 beschreven staat is een hoge troebelheid een abiotisch kenmerk van habitatype estuarium waar zee- en rivierstromingen elkaar treffen (H1130 Estuaria - versie 2016). De relatief hoge zwevende stof concentraties gevonden voor de Eems-Dollard is daarom vanuit ecologisch oogpunt niet onverwacht.

De chlorofyl-a concentraties die gemeten zijn in de MWTL meetstation gelegen in de Eems-Dollard zijn vergelijkbaar met Marsdiep en Vlie en lager dan in Borndiep, Zoutkamperlaag, zie Figuur 2.

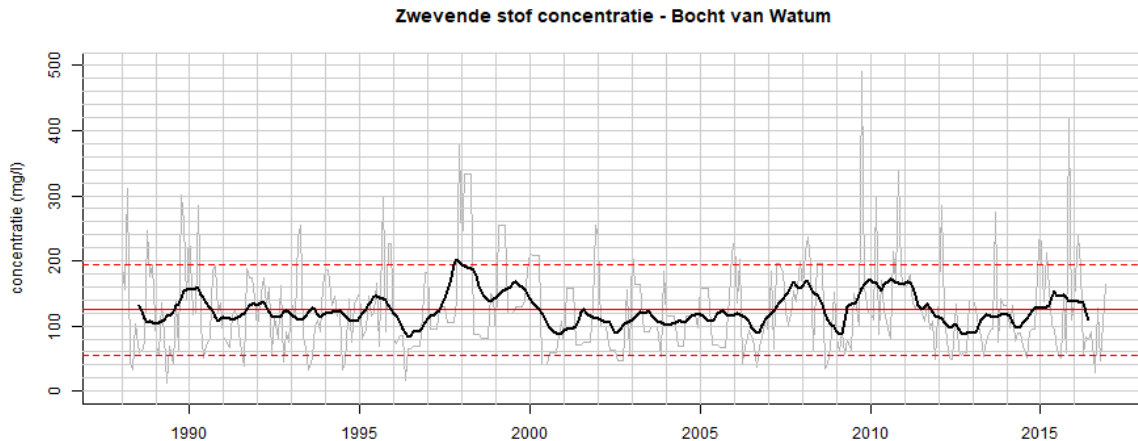


Figuur 3. Boxplots met de variatie in het zoutgehalte zoals gemeten in het MWTL meetprogramma voor stations gelegen in de Eems-Dollard en voor stations gelegen in de overige kombergingsgebieden van de Waddenzee in de periode 1988-2016.

Door invloed van onder andere het zoete water afvoer vanuit de Eems rivier is het zoutgehalte wat lager in het estuarium. Dit is terug te zien in Figuur 3, waar het zoutgehalte in het estuarium ongeveer halverwege het zeegat en de Eemsmond (meetstation Bocht van Watum) vergeleken wordt met de zoutgehalten gemeten op de MWTL meetstations gelegen in de overige kombergingen van de Waddenzee, zie Figuur 3. Ook dit is een natuurlijk verschijnsel voor estuaria welke onder invloed staan van rivieren.

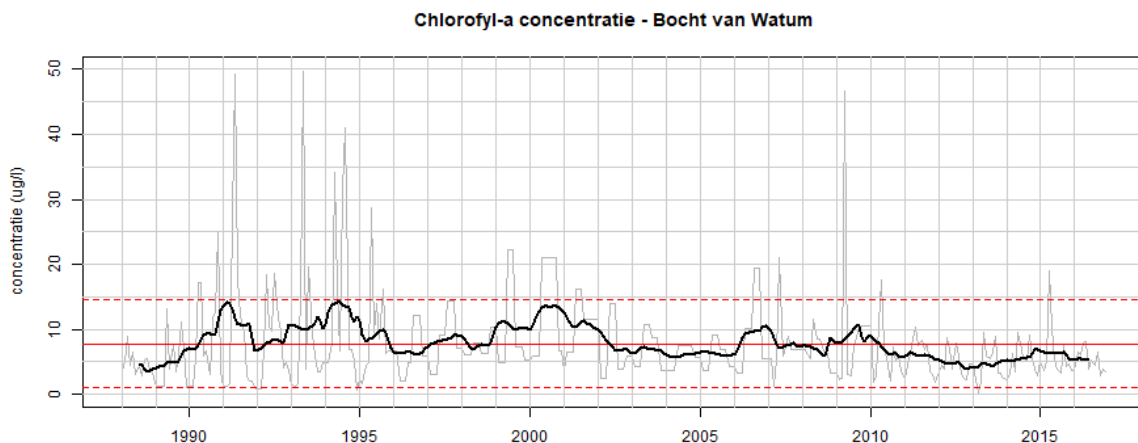
## 2.2.2 Trend over de tijd

In Figuur 4 t/m Figuur 6 zijn de maandgemiddelde concentraties (grijze lijn) en de trend (zwarte lijn) in de zwevende stof-, chlorofyl-a en de ratio tussen beide parameters weergegeven voor de MWTL meetstation Bocht van Watum en voor de periode 1988-2016. De trend is berekend met een voortschrijdend gemiddelde met een venster van één jaar. In deze periode is een gemiddelde zwevende stof concentratie gemeten van 125 mg/l ( $\pm 69$  mg/l), zie de rode doorgetrokken en rode stippellijnen in Figuur 4. Hiernaast is te zien dat er regelmatig concentraties boven de 200 mg/l gemeten zijn, de grijze lijn in het figuur. Ook zijn er langere periodes met verhoogde zwevende stof concentratie te zien (zie grijze- en zwarte lijnen). Zo lag de zwevende stof concentratie in de jaren 1990, 1998, 1999, 2008, 2010 en 2011 wat hoger dan het langjarig gemiddelde, zie Figuur 4.



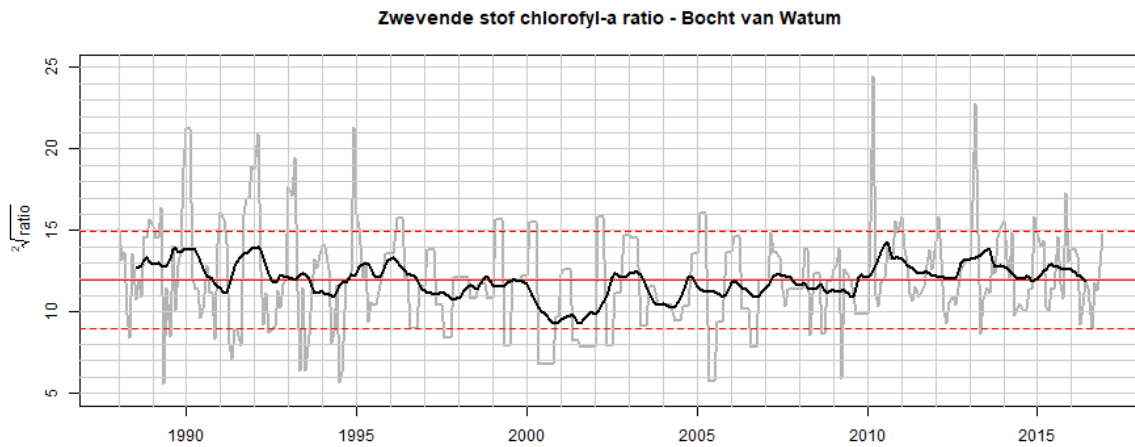
Figuur 4. De zwevende stof concentratie zoals gemeten in MWTL meetstation Bocht van Watum voor de periode 1988 tot en met 2016. Met de grijze lijn wordt de maandgemiddelde waarde weergegeven, met de zwarte lijn wordt het voortschrijdend gemiddelde (venster van een jaar) weergegeven. De doorgetrokken rode lijn geeft de gemiddelde concentratie over de meetperiode weer en de rode stippellijnen de variatie ( $\pm 1$  standaarddeviatie).

De chlorofyl-a concentratie zoals gemeten in MWTL meetstation Bocht van Watum is gemiddeld over de meetperiode 7.8  $\mu\text{g/l}$  ( $\pm 6.8$   $\mu\text{g/l}$ ), zie Figuur 5. In de jaren 1991, 1994 en 2000 lagen concentraties wat hoger dan het langjarig gemiddelde. De chlorofyl-a concentratie ligt in de periodes 1988-1990 en 2010-2016 juist wat lager dan het langjarig gemiddelde, zie Figuur 5.



Figuur 5. De chlorofyl-a concentratie zoals gemeten in MWTL meetstation Bocht van Watum voor de periode 1988 tot en met 2016. Met de grijze lijn wordt de maandgemiddelde waarde weergegeven, met de zwarte lijn wordt het voortschrijdend gemiddelde (venster van een jaar) weergegeven. De doorgetrokken rode lijn geeft de gemiddelde concentratie over de meetperiode weer en de rode stippellijnen de variatie ( $\pm 1$  standaarddeviatie).

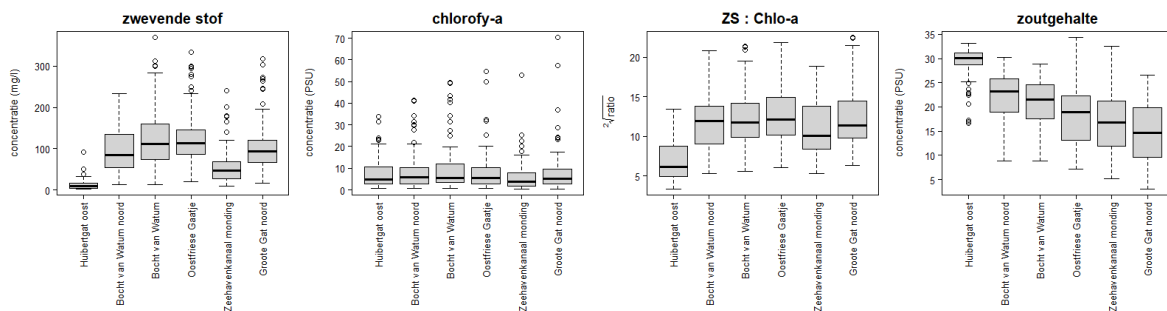
De (dubbele wortel getransformeerde) ratio tussen de zwevende stof en chlorofyl-a concentratie voor MWTL meetstation Bocht van Watum is gemiddeld over de meetperiode 11.9 ( $\pm$  3.0), zie Figuur 6. In de periodes 1988-1995 en 2010-2016 lagen ratio's geregeld boven het langjarige gemiddelde. In het laatste decennia zijn tweemaal langere periodes van ongunstige ratio's geobserveerd. Hoge ratio waarden worden gevonden van halverwege 2009 tot en met eind 2010 en van halverwege 2012 tot en met halverwege 2013.



### 2.2.3 Gradiënten

In de beginjaren van het MWTL meetprogramma waren er meer meetstations in de Eems-Dollard gelegen dan in de meer recente jaren. Om te zien in hoeverre er sprake is van een gradiënten in zoutgehalte, zwevende stof- en chlorofyl-a concentraties in de Eems-Dollard zijn daarom data voor de jaren 1988-1995 geselecteerd (zie ook Tabel 1). In die periode waren er 6 meetstations lopende van het zeegat tot de monding van de Eems rivier opgenomen in het programma, zie Figuur 1.

In Figuur 7 zijn boxplot grafieken getoond van de gemeten waarden voor de totaal zwevende stof, chlorofyl-a en de daaruit berekende ratio's evenals de gemeten zoutgehalte. Op de X-as zijn de MWTL meetstations weergegeven. Het uiterste noordoostelijke gelegen meetstation, Huibertgat oost is uiterst links op de x-as weergegeven en het meest zuidoostelijk gelegen meetpunt, het Groote gat noord, uiterst rechts.



Figuur 7. Boxplots met de concentratie zwevende stof (uiterst links), -chlorofyl-a (links midden) en dubbele wortel getransformeerde ratio zwevende stof : chlorofyl - a (rechts midden) en het zoutgehalte (uiterst rechts) zoals gemeten in het MWTL meetprogramma voor stations gelegen in de Eems-Dollard in de periode 1988-1995.

---

Uit Figuur 7 valt op te maken dat in het zeegat (Huibertgat oost) de zwevende stof concentratie afwijkt en laag is ten opzichte van de andere meetstations in het estuarium. Gemiddeld over de onderzoeksperiode werd er 12.4 mg/l aan zwevende stof gemeten met een maximum van 92 mg/l. De relatief lage concentraties zijn een logisch gevolg van de instroom van helder Noordzeewater in het zeegat. De zwevende stof concentratie gemeten op locaties verder in het estuarium gelegen, Bocht van Watum noord, Bocht van Watum, Oostfriese Gaatje en Groote Gat noord, behoren tot de hoogst gemeten concentraties van de hier onderzochte stations. De gemiddelde concentraties liggen hoger dan de maximaal gemeten concentratie in Huibertgat oost. Het onderlinge verschil tussen deze meetlocaties is klein. De gemiddelde gemeten concentratie varieerde van 97 mg/l voor Bocht van Watum noord tot 128 mg/l voor Oostfriese Gaatje. De meetstation Zeehavenkanaal monding laat een tussen positie zien met hogere waarden dan in Huibertgat oost en lagere waarden dan de overige meetlocaties. Deze afwijking ten opzichte van nabijgelegen meetstations illustreert de invloed die uitstroom van water vanuit het eemskanaal en de zeehavenkanaal uitoefent op de (lokale) zwevende stof concentratie in het estuarium.

De gemiddelde chlorofyl-a concentraties die voor de meetstations gevonden wordt over de meetperiode lopende van 1988 tot en met 1995 laten geen grote verschillen, zie Figuur 7. Wel liggen de maxima in de zuidelijk gelegen meetstations wat hoger. Voor de hier geanalyseerde meetstations en -periode is een gemiddelde chlorofyl-a concentratie gemeten van 8 µg/l.

Verschillen in de ratio tussen de zwevende stof en chlorofyl-a concentratie tussen de meetstations worden dan ook voornamelijk bepaald door verschillen in zwevende stof concentraties en niet zo zeer door verschillen in chlorofyl-a concentraties. Op basis van deze metingen zijn de condities voor de mosselen in Huibertgat oost het beste met een gemiddelde ratio waarde van 6.9. Dit houdt in dat op deze locatie relatief weinig zwevende stof verwerkt hoeft te worden voor een eenheid voedsel. Ter hoogte van Bocht van Watum noord zijn de ratio's hoger (11.7) met een verslechtering van de milieucondities voor mosselen omdat dan relatief veel zwevende stof verwerkt moet worden voor eenzelfde eenheid voedsel. In de meer zuidelijk gelegen meetstations worden in vergelijking met Bocht van Watum, geen grote afwijkingen in ratio's gevonden die gemiddeld rond de 11-12 schommelt. Blijkbaar neemt, op dit punt, de milieucondities vanaf Bocht van Watum noord en verder naar het zuiden richting de monding van de eems niet verder af.

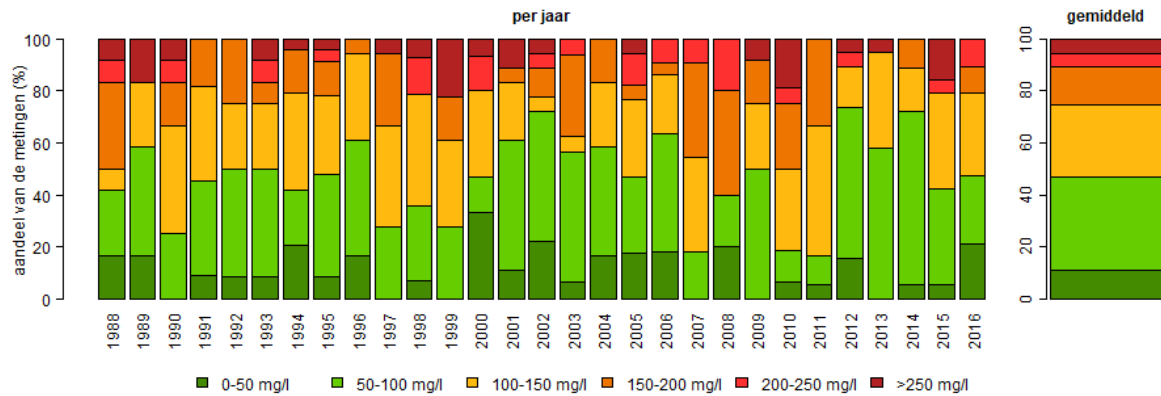
In Huibertgat oost is het zoutgehalte op het niveau dicht bij dat van zeewater (gemiddeld 29 PSU). Bij meetstation Bocht van Watum is het zoutgehalte afgenomen met 7 PSU en ligt gemiddeld op 22 PSU. Duidelijk is te zien dat het zoutgehalte verder afneemt naarmate meetstations dicht bij de monding van de Eems rivier liggen, zie Figuur 7. Bij Groote Gat noord is een gemiddelde zoutgehalte van 15 PSU gevonden en worden regelmatig gehalten <10 PSU gevonden.

#### 2.2.4 Frequentie van verhoogde zwevende stof concentraties

Om een indruk te krijgen hoe frequent de zwevende stof concentratie in het estuarium bepaalde concentratieniveaus overstijgt waarbij effecten op mosselen niet uit te sluiten zijn, zijn de metingen van de MWTL meetstations Bocht van Watum (meetperiode 1988-2016) en Oostfriese Gaatje (periode 1988-1995) geanalyseerd. Voor ieder jaar is berekend welk aandeel van het totaal uitgevoerde metingen valt binnen zes vooraf gedefinieerde concentratie intervallen, zie Figuur 8 en Figuur 9.

In Figuur 8 is te zien dat voor meetstation Bocht van Watum ongeveer de helft van de metingen (53%) boven een zwevende stof concentratie ligt van 100 mg/l. Een kwart (25%) van de metingen ligt boven 150 mg/l. In 11% van de metingen lag het zwevende stof concentratie nog hoger, namelijk boven de 200 mg/l en in ongeveer 6% van de metingen is een concentratie van boven de 250 mg/l gemeten.

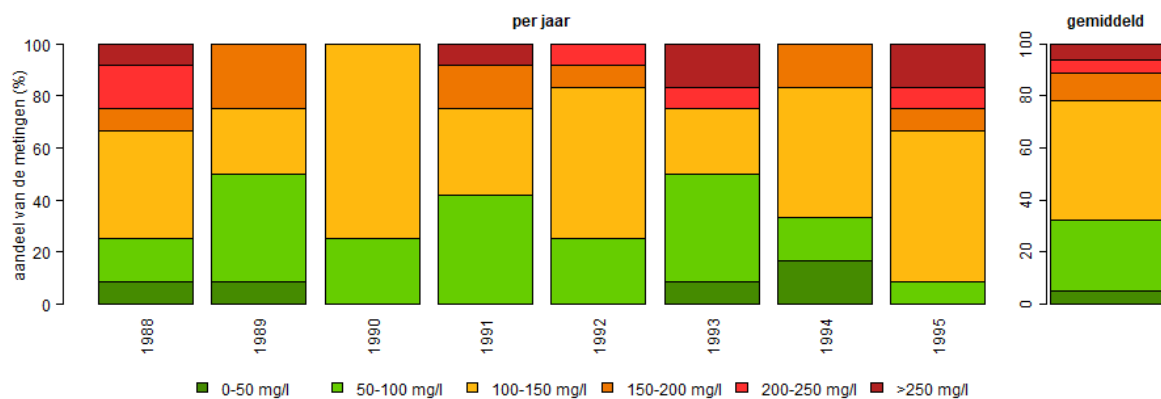
### Verdeling van de zwevende stof metingen verricht bij Bocht van Watum voor verschillende concentratieniveaus



Figuur 8. Bardigram met de verdeling van de zwevende stof concentratie gemeten bij MWTL meetstation Bocht van Watum over de periode 1988 tot en met 2016 verdeeld over verschillende concentratie intervallen. In het linker figuur de verdeling van de metingen per jaar en in het rechter figuur de gemiddelde verdeling van de metingen over de periode 1988-2016.

In Figuur 9 is te zien dat gemiddeld in 68% van de metingen verricht in Oostfriese Gaatje de zwevende stof concentratie boven een niveau van 100 mg/l lag en 22% van de metingen boven een niveau van 150 mg/l. In 11% van de metingen lag de zwevende stof concentratie boven de 200 mg/l en in 6% boven 250 mg/l. Net als voor meetstation Bocht van Watum het geval is, wisselt de verdeling van metingen die bepaalde niveaus overschrijden sterk van jaar tot jaar.

### Verdeling van de zwevende stof metingen verricht bij Oostfriese Gaatje voor verschillende concentratieniveaus



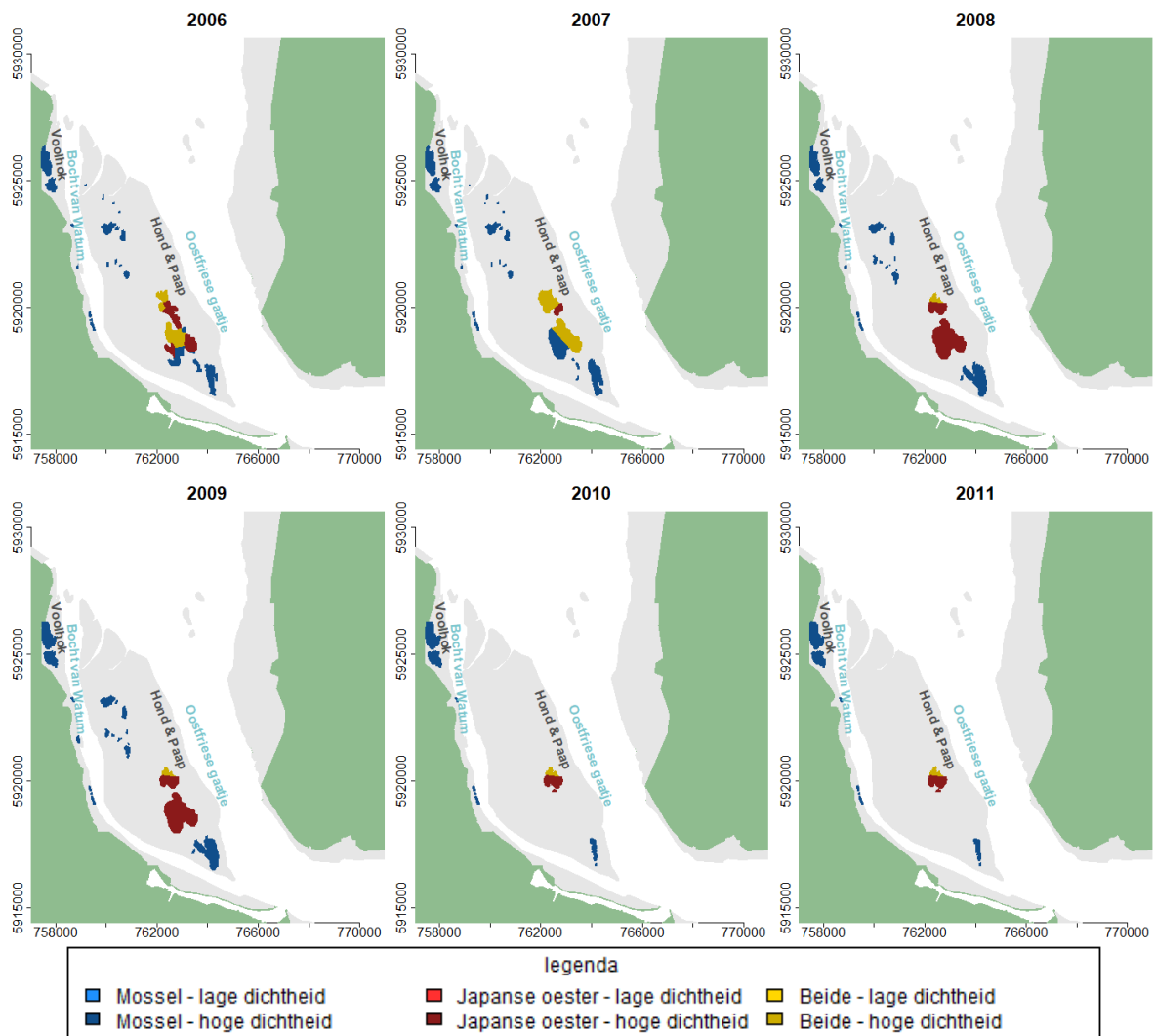
Figuur 9. Bardigram met de zwevende stof concentratie gemeten bij MWTL meetstation Oostfriese Gaatje over de periode 1988 tot en met 1995 verdeeld over verschillende concentratie intervallen. In het linker figuur de verdeling van de metingen per jaar en in het rechter figuur de gemiddelde verdeling van de metingen over de periode 1988-1995.

Voor zowel het meetstation Bocht van Watum als voor het meetstation Oostfriese Gaatje geldt dus dat geregeld zwevende stof concentraties boven de 200 mg/l aangetroffen zijn. Voor dergelijke concentratieniveaus zijn negatieve effecten op mosselen aangetoond en bij langdurige blootstelling zijn negatieve effecten op mosselen dan ook niet uit te sluiten.

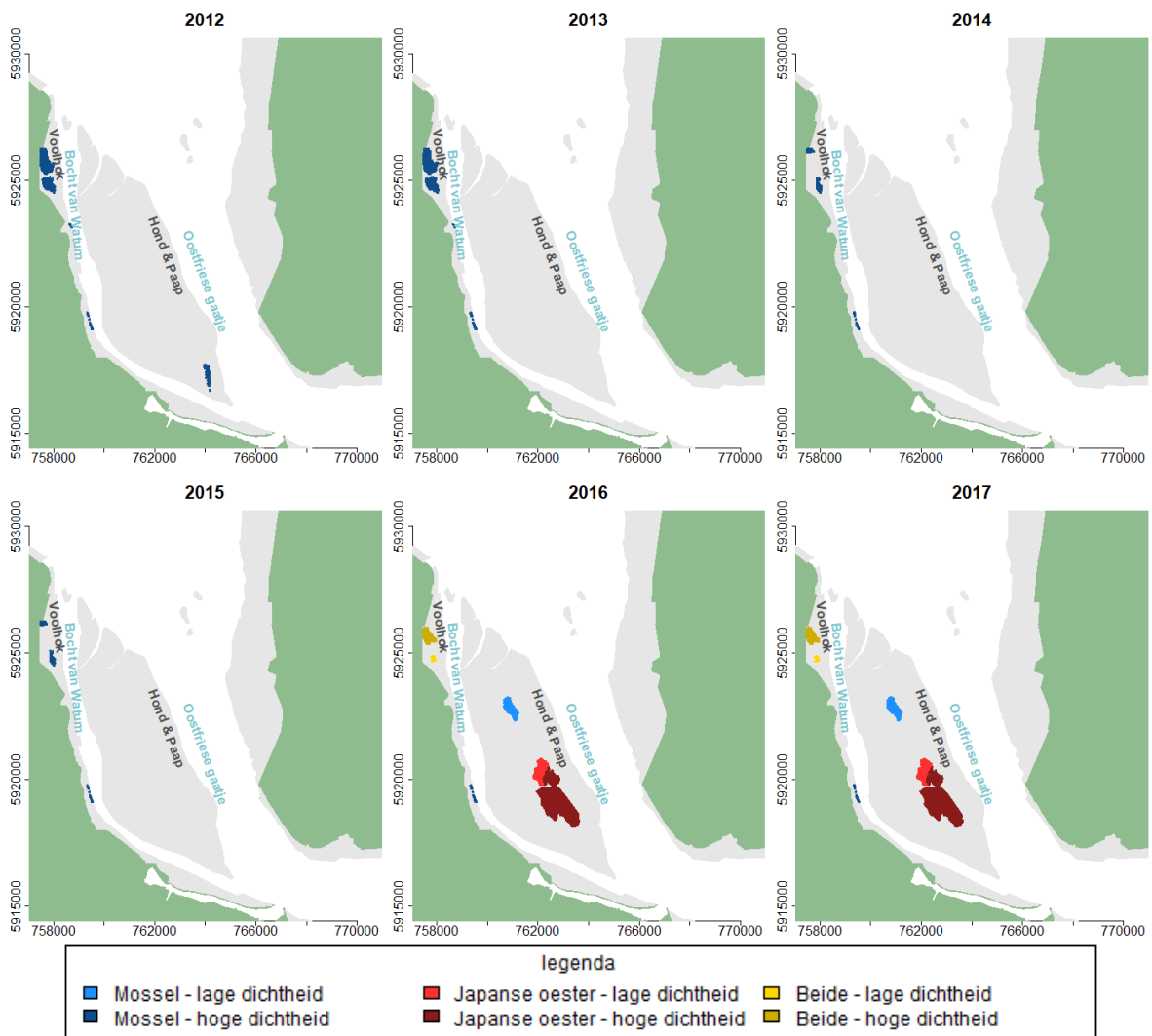
## 2.3 Voorkomens van droogvallende mosselbanken

Vanaf 1995 wordt jaarlijks en in opdracht van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV), binnen de wettelijke onderzoekstaken op het gebied van visserij, door Wageningen Marine Research het totale areaal aan droogvallende mossel-, oester- en gemengde banken geschat in de Nederlandse Waddenzee (Troost et al., 2021). Voor definities en werkwijze wordt verwezen naar Troost et al., (2021). Naast gegevens die binnen dit onderzoek verzameld zijn, zijn gegevens van een studie uitgevoerd door Dankers et al., (2005) gebruikt om de huidige arealen aan schelpdierbanken in een historisch perspectief te kunnen zetten. Deze gegevens beslaan niet de wadplaten grenzend aan de Duitse vaste wal.

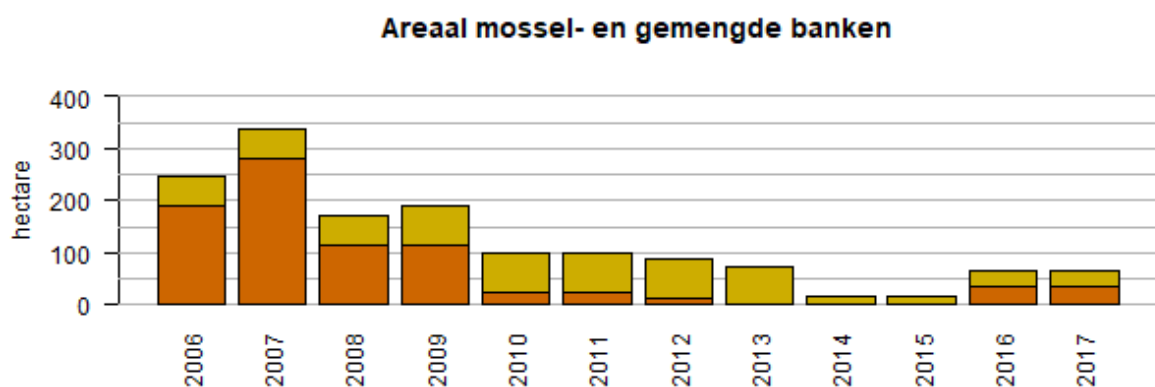
Sinds het begin van de WOT survey (1995) worden er mosselbanken in het gebied waargenomen (Troost et al., 2015). In 2004 zijn voor het eerst Japanse oesters (later in de tekst aangeduid als oesters) aangetroffen in het estuarium die waarschijnlijk in 2003 als oesterzaad in het gebied gevallen zijn (Dankers et al., 2005). Naast pure mosselbanken en oesterbanken komt ook de mengvorm van beide soorten voor. In Figuur 10 en Figuur 11 wordt de ontwikkeling voor de periode 2006 tot en met 2017 weergegeven. De meest recente gegevens over de ligging van deze schelpdierbanken kunnen gevonden worden op de website [https://shiny.wur.nl/Schelpdiermonitor\\_Banken/](https://shiny.wur.nl/Schelpdiermonitor_Banken/).



Figuur 10. Aanwezigheid van droogvallende mosselbanken, Japanse oester banken en banken bestaande uit zowel mosselen als oester (beide) in het Ems-Dollard Estuarium voor de periode 2006 tot en met 2011. Gegevens zijn afkomstig uit inventarisatie die WMR uitvoerde in het kader van het WOT-visserij programma.



Figuur 11. Aanwezigheid van droogvallende mosselbanken, Japanse oesterbanken en banken bestaande uit zowel mosselen als oester (beide) in het Eems-Dollard Estuarium voor de periode 2006 tot en met 2011. Gegevens zijn afkomstig uit inventarisatie die WMR uitvoerd in het kader van het WOT-visserij programma.



Figuur 12. Bardiagrammen met het oppervlak aan mossel- en gemengde mossel/oesterbanken in het Eems-Dollard estuarium voor de periode 2006 tot en met 2017. Het areaal dat zich op de Hond Paap wadplaat bevindt is weergegeven met oranje staafdiagrammen en die aangetroffen zijn op wadplaten aangrenzende aan de vaste wal van Nederland met gele diagrammen. In 2016 is het gebied niet bezocht in het kader van dit programma. Door de ouderdom in te schatten van banken die in 2017 aangetroffen werden is het areaal in 2016 gereconstrueerd. Het oppervlak aan banken bestaande uit uitsluitend oesters is niet opgenomen in dit figuur. De hier gepresenteerde gegevens zijn afkomstig uit het WOT-visserij monitorprogramma van schelpdieren uitgevoerd door WMR.

Door het verdwijnen van mossel- en gemengde mossel/oester banken op de Hond en Paap wadplaat in 2010 zijn de wadplaten grenzend aan de Nederlandse wal belangrijk geworden voor het totale bankareaal in het estuarium, zie Figuur 10, Figuur 11 en Figuur 12. In de daarop volgende jaren verdwenen de resterende banken op de Hond en Paap wadplaten in zijn geheel. In 2013, 2014 en 2015 werden er geheel geen mossel- en gemengde banken op de Hond en Paap wadplaat aangetroffen. De banken gelegen op de wadplaten grenzend aan de vast wal van Nederland hebben zich weten te handhaven maar ook het areaal van die banken nam af in 2013. In 2013 en 2014 werd er een dieptepunt bereikt in het bankareaal over de hier onderzochte meetperiode toen er 17 hectare aanwezig was.

In 2017 is er op de Hond en Paap wadplaat een nieuwe (pure) mosselbank aangetroffen, Figuur 13. Door te kijken naar de mossellengte is bepaald dat deze in 2016 als zaad gevallen moet zijn (in 2016 is het gebied niet bezocht in het kader van het WOT programma). Het bankareaal aan mossel- en gemengde mossel-Japanse oester banken nam hierdoor in 2016 weer wat toe.



Figuur 13. De in 2016 nieuw gevormde mosselbank op de Hond en Paap wadplaat en zoals aangetroffen is in 2017 in dit onderzoek. Linker foto het noordelijke deel van de bank, rechterfoto een close up.

Alleen in de zuidelijk gelegen gebieden van de Hond en Paap wadplaat zijn pure Japanse oesterbanken aangetroffen, zie Figuur 10 en Figuur 11. Door sterfte verdwenen deze banken voor een groot deel in 2010 en in zijn geheel 2012. Door broedval van oesterlarven in de achtergebleven structuren van de dode Japanse oesterbank werd er in 2017 weer een pure oesterbanken aangetroffen worden in het gebied (persoonlijke communicatie Karin Troost). Na reconstructie is bepaald dat de in 2017 aangetroffen oesters in 2016 moeten zijn neergedaald als larven.

## 2.4 Overlevingsproef

Het is niet bekend of mosselen die van elders en van verschillende oorsprong zich weten aan te passen aan de condities in het Eems-Dollard estuarium. Om hier meer duidelijkheid over te krijgen is een veldexperiment uitgevoerd met mosselen afkomstig van een droogvallende mosselbank, van een ondergedoken mosselbank en van een mosselzaad invanginstallatie (MZI). Waterkwaliteitsmetingen zijn uitgevoerd om verschillen in overleving en groei te kunnen relateren aan milieucondities. Dit onderzoek heeft begon eind 2017 en liep door tot begin 2018.

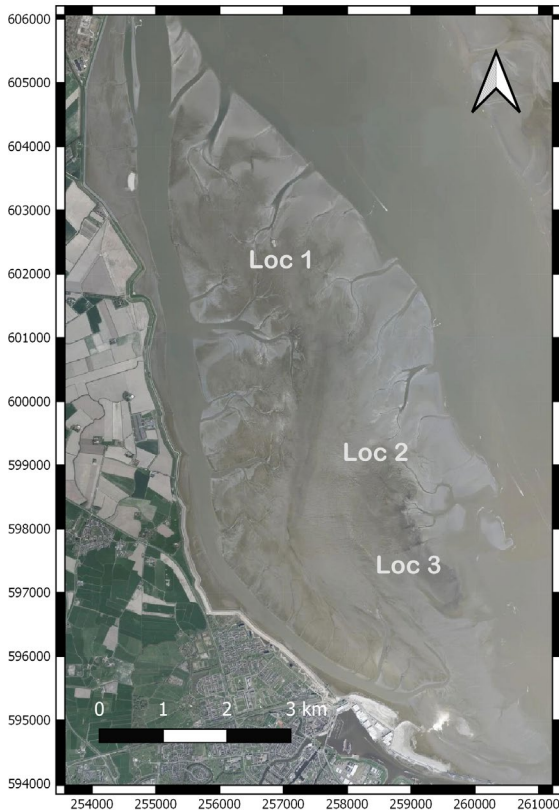
### 2.4.1 Methode

De groei en overleving van de mosselen is beproeft op drie locaties en voor drie droogvalduurregiems. De test is in drievoud uitgevoerd. De droogvallende mosselen zijn verzameld bij het Roode hoofd (onder Schiermonnikoog), de ondergedoken mosselen kwamen van Boontjes (zuidelijk van Harlingen) en het MZI mosselzaad is verkregen uit installaties gelegen bij Neeltje Jans (Oosterschelde). De mosselen zijn op het laboratorium onderzocht of ze levend waren en wat hun schelpenlengte was. De mosselen zijn in mandjes geplaatst en op gezette tijden bemonsterd om de overleving en groei vast te kunnen stellen.



De drie proeflocaties bevonden zich grofweg in het midden van de wadplaat (in west-oostelijke richting) op een lijn die ongeveer van het noordwesten naar het zuidoost loopt over de wadplaat, zie Figuur 14. Op elk van de drie proeflocaties zijn drie lantarenpalen geplaatst op een onderlinge afstand van 100 meter. Aan elke lantarenpaal zijn mandjes bevestigd voor de huisvesting van de mosselen. De manden zijn op verschillende hoogtes opgehangen, -33 cm NAP, -9 cm NAP en +13 cm NAP, om respectievelijk een droogvalduur te verkrijgen van 35, 40 en 45%. Om vier bemonsteringsmomenten mogelijk te maken zijn batches van 30 individuen gemaakt van elke type origine en uitgehangen op elke paal en op elke hoogte. Dit resulteerde in negen lantarenpalen met aan iedere paal twaalf mandjes met mosselen (vier mandjes op elke hoogte) met in elk mandje 90 mosselen (30 per type). Omdat de wadplaat in het zuiden lager ligt dan in het noorden bevonden de mandjes zich in het zuiden hoger boven de wadplaat (enkele decimeters) dan in het noorden (enkele centimeters).

### locaties test



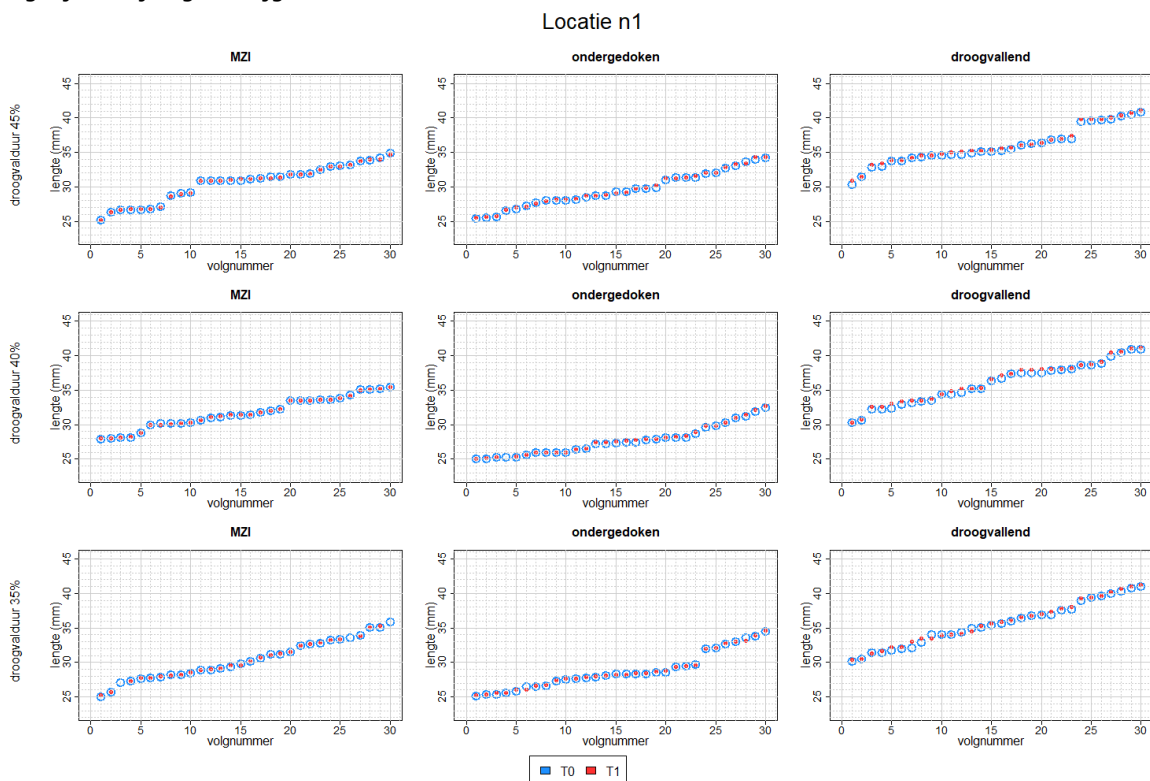
Figuur 14. Kaart met de drie proeflocaties in het paneel links. In de twee rechterpanelen foto's van mandjes met mosselen vastgemaakt aan de lantarenpalen.

Door verschillen in schelpenlengte tussen de mosselpopulaties bij de start en om ervoor te zorgen dat er voldoende mosselen aanwezig waren voor het experiment was het nodig om per populatie verschillende selecties in schelpenlengte te maken. De droogvallende mosselbank is in 2016 ontstaan waardoor de mosselen een jaar oud waren toen ze gebruikt werden voor dit experiment. Mosselen met een schelpenlengte tussen de 30 en 40 cm zijn geselecteerd wat resulteerde in een gemiddelde schelpenlengte van  $36.0 \pm 2.9$  cm. De ondergedoken mosselen betrof mosselzaadbank uit 2017. Mosselen met een schelpenlengte variërend van 25 tot 35 mm zijn geselecteerd wat resulteerde in een gemiddelde schelpenlengte van  $28.7 \pm 2.8$  cm. MZI mosselen met een schelpenlengte van 25 tot 35 cm zijn geselecteerd wat resulteerde in een gemiddelde schelpenlengte van  $30.8 \pm 2.7$  cm. Deze metingen (T0) zijn op 27 en 28 november 2017 uitgevoerd en op 29 en 30 november zijn de mosselen in de mandjes geplaatst.

## Bemonsteringen en ijsformatie

Op 9 januari heeft de eerste monitoring plaatsgevonden (T1-meting). Aan het einde van de winter van 2017-2018 (eind februari begin maart 2018) heeft er een korte maar heftige vorstperiode plaatsgevonden. 28 februari stond op plek 6 als koudste februari dag sinds 118 jaar. Als gevolg van deze vorstperiode bevroren grote delen van de Waddenzee en door verplaatsing van ijsschotsen en kruierend ijs liepen de lantarenpalen en kratjes dermate schade op dat deze niet meer bemonsterd konden worden. Er is nog geprobeerd voor de vorstperiode een (eind)bemonstering uit te voeren maar dat bleek niet mogelijk. Als gevolg hiervan is het experiment vroegtijdig gestopt en hebben de T2, T3 en T4 metingen niet plaats kunnen vinden. Het gevolg was ook dat het experiment niet door heeft kunnen lopen tot het eerstvolgende groeiseizoen (voorjaar).

Omdat het experiment voor het groeiseizoen vroegtijdig afgebroken was en alleen gedurende de wintermaanden liep was er slechts zeer beperkte mogelijkheid tot groei. Hierdoor is het verschil in gemiddelde lengte van de 30 mosselen tussen de meetmomenten T0 en T1 te klein en was een analyse hiervan niet zinnig. Hierom is een poging ondernomen om de verandering in schelpenlengte van individuele mosselen vast te stellen als alternatief. Hiertoe zijn de schelpenlengtes zoals gemeten in T1 vergeleken met die van de T0 door ze in oplopende lengte te ordenen en op basis hiervan een meetresultaat van T1 te koppelen aan een van T0. Hiermee was het mogelijk voor een groot deel van de mosselen de individuele verandering in schelpenlengte tussen de T1 en de T0 vast te stellen. In Figuur 15 is een voorbeeld van deze procedure opgenomen voor meetlocatie 1. De mossellengtes in T1 (rode stippen) zijn hierbij gekoppeld aan een lengte in T0 (blauwe cirkels). Wanneer het aantal mosselen dat teruggevonden is op T1 lager lag dan voor de T0 is bekeken op welke positie in de mossellengtesequentie overgeslagen moet worden om voor de hele set aan lengtes een zo klein mogelijk afwijking te krijgen.



Figuur 15. Het herleiden van een schelpenlengte gemeten op T1 naar een schelpenlengte gemeten op T0 voor mosselen uitgehangen op lantarenpaal 1 in locatie 1 (gelegen in het noordelijk gebied van de Hond en Paap wadplaat).

## Waterkwaliteit

*In situ* watermetingen zijn uitgevoerd en watermonsters zijn genomen ter analyse op het laboratorium om daarmee de waterkwaliteit gedurende het overlevingsexperiment te bepalen. In het veld zijn het doorzicht, de watertemperatuur, het zuurstofgehalte en het zoutgehalte bepaald. Watermonsters zijn genomen om in het laboratorium het totaal opgeloste stof, de organische fractie van het opgeloste stof en het chlorofyl concentratie te bepalen. De veldmetingen en de monsternamen zijn gedaan op alle drie de locaties (Locatienummers 1 t/m 3 in Figuur 1) bij de middelste lantarenpaal en zowel twee uur

---

voor als na hoogwater. Waterkwaliteitsmetingen zijn verricht op 2 februari (T1-meting), 3 maart (T2-meting) en 3 mei (T3-meting) van 2018.

Het doorzicht is bepaald met gebruik van een secchi disk waarbij het aantal centimeters genoteerd is waarop het onderscheidt tussen de zwarte en witte vlakken niet meer te zien was. Deze meting is steeds in duplo uitgevoerd. De watertemperatuur, het zoutgehalte, en het zuurstofgehalte zijn bepaald met een HQ40D Hach meter in combinatie met sondes voor het meten van het zoutgehalte (PSU) en het zuurstofgehalte (mg/l) i.c.m. de watertemperatuur (°C). Afgelezen waarden zijn genoteerd op een veldformulier.

Watermonsters van 0.5 liter zijn genomen voor het bepalen van het chlorofyl- en de zwevende concentraties. De watermonsters zijn met behulp van een stok genomen op ongeveer 1 meter waterdiepte om zodoende water te verzamelen op ongeveer de hoogte van de mosselkratjes, zie Figuur 16. Direct na monsternamen zijn de monsters donker en koel bewaard voor transport naar het laboratorium. De bepaling van de zwevende stof fracties zijn uitgevoerd op het laboratorium van SaM. Watermonsters zijn hiervoor gefiltreerd en het filtraraat is gewogen op een analytische balans na droging (bij 105 °C) en verassing (bij 450 °C). Chlorofylmetingen zijn de eerstvolgende dag na het nemen van de monsters uitgevoerd op het laboratorium van WMR. Hiervoor is gebruik gemaakt van de BBE Moldaenke AlgaeLabAnalyser 1 Hz cuvetten fluorometer en is de procedure gevolgd die beschreven staat in WMR protocol E\_4\_046. In het kort, het chlorofyl-A gehalte in een watermonster wordt bepaald door water in een cuvet te plaatsen waarna de fluorescentie gemeten wordt als maat voor de aanwezigheid van chlorofyl.



Figuur 16. Het nemen van een watermonster door Achim Wehrmann.

#### 2.4.2 Overleving mosselen

Omdat individuele mosselen in staat bleken te zijn zich te verplaatsen tussen de compartimenten van de kratjes zijn de mosselen van verschillende oorsprong binnen eenzelfde kratje door elkaar geraakt. Voor het bepalen van de overleving is daarom gekeken naar de overleving van alle mosselen aanwezig in de kratjes ongeacht de oorsprong. In Tabel 2 is het percentage van mosselen die in T1 levend teruggevonden is weergegeven. Hieruit valt op te maken dat de meeste mosselen de eerste twee maanden (begin december 2017 tot begin februari 2018) goed doorgekomen zijn. Het overlevingspercentage varieerde van 94.4% tot 100% en was gemiddeld 98.0%.

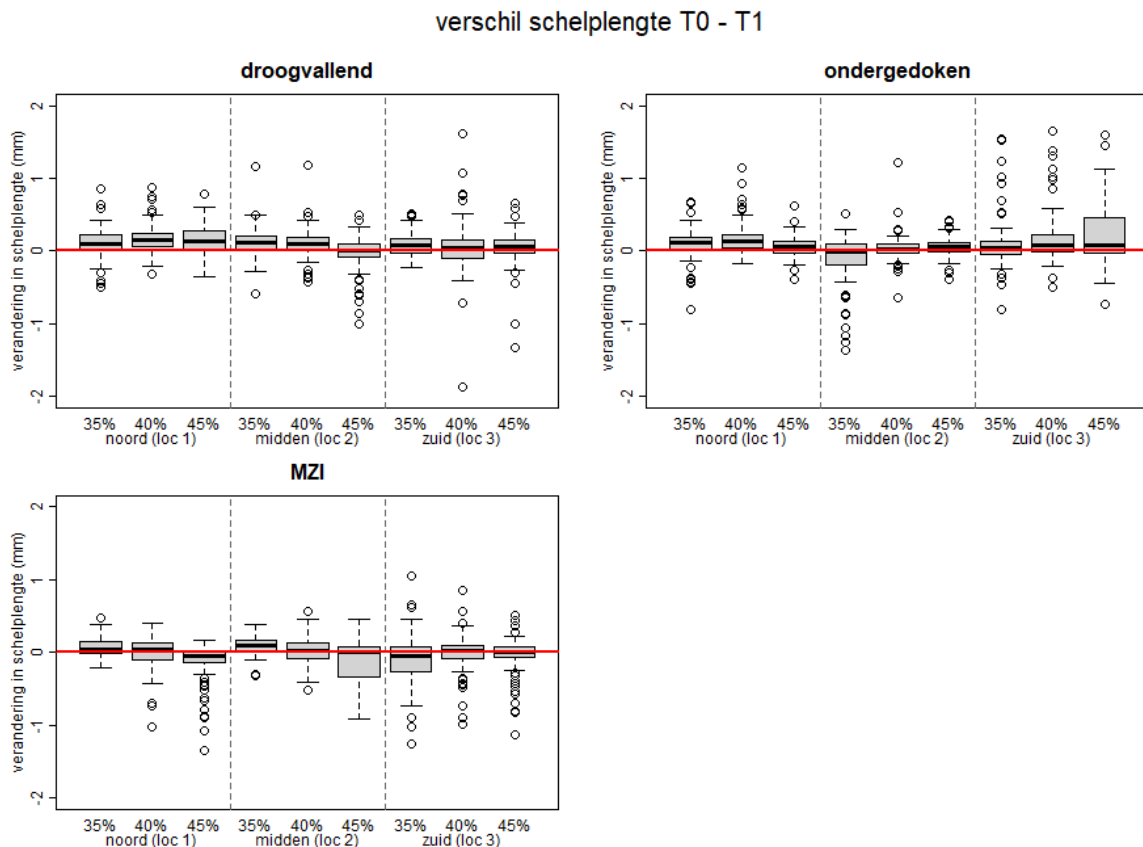
Verschillen in overlevingspercentages tussen locatie en droogvalduur zijn onderzocht met gegeneraliseerde lineaire modellen met binominaal distributie en log link functie. Modellen locatie en droogvalduur als verklarende variabelen zonder (m1) en met een interactieterm (m2) zijn onderzocht. Het voorspellend vermogen van deze modellen is onderling vergeleken aan de hand van AIC criteria. Voor de analyses is gebruik gemaakt van software programma R (R Core Team, 2020) en de basispakketten daarin opgenomen. Uit de analyse blijkt dat model m1 het beste de overleving voorspeld. Door gebruikt te maken van dit model blijkt dat de overlevingspercentages niet significant verschillen tussen de verschillende onderzoeklocaties en droogvalduur regimes.

Tabel 2. Overlevingspercentages van de mosselen op 2 februari 2018 voor de verschillende onderzoeklocaties en droogvalduur regimes. Steeds is het gemiddelde, de minimale en maximale overleving weergegeven.

Locatie	Droogvalduur 35%			Droogvalduur 40%			Droogvalduur 45%		
	gem	min	max	gem	min	max	gem	min	max
1 (noord)	97.0	95.6	98.9	99.6	98.9	100.0	98.9	97.8	100.0
2 (midden)	99.1	98.3	100.0	97.4	95.6	98.9	95.6	94.4	96.7
3 (zuid)	99.6	98.9	100.0	97.8	94.4	100.0	97.4	95.6	98.9
gemiddeld	98.6			98.3			97.3		

### 2.4.3 Groei

In Figuur 17 is de verandering in schelpenlengte weergegeven van individuele mosselen tussen de T0 en T1 metingen voor droogvallende, ondergedoken en mzi -mosselen voor de drie locaties en droogvalduurregimes. Regelmatig is negatieve groei waargenomen (zie datapunten die onder de horizontale rode lijn liggen). Dit is het gevolg van meeton nauwkeurigheden en/of een niet correcte koppeling van individuele mosselen zie paragraaf 2.4.1.



Figuur 17. Boxplots met de verandering van de schelpenlengte tussen de T1- en T0 meting voor de droogvallende- en ondergedoken mosselen uit de Waddenzee en voor mosselen afkomstig van een MZI installatie in de Oosterschelde. Met de horizontale rode lijn wordt een verschil van 0 weergegeven.

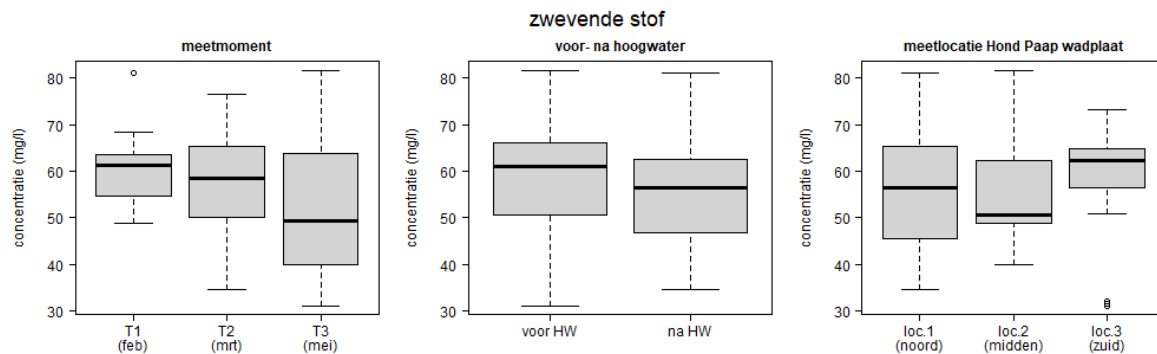
Verschillen in schelpenlengtes tussen T0 en T1 zijn geanalyseerd met een lineaire modellen met de verklarende variabelen mosseloorsprong, locatie op de wadplaat en droogvalduur. Modelcombinaties met een of twee variabelen zijn ook onderzocht maar op basis van AIC criteria blijken deze modelvoorspelling minder goed. Analyses zijn wederom uitgevoerd in R softwarepakket en de modelresultaten worden weergegeven in Bijlage 1 van dit rapport.

Uit de analyses valt op te maken dat schelpengtes van mosselen afkomstige uit de MZI installatie in de Oosterschelde nagenoeg niet toegenomen zijn en dat er wel beperkte (en vergelijkbare) toename in de schelpengte opgetreden zijn voor mosselen afkomstig van droogvallende- en ondergedoken banken uit de Waddenzee. Hiernaast is de toename in schelpengte bij een droogvalduur van 35% (die langere tijd onder water staan) significant hoger in vergelijking met een droogvalduur van 45% (die minder lang onderwater staan). In het noorden (locatie 1, Figuur 14) en het zuiden (locatie 3, Figuur 14) was de toename in schelpengte ook significant hoger dan in het midden (locatie 2, Figuur 14). Deze verschillen zijn echter zeer klein ( $<0.1$  mm), zie Bijlage 1.

#### 2.4.4 Waterkwaliteitsmetingen

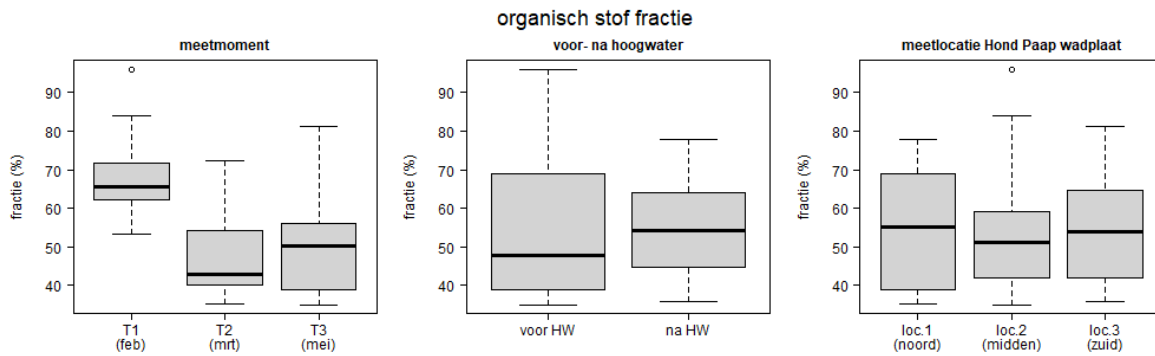
Met lineaire modellen is onderzocht wat de invloed is van het bemonsteringsmoment (T1, T2 en T3), het moment in het getij (voor- of na hoog water) en de bemonsteringslocatie (locatie 1 t/m 3) op de waterkwaliteitsparameters. In Bijlage 1 van dit rapport zijn de modeluitkomsten weergegeven. De chlorofyl-a concentratie en het zuurstofgehalte zijn respectievelijk log en dubbele wortel getransformeerd om aan de statistische voorwaarden voor normaal verdeelde data te voldoen.

In Figuur 18 is de zwevende stof concentratie weergegeven zoals gemeten in de watermonsters genomen tijdens de T1-, T2- en T3 metingen. De zwevende stof concentratie is niet afhankelijk van de monsterlocatie, bemonsteringsmoment of het moment in het getij dat de watermonsters genomen zijn, zie de modelresultaten in Bijlage 1. Er is een gemiddelde zwevende stof concentratie gemeten van  $56.9 \pm 12.4$  mg/l.



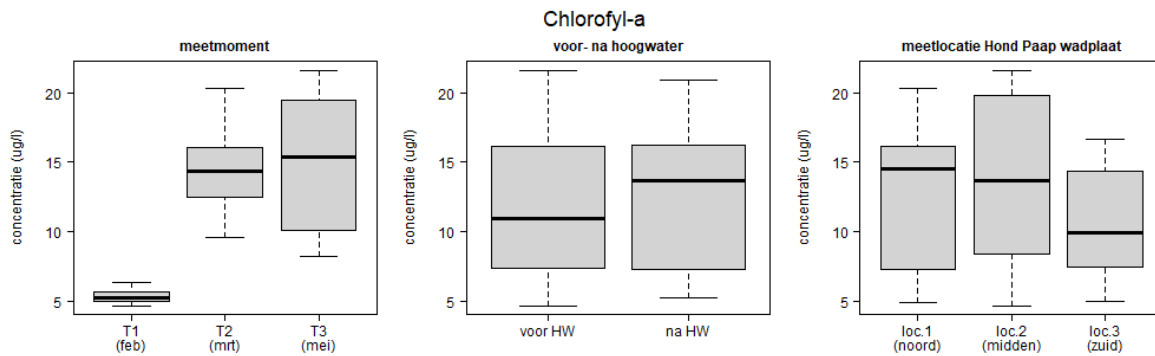
Figuur 18. Boxplots met de concentratie zwevende stof in de watermonsters uitgesplitst per meetmoment (linker figuur), moment in het getij (midden) en meetlocatie op de Hond en Paap Wadplaat (rechts). HW= hoogwater.

In Figuur 19 is de fractie aan organische koolstof in het zwevende stof weergegeven zoals gemeten in de watermonsters. Het aandeel organische stof was niet afhankelijk van de monsterlocatie op de Hond en Paap wadplaat of het moment in het tij (voor- of na hoog water), zie Bijlage 1. Na het eerste meetmoment (T1) nam het aandeel organische stof in het zwevende stof significant af, zie Figuur 19 en Bijlage 1. Op T1 is een gemiddeld aandeel van  $68.0 \pm 10.8$  % organische stof gemeten die in de T2 meting afnam tot gemiddeld  $46.5 \pm 9.9$  %. Het gemiddelde aandeel organische stof in de zwevende stof in de monsters genomen tijdens de T3 meting is  $50.6 \pm 13.4$  % en was niet significant anders in vergelijking met de T2 meting (Tukey *post hoc* test).



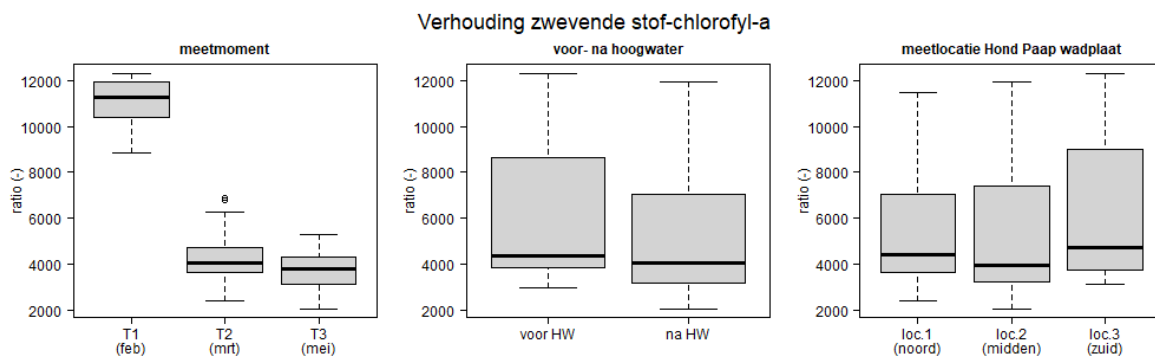
Figuur 19. Boxplots met de fractie organische stof in het zwevende stof uitgesplits per meetmoment (linker figuur), moment in het getij (midden) en meetlocatie op de Hond en Paap Wadplaat (rechts). HW= hoogwater.

De chlorofyl-a concentratie is niet afhankelijk van de monsterlocatie op de Hond en Paap wadplaat en het maakt ook geen verschil of de watermonsters voor- of na hoogwater genomen zijn, zie Bijlage 1. De chlorofyl-a concentratie zoals gemeten in monsters genomen tijdens de T2 meting lag wel significant hoger dan in de monsters genomen tijdens de T1 meting, zie Bijlage 1 en Figuur 20. Op T1 is een gemiddelde concentratie van  $5.3 \pm 0.5 \mu\text{g/l}$  gemeten en in de monsters genomen tijdens de T2 meting is een gemiddelde concentratie van  $14.1 \pm 2.7 \mu\text{g/l}$  gemeten. De chlorofyl-a concentratie gemeten in monsters genomen tijdens de T2 bemonstering verschilde niet met die van monster genomen tijdens de T3 bemonstering (Tukey *post hoc* test) toen er  $14.9 \pm 4.6 \mu\text{g/l}$  aanwezig was.



Figuur 20. Boxplots met de concentratie chlorofyl-a in de watermonsters uitgesplits per meetmoment (linker figuur), moment in het getij (midden) en meetlocatie op de Hond en Paap Wadplaat (rechts). HW= hoogwater.

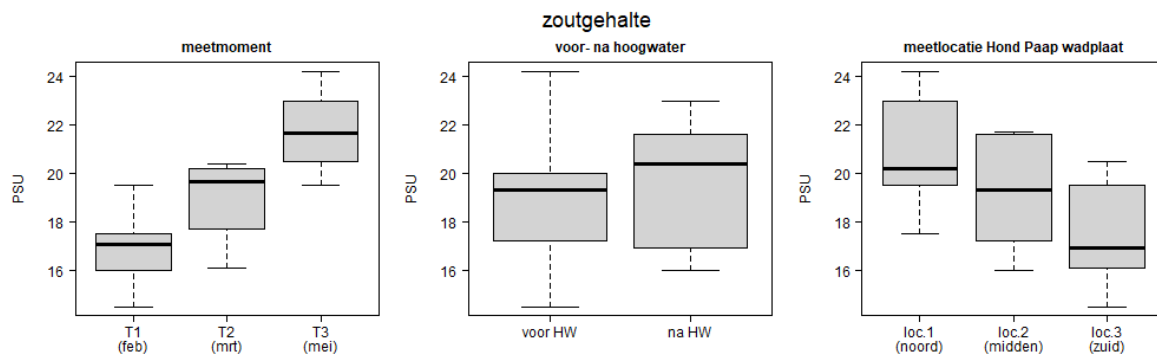
In Figuur 21 is de ratio tussen de zwevende stof- en de chlorofyl-a concentraties weergegeven. Het meetmoment heeft de grootste invloed op de ratio die na de T1 bemonstering sterk en significant afneemt, zie Bijlage 1 en Figuur 21. De ratio waarden zijn na hoogwater significant lager en op locatie 3 (zuidelijkste meetpunt) juist significant hoger. De invloed van deze variabelen op de ratio waarden is echter kleiner dan het meetmoment, zie Figuur 21.



Figuur 21. Boxplots met de verhouding zwevende stof : chlorofyl-a in de watermonsters uitgesplits per meetmoment (linker figuur), moment in het getij (midden) en meetlocatie op de Hond en Paap Wadplaat (rechts). HW= hoogwater.

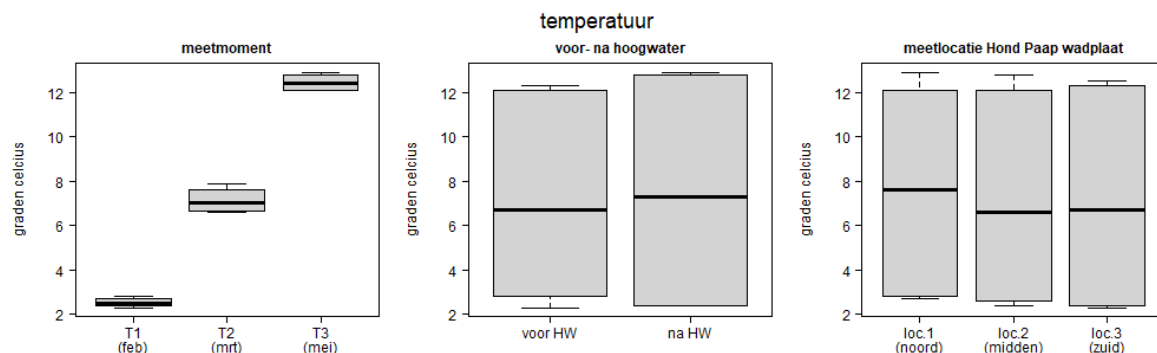
In Figuur 22 is het zoutgehalte weergegeven voor de T1-, T2- en T3 metingen. De gemeten zoutgehalten varieert van 14.5 tot 24.2 PSU. Na verloop van tijd nam het zoutgehalte significant toe, zie Bijlage 1

en Figuur 22. Tijdens de T1 metingen is er een gemiddelde zoutgehalte gemeten van  $16.9 \pm 1.6$  PSU. Het zoutgehalte nam tijdens de T2 metingen toe tot gemiddeld  $19.0 \pm 1.8$  PSU en steeg verder tijdens de T3 meting toen een gemiddelde zoutgehalte van  $21.8 \pm 1.6$  PSU gemeten is. De zoutgehalten in het meest noordelijk gelegen meetlocatie (locatie 1) lagen wat hoger dan in de meer zuidelijk gelegen meetlocaties, zie Bijlage 1 en Figuur 22. Het zoutgehalte was niet afhankelijk van het moment in het tij, zie Bijlage 1 en Figuur 22.



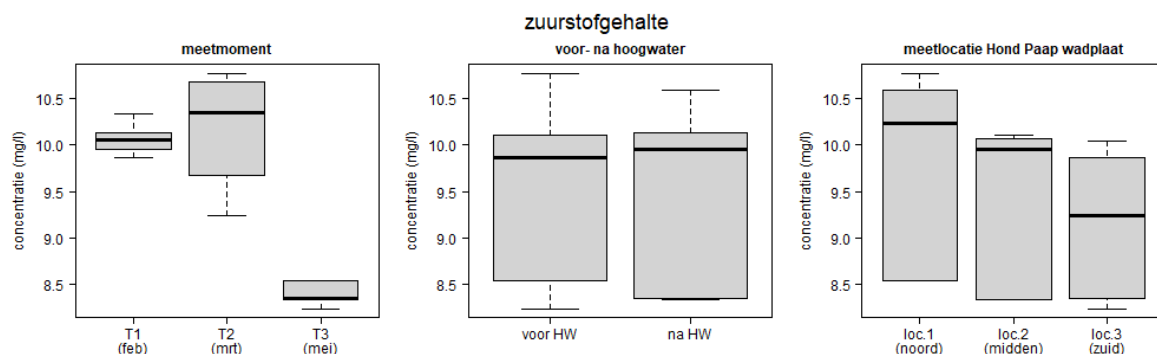
Figuur 22. Boxplots met het zoutgehalte in de watermonsters uitgesplitst per meetmoment (linker figuur), moment in het getij (midden) en meetlocatie op de Hond en Paap Wadplaat (rechts). HW= hoogwater.

De watertemperatuur nam fors toe over de meetperiode, zie Bijlage 1 en Figuur 23. Op T1 lag de gemiddelde temperatuur op  $2.5 \pm 0.2$  graden Celcius die op T2 toenam naar gemiddeld  $7.3 \pm 0.5$  graden en op T3 verder steeg naar  $12.5 \pm 12.5$  graad. Verder zijn op de meest noordelijk gelegen meetlocatie (locatie 1) en na hoogwater de watertemperaturen iets hoger, zie Bijlage 1. Deze invloed van deze variabelen op de temperatuur bleven beperkt tot 0.4 graad.



Figuur 23. Boxplots met de watertemperatuur in de watermonsters uitgesplitst per meetmoment (linker figuur), moment in het getij (midden) en meetlocatie op de Hond en Paap Wadplaat (rechts). HW= hoogwater.

Het zuurstofgehalte in het water lag op T3 lager dan op T1 en T2, zie Bijlage 1 en Figuur 24. Op het meest noordelijke meetpunt zijn wat hogere gehalten gemeten. Er was geen verschil in metingen die voor- of na het hoogwater genomen zijn, zie Bijlage 1.



Figuur 24. Boxplots met het zuurstofgehalte in de watermonsters uitgesplitst per meetmoment (linker figuur), moment in het getij (midden) en meetlocatie op de Hond en Paap Wadplaat (rechts). HW= hoogwater.

---

## 2.5 Discussie en conclusies vooronderzoeken

De hier uitgevoerde analyses zijn beperkt van opzet maar laten wel zien dat, met uitzondering van gebieden rond het zeegat, de zwevende stof concentraties en de ratio waarden tussen de zwevende stof- en de chlorofyl-a concentraties hoger, en het zoutgehalte lager liggen in het Eems-Dollard estuarium vergeleken met de andere kombergingsgebieden van de Nederlandse Waddenzee, zie Figuur 2. Deze milieucondities maakt het voor mossel(bank)overleving meer uitdagend. Hiernaast zijn er gradiënten aangetoond lopende van het zeegat tot in de Dollard. Bij het zeegat zijn de waarde van de onderzochte parameters vergelijkbaar met de rest van de Nederlandse Waddenzee en beter voor mosseloverleving, maar de wadplaten daar vallen buiten het onderzoeksgebied. In 25% van de MWTL metingen genomen nabij de Hond en Paap wadplaat, het onderzoeksgebied, ligt het zwevende stof gehalte boven de 150 mg/l en in 11% van de metingen ligt deze boven de 200 mg/l, zie Figuur 8. Met dergelijke concentraties zijn effecten op de water filtratiesnelheid van mosselen niet uit te sluiten. In afgelopen decennia zijn tweemaal lange periodes tot een jaar met boven gemiddeld hoge zwevende stof concentraties waargenomen ter hoogte van de Hond en Paap wadplaat. Deze periode vielen samen met afnames in mosselbankarealen. Hoewel het zoutgehalte nabij de Hond en Paap wadplaat lager is dan dat van zeewater (ongeveer 22 PSU), liggen ze binnen de tolerantiegrenzen van mosselen. In gebieden zuidelijk gelegen van de Hond en Paap wadplaat neemt het zoutgehalte verder af. Op MWTL meetstations gelegen in de Dollard (Grote gat noord) liggen zoutgehalten regelmatig onder de 10 PSU. Bij dergelijke gehalten zijn negatieve effecten, zoals afname in water filtratiesnelheid, afname in schelp lengte en biomassa, niet uit te sluiten. De vorming- en overleving van een droogvallende mosselbank in 2016 op de Hond en Paap wadplaat laat zien dat mosselbanken op natuurlijke wijze kunnen ontstaan op de Hond en Paap wadplaat.

In het vooronderzoek is de concentratie van chlorofyl-a gebruikt om een indruk te krijgen van de voedselbeschikbaarheid voor mosselen. De chlorofyl-a concentratie kan inderdaad gebruikt worden om een indruk te krijgen van de aanwezigheid van algen (en daarmee het voedsel voor mosselen). Maar er zijn ook limitaties. Het vertelt niet welke algensoorten aanwezig zijn en daarmee wat de kwaliteit van het voedsel is voor mosselen. Ook zegt dit niks over de productie van algen. Bij een hoge omzettingssnelheid van algen kan, bij een lage chlorofyl-a concentratie, de primaire productie alsnog hoog zijn alsmede de voedselbeschikbaarheid voor mosselen en vice versa. Uit meer omvangrijke studies die uitgevoerd zijn op dit onderwerp blijkt dat, net als in de hier uitgevoerde voorstudie geconcludeerd wordt, dat de voedselcondities voor schelpdieren in het estuarium er de laatste jaren op achteruit gegaan is. De studie van Taal et al., (2015) laat zien dat in de periode 1990 tot en met 2011 de slibconcentraties in het water van het Eems-Dollard gebied met 0,5-3% per jaar toegenomen is. Door de verhoogde troebelheid is de primaire productie in de vorm van fytoplankton juist afgenomen. In een studie uitgevoerd door Brinkman et al., (2015) zijn hiernaast ook metingen van primaire productie uitgevoerd en geanalyseerd. Ten opzichte van eind jaren '70 is de primaire productie in 2012-2013 ongeveer gehalveerd in het estuarium. Met name in het water net ten zuiden van de Hond-Paap zijn de slibconcentraties ten opzichte van eind jaren '70 sterk toegenomen (van ca 100 naar 200 mg/l) en is de primaire productie in 2012-2013 daar sterk afgenomen (Brinkman et al., 2015).

Het overlevingsexperiment is als gevolg van een strenge vorstperiode vroegtijdig afgebroken en voor aanvang van het groeiseizoen. De verkregen resultaten van het experiment waren daarom van beperkte waarden. Het was alleen mogelijk om de korte termijn effecten in mossel overleving en groei te onderzoeken gedurende twee wintermaanden en een analyse van veranderingen in gemiddelde schelp lengte was niet langer zinvol.

Hoewel de grootste toename in schelp lengte in het voorjaar plaatsvindt, wanneer er veel voedsel aanwezig is en de watertemperatuur hoger is, het niet uitgesloten dat schelp lengtes kunnen toenemen in de wintermaanden. Seed (1968) vond dat tussen april en oktober 90% van de schelp lengte groei plaatsvond en 10% in de overige maanden. Hoewel veel moeite is genomen om schelp lengtes van individuele mosselen tussen de T0- en T1 meting correct te koppelen met elkaar, en uit controle plots blijkt dat deze koppeling in veruit de meeste gevallen goed gegaan lijkt te zijn, is het onvermijdelijk dat hier fouten in opgetreden zijn. Door het gebruik van een digitale schuifmaat voor het bepalen van de schelp lengte is het mogelijk schelp lengtes te bepalen tot op honderdste van een millimeter.



---

Desondanks kunnen meetfouten in schelplengtes optreden doordat de schuifmaat iets scheef over de schelp geplaatst wordt. Omdat verschillen in schelplengte veelal in ordergrootte liggen van 1 mm tot tiende van een mm kunnen meetfouten van invloed zijn op het resultaat. Echter doordat mosselen random verdeeld waren, ongeveer even groot waren bij het uithangen en gelijk behandeld zijn tijdens het experiment is het de verwachting dat meetfouten tussen de groepen gelijk is en verschillen die aangetoond zijn in de verandering van de schelplente tussen meetpunten en tussen de groepen alsnog van waarden zijn.

De beperkte resultaten laten zien dat de in het estuarium uitgehangen mosselen de twee maanden dat het experiment geduurd heeft hebben kunnen overleven. Er zijn hierbij geen verschillen gevonden tussen de uithanglocatie op de Hond en Paap wadplaat of het droogvalduur regime. Het is mogelijk dat de mosselen deze periode doorgemaakt zijn door in te teren op hun vetreserves. De schelplengtes van mosselen die afkomstig waren van droogvallende- en ondergedoken banken uit andere kombergingen van de Waddenzee en in het estuarium geplaatst zijn op de Hond en Paap wadplaat waren wat toegenomen. Deze toename in schelplengte was wat hoger in het meest noordelijk gelegen uithanglocatie en bij een droogvalduur van 35%. Voor mosselen afkomstig uit de MZI installatie is geen toename in schelplengte gevonden op geen van de onderzoeklocaties. De verwachting is dat deze mosselen zich, van de hier onderzochte mosselen, het meest hebben moeten aanpassen. Het zoutgehalte op de locatie in de Oosterschelde waar deze mosselen vandaan komen staat onder grote invloed van de Noordzee met hoge zoutgehalten tot gevolg. Daarnaast hebben ze zich ook moeten passen aan het periodiek droogvallen. Ook de mosselen afkomstig van de ondergedoken mosselbank hebben zich aan moeten passen aan het periodiek droogvallen. Deze mosselen waren echter, als gevolg van zoetwaterspui uit Kornwerder zand, al wel aangepast aan wat lagere zoutgehalten (de Kok, 2002) en hebben zich op dat vlak minder hoeven aanpassen aan de condities op de Hond en Paap wadplaat. Het is onbekend of de afwezigheid van een toename in schelplengte voor de MZI mosselen het gevolg is van een wat langere en heftige aanpassingsperiode en of ze in voorjaar, als de groeicondities verbeterd zijn, wel hadden kunnen groeien.

Samenvattend kan worden gesteld dat de in het kader van het overlevingsexperiment verzamelde gegevens ontoereikend zijn om te concluderen of mosselen van verschillende herkomst en uit gebieden buiten het estuarium kunnen overleven op de Hond en Paap wadplaat. Uit veranderingen van de schelplengte en de verzamelde gegevens over de waterkwaliteit blijkt echter dat de milieuomstandigheden voor mosseloverleving in de noordelijk gelegen delen van het Hond- en Paap-wadplaat iets gunstiger zijn dan in de zuidelijk gelegen delen. Bovendien lijken mosselbanken zich in dit gebied op natuurlijke wijze te kunnen vormen en handhaven. Het bankareaal schommelt echter sterk als gevolg van de algemene natuurlijke schommelingen, maar ook als gevolg van de ligging in het estuarium met zijn complexe milieuomstandigheden en waterchemie. Het lijkt erop dat met name het kunnen voorkomen van lange perioden met bovengemiddelde concentraties van zwevende deeltjes en lage concentraties van chlorofyl-a het overleven van mosselbanken in het gebied onzeker maakt en kan leiden tot sterk afnemende mosselbankarealen. In gebieden ten zuiden van de Hond en Paap wadplaat nemen de milieuomstandigheden voor mosselen verder af door een verdere daling van het zoutgehalte.

---

## 3 Proefontwerp

Om tot een proefontwerp te komen met als doel een droogvallende mosselbank aan te leggen is eind 2017 een bijeenkomst gehouden in Groningen. Nederlandse en Duitse onderzoekers gespecialiseerd op het gebied van mosselbankecologie en vertegenwoordigers van beide overheden waren bij deze bijeenkomst aanwezig. Vanuit WMR waren Norbert Dankers, Jacob Kapelle en Sander Glorius aanwezig en vanuit SaM was Achim Wehrmann aanwezig.

In de bijeenkomst zijn de reeds eerder uitgevoerde herstelpogingen besproken en geëvalueerd. Hiervoor is het overzicht zoals weergegeven in hoofdstuk 5 van 'Een zee van mosselen' (Dankers en Fey-Hofstede, 2015) gebruikt en aangevuld met resultaten van recentere aanlegpogingen. Ook zijn de onderzoeksresultaten die verkregen zijn uit onder andere de onderzoeksprojecten Mosselwad (<https://www.mosselwad.nl>) en Waddensleutels geraadpleegd. De resultaten hiervan zijn verwerkt in ideeën voor een proefopzet die in een later stadium verder uitgewerkt is door Wageningen Marine Research (WMR) en Senckenberg am Meer.

Voor het vaststellen van de proeflocatie op de Hond en Paap wadplaat zijn gegevens over mosselbankvoorkomens en de analyseresultaten van de vooronderzoeken (hoofdstuk 2 van dit rapport) gebruikt. Hiernaast is de habitatgeschiktheidskaart voor droogvallende mosselbanken gebruikt (Brinkman in voorbereiding; Dankers & Fey-Hofstede, 2015) en een kaart van de droogvalduur. Hiernaast heeft er een veldbezoek plaatsgevonden op 26 juni 2018 om de geschiktheid van potentiële proeflocaties te beoordelen.

### 3.1 Ervaringen uit aanlegpogingen

In deze paragraaf wordt kort verslag gedaan van de (in Europa) uitgevoerde pogingen om mosselbanken aan te leggen en zijn de belangrijkste bevindingen die relevant zijn voor het aanleggen van mosselbank op de Hond Paap wadplaat genoemd. Voor meer informatie wordt verwezen naar de verschillende referenties die in de tekst opgenomen zijn.

In Tabel 3 is het overzicht van in het verleden uitgevoerde pogingen om mosselbanken aan te leggen zoals opgenomen in hoofdstuk 5 van 'Een zee van mosselen' uit Dankers & Fey-Hofstede (2015) overgenomen.

Tabel 3. Overzicht van pogingen die gedaan zijn om mosselbanken aan te leggen. L = litoraal (droogvallend) en S= sublitoraal (ondergedoken). Overgenomen uit 'Een zee van mosselen' Dankers & Fey-Hofstede (2015).

Project	Jaar	N	Aanleg L/S	Oppervlakte	Type	Oorsprong L/S	Overleving	Oorzaak verdwijnen	Opmerkingen	Geslaagd
Jan Louw	2001	5	L	5 x 5 ha	zaad	L	1 maand – 14 jaar	? —	1 bank overleefde	Ja
Zeegras	2002	6	L	20 m <sup>2</sup>	oud	S	2 week	Predatie ?	Mossel op kokkelschelpen	Nee
Schier	1987	1	L	1 ha	1-6 cm	S	>1 jaar	Predatie/visserij	Nieuwe broedval belangrijk	
Jan Smit	1995	1	L	> 1 ha	3-5 cm	L	>10 jaar	—	Mosselen van elders stroomden in	Ja
Nedersaksen	?	?	L	> 10 ha	zaad	L	>1 jaar	visserij	Droogvallende percelen	Nee
Sleesw. Holstein	1998	2	L	1000 m <sup>2</sup>	4-5 cm	S	1-4 week	Predatie?	Ondergrond wadplaat en kiezels	Nee
K. Reise	2008	6	L	100 m <sup>2</sup>	Oester	L	> 6 jaar	—	Transplantatie-experiment	Ja
Zandkreek	2011	3 x 4	L	6-62 m <sup>2</sup>	zaad	MZI	maanden	?	70% sterfte	Nee
Bangor	veel	x	L/S	> 1 ha	zaad	L	> 1 jaar	Visserij —	Veel percelen, tijverschil 7 m	Ja
Wash	2000	?	L	> 1 ha	zaad	S	1 jaar	Visserij —	Niet goed gevolgd	Ja
Mosselwad	2013	4	L	4 x 2 ha	mix	S	2 maanden	Storm en predatie	Op wad, oester- en mosselbank	Nee
Mosselwad UU	2012	19	L	19 x 1 m <sup>2</sup>	oud	L	> 2 jaar	—	Patches als zode getransplanteerd	Ja
Waddenseutels	10-13		L	?		L/S	Dag – x week			Nee
Boyne (Ierland)	00-03	?	S	3300 ton	zaad	S	4 jaar	? Stroming?	Herstelproject na baggeren	Nee
LNV-RIVO	1952			variabel	substraat	L			Invang zaad (MZI) rap. Nico Laros	Nee
Cultuurperceel	veel	x x	S	3000 ha	zaad	S	> 3 jaar	Visserij —	50% verlies	Ja

Zoals uit Tabel 3 blijkt zijn veel pogingen voor het herstel van mosselbanken niet succesvol geweest. Uit recente projecten gefinancierd vanuit het Waddenfonds, Rijkswaterstaat en de provincies Friesland en Noord-Holland, namelijk Mosselwad en Waddenseutels is gebleken dat vooral stormen de experimentele aanleg van mosselbanken bemoeilijken. Aanvullende experimenten hebben duidelijk gemaakt dat golfslag een belangrijke beperkende factor is door het optreden van golfschade aan de randen van de bank. Andere belangrijke factoren voor een succesvolle aanleg van mosselbanken blijken de geschiktheid van het uitgangsmateriaal (herkomst van de mosselen), de mogelijkheid tot het vormen van aggregaties van mosselen en opbouwen van ruimtelijke structuur en de rol van predatie door krabben bij hoogwater en vogels bij laagwater.

Recent zijn er verschillende proefschriften verschenen over de stabiliteit van litorale mosselbanken in relatie tot hydrodynamische processen (Donker, 2015), over de vraag hoe aangelegde mosselbanken kunnen overleven (de Paoli, 2017) en de rol van predatie door krabben en vogels op droogvallende mosselbanken (Waser, 2017). Er zijn ook nieuwe onderzoeksprojecten geformuleerd gebruikmakend van de recent opgedane kennis. Voor de Oosterschelde is een RAAK PRO project bij de HZ University of Applied Sciences gestart "Meer waarde voor Mosselen" (2015-2019). Hierbij worden de mosselbanken aangelegd uitgaande van mosselzaad van MZI installaties. In dit project werken RWS, NGO's en de mosselsector nauw samen met de HZ University of Applied Sciences en diverse onderzoeksinstituten (o.a. WMR, Deltares en NIOZ).

Hiernaast zijn bij de Feugelpôle, ten zuidwesten van Ameland, zogenaamde BESE-elementen (biologisch afbreekbare kratjes) toegepast om het natuurlijk herstel van mosselbanken te stimuleren. De kratjes zijn gemaakt van aardappelresten van een patatfabriek en zouden na ongeveer 10 jaar (biologisch) afgebroken moeten zijn. Het idee is dat de kratjes een tijdelijk hulpmiddel zijn om de vestiging van mosselen te faciliteren. De kratjes worden op hun plaats gehouden door houten paaltjes die aan beide zijde van de kratjes aangebracht zijn. In 2014 zijn de kratjes in rijen opgesteld om mosselbroedval in te vangen. Er is op de kratjes al snel mosselbroed aangetroffen als ook aangroei van pokken, anemonen (pers. communicatie W. Lengkeek). Voor zover bekend bij de auteurs van dit rapport heeft de aanwezigheid van de kratjes en de ingevangen mosselen daarin niet geleid tot de vorming van mosselpatches op de omliggende wad bodem.

---

De Paoli (2017) heeft een aantal van haar bevindingen samengevat als aanbevelingen voor het herstel van mosselbanken:

- Mosseldichtheid
  - De dichtheid moet voldoende zijn om aggregatievorming (samenklonteren) van mosselen mogelijk te maken. Een hoge dichtheid aan mosselen bevordert aggregatie en verhoogt de persistentie van mosselbanken.
- Bulten
  - De aanleg van mosselbanken moet plaatsvinden op een vlak substraat en (mossel)bulten moeten zich in de loop ter tijd zelf gaan vormen. Aanleg van bulten verhoogt de stroomsnelheid en verlaagt de overleving. Op stabiele mosselbanken wordt de voedselbeschikbaarheid verhoogt door bulten (Donker, 2015).
- Herkomst mosselen
  - Sublitorale (ondergedoken) mosselen zijn niet geschikt voor herstel van litorale banken, de dunne schelp maakt ze gevoelig voor predatie en ze hechten zich te zwak aan substraat om de hydrodynamische stress aan te kunnen.
- Kunstmatig substraat
  - Het aanbieden van alternatief substraat in de vorm van kokosmatten is niet geschikt voor het herstel van mosselbanken, omdat droogvallen mosselen er geen gebruik van maken.

Daarnaast gelden nog andere factoren die van invloed zijn op de kans van lagen:

- Beschutting
  - Het risico van wegspoelen van (pas) aangelegde banken is lager in beschutte gebieden. Natuurlijke of kunstmatige beschutting kunnen omstandigheden verbeteren
- Predatie
  - Mosselen worden gegeten. Jonge mosselen worden tijdens hoog water gegeten door garnalen en krabben. Grotere mosselen worden bij laagwater gegeten door vogels, met name meeuwen en scholeksters. Bescherming tegen predatie kan de overleving van de mosselen verhogen.

Dit overzicht van de Paoli is een goede samenvatting van de ervaringen die opgedaan zijn bij de aanlegexperimenten als ook de resultaten van het uitgevoerde onderzoek naar de stabiliteit van mosselbanken in onder andere Waddensleutels en Mosselwad. Deze aanbevelingen waren dan ook belangrijk bij de totstandkoming van het proefontwerp welke in de volgende paragraaf beschreven is.

## 3.2 Proefontwerp

De proefopzet bestaat eruit dat mossellarven, die in het voorjaar aanwezig zijn in de waterkolom, op netten ingevangen worden waarna deze samen met het ingevangen mosselzaad op de Hond en Paap wadplaat neergelegd worden om uit te groeien tot een meerjarige mosselbank. Het is de verwachting dat het mosselzaad zich stevig vast zal maken aan de touwen van het net met hun byssusdraden wanneer de netten in de waterkolom gehangen worden om het mosselzaad in te vangen. Omdat de netten niet verwijderd worden na het plaatsen op de wadplaat blijven deze hechtingstructuren behouden. Op deze manier kunnen de netten tijdelijk houvast bieden aan de mosselen als ze zich aan het aanpassen zijn aan hun nieuwe omgeving op de wadplaat. Om deze reden is het nodig dat de netten vervaardigd worden uit materialen die biologisch afbreekbaar zijn.

Door het aanbrengen van de netten met mosselen op de wadplaat ontstaat een vlak van mosselzaad met een min of meer gelijke mosseldichtheden. Het is de verwachting dat de netstructuur na verloop van tijd uit elkaar valt en uiteindelijk geheel afgebroken wordt en verdwijnt. In de tussentijd krijgen de mosselen de kans om groter te groeien, een dikke schelp te ontwikkelen en zich ruimtelijk te organiseren om zodoende weerbaarheid te ontwikkelen tegen erosie als gevolg van wind en golven en tegen predatie door krabben en vogels. De hoop is dat de mosselen hierdoor in staat zijn meerdere jaren stand te houden waarbij na verloop van tijd mosselbulten ontstaan met daartussen open vlakken en afvoergeultjes. Op deze manier wordt een meerjarige droogvallende mosselbank gevormd waarin nieuw mosselzaad kan vallen en die daarmee op zijn eigen benen kan staan.

Met deze aanpak worden adviezen die door de Paoli (2017) opgesteld zijn, zie vorige paragraaf, opgevolgd. Er wordt geen gebruik gemaakt van de minder geschikt geachte, ondergedoken mosselen die in vergelijking met de droogvallende variant, een dunnere schelp hebben, minder byssusdraden

---

aanmaken en daardoor zich minder vasthechten aan elkaar en daarmee gevoelig zijn voor erosie en vogelpredatie. Mosselen van een droogvallende bank zijn het beste toegerust om te overleven om een droogvallend wad aldus de Paoli, maar deze kunnen logischerwijs niet gebruikt worden omdat je dan een ecosysteemelement elders beschadigd die je juist wilt beschermen. Voor de proef is het belangrijk om de in de netten ingevangen mosselen spoedig na vestiging op de touwen van het net te verplaatsten naar het droogvallende wad zodat ze niet geconditioneerd raken aan de ondergedoken condities die minder uitdagend zijn m.b.t. predatie en erosie. Omdat de mosselen nog klein en jong (enkele weken oud) zijn wanneer ze voor het eerst blootgesteld worden aan de wind- en getijde invloeden van het droogvallende wad is het de verwachting dat ze hiertoe in staat zijn.

Er zijn verschillende touwsoorten mogelijk die gebruikt zouden kunnen worden om de netten van te vervaardigen. Omdat ervaring met het gebruik van kokosmatten slecht was (de Paoli, 2017) is niet voor dit materiaal gekozen. Er is voor gekozen om netten te maken van verschillende materialen om daarmee eventuele verschillen in functioneren te kunnen onderzoeken. Er is voor gekozen om netten te maken van touwen gemaakt van sisal-, hennep- en katoenen vezels zijn gemaakt. Sisal is een vezel die vervaardigd is uit plantensoorten die tot het geslacht *Agave* behoort.

Zoals ook door de Paoli (2017) geadviseerd is worden er op voorhand geen hoogteverschillen of open vlakken gecreëerd. Het is de bedoeling dat deze na verloop van tijd op natuurlijke wijze ontstaan wanneer de mosselen voldoende lang kunnen overleven. De proefopzet volgt daarmee het proces die ook bij natuurlijk ontstaande mosselbanken doorlopen wordt. Het ontstaan van een natuurlijke droogvallende mosselbank begint met een zaadval van mosselen op een wadplaat waarbij een homogene mat van mosselzaad gevormd wordt met weinig hoogteverschillen en weinig open plekken zonder mosselen. Na verloop van tijd aggregeren mosselen zich en klimmen ze op elkaar naar boven waarbij verhoogde (geconsolideerde)slibbulten met mosselen ontstaan die afgewisseld worden met open ruimtes met weinig tot geen mosselen. Door het ontstaan van hoogteverschillen worden afvoergeultjes gevormd. In 'Een zee van mosselen', is dit proces mooi weergegeven op pagina 48 (Dankers & Fey-Hofstede, 2015).

Zowel de Paoli (2017) als verschillende andere onderzoeken Liu e.a., (2013) en Donker (2015) laten het belang zien van de mosseldichtheid in de vorming van deze benodigde ruimtelijke structuren. Individuele mosselen zoeken elkaar op om zich aan elkaar vast te hechten waarmee ze zich wapenen tegen zowel predatie als erosie. Daarnaast vorming zich, als gevolg van competitie voor voedsel, open vlaktes tussen de mosselclusters (de Paoli, 2017, Liu e.a., 2013 en Donker, 2015). Deze concurrerende processen leiden ertoe dat op kleine schaal mosselstrengen van aan elkaar vastgehechte mosselen gevormd worden die in een min of meer honingraadstructuur komen te liggen (Liu ea., 2013 en Dankers & Fey-Hofstede, 2015). Op grotere ruimtelijk schaal organiseren banken zich vaak in banden of heuveltjes met mosselen waartussen laagtes zijn met weinig mosselen. Waterstromingen over deze heuvels tijdens hoogwater zorgen voor een verticale menging van de waterkolom wat leidt tot een verhoging van de voedselbeschikbaarheid (algen) voor de mosselen (Donker, 2015). Door te wachten met het transplanteren van de netten totdat er voldoende veel mosselen aangehecht zijn wordt ervoor gezorgd dat er voldoende individuen aanwezig zijn om clusters te vormen. Hiernaast worden de netten vervaardigen met een maaswijdte van ongeveer 5-8 cm om zodoende de vorming van de mosselaggregaties op kleine ruimtelijke schaal al enigszins te faciliteren.

De aanwezigheid van de netten en verschillende rijtjes van bamboe stokjes (ten behoeve van de monitoring) schrikt mogelijk vogels tot bepaalde hoogte af. Bij plaatsing van structuren op of om de netten voor dit doel zouden ongewenste waterstromingen kunnen ontstaan wat mogelijk leidt tot extra erosie van mosselen. Er is daarom afgezien verdere maatregelen te nemen om vogel- of krab predatie tegen te gaan.

### 3.2.1 Vervaardiging van de netten

Het bleek een zoektocht om netten van de gewenste materialen te verkrijgen of te (laten) vervaardigen. Netten van de gewenste materialen, touwdikte en maaswijdte bleken niet te koop en machinale vervaardiging van de netten was niet mogelijk doordat de machines die gebruikt worden om netten te maken niet om kunnen gaan met de vezelige structuur van de touwen. Uiteindelijk bood het C.I.V in den Oever oplossing door, op ambachtelijke wijze, de netten te maken, zie Figuur 25. Van elk materiaal zijn handmatig drie netten van twee meter breed en tien meter lang gemaakt. In het totaal zijn dus negen netten gemaakt. De net-intersecties zijn hierbij steeds om en om geknoopt en geweven, zie Figuur 25.

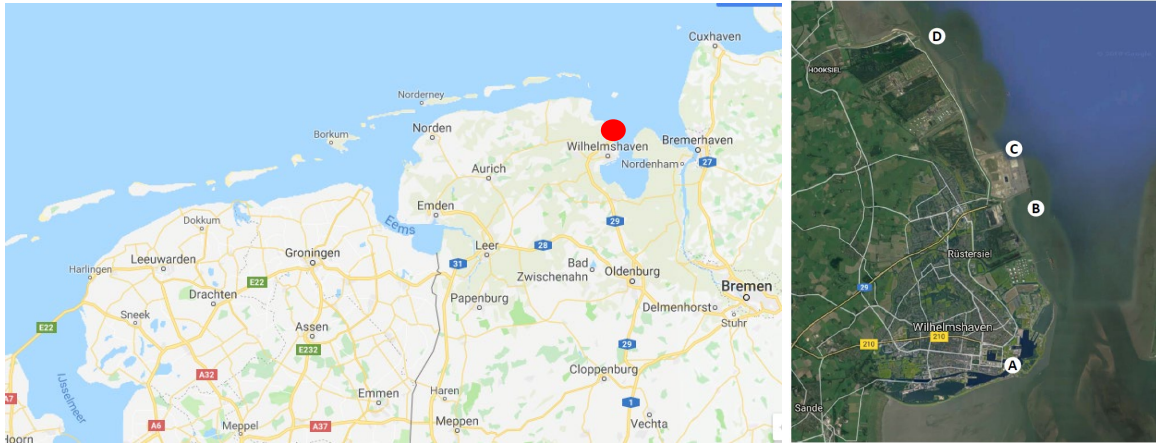


Figuur 25. Vervaardiging van een sisal net door het C.I.V. in Den Oever. Foto bovenaan laat het knopen en weven van de netten zien. In de foto linksonder een detail van het resultaat en in de foto rechtsonder de rollen met sisaltouw.

### 3.2.2 Invangen van mosselen op de netten

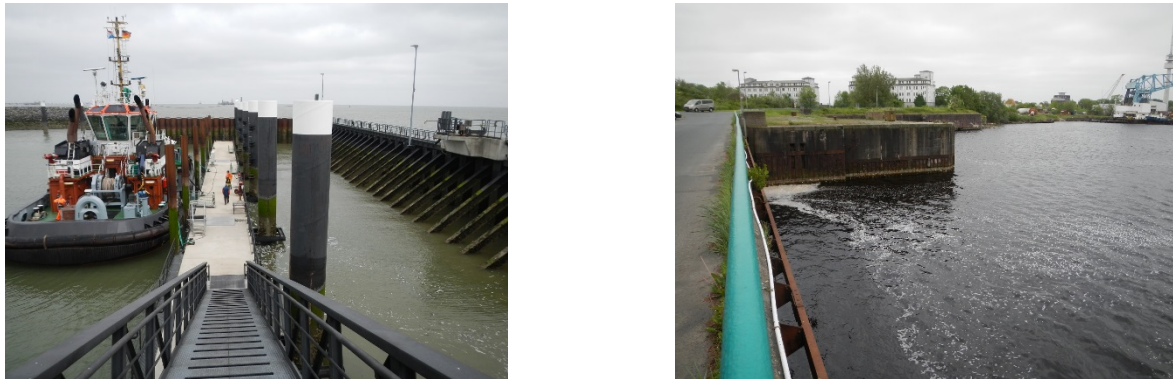
Om regelmatige inspectie van de touwen mogelijk te maken is uit praktische overwegingen bedacht om de netten ofwel in de buurt van het WMR kantoor in Den Helder ofwel in de buurt van het Senckenberg am Meer kantoor in Wilhelmshaven (Duitsland) uit te hangen om mosselzaad in te vangen. In Duitsland was er goed contact tussen SaM en een lokale MZI ondernemer actief in de Jade waardoor voor Wilhelmshaven gekozen werd. Mogelijkheden om de netten aan de MZI installatie van deze ondernemer te bevestigen zijn wel onderzocht maar hiervoor is niet gekozen. Er bleken ongewenste bedrijfsrisico's aanwezig te zijn en bovendien was de locatie van de installatie logistiek niet praktisch om de gewenste monitoring uit te kunnen voeren.

Verschillende andere potentiële locaties in de Jade zijn onderzocht, zie de symbolen 'A' t/m 'D' in Figuur 26. Locaties 'B' en 'D' in vielen om verschillende redenen af. Locatie 'D' betrof een aanlegsteiger in de Hoekseilerhaven maar daar bleken onvoldoende mogelijkheden te zijn om de netten op te hangen zonder dat deze periodiek droog zouden vallen. Locatie 'B' betrof de steigers van de Eurogate containerterminal in de JadeWeserPort. Deze bleek slecht bereikbaar te zijn. De locatie 'C', een drijvend ponton van een sleepboothaven en locatie 'A' in de binnenhaven van de Jade, bleken wel geschikt om de netten uit te hangen.



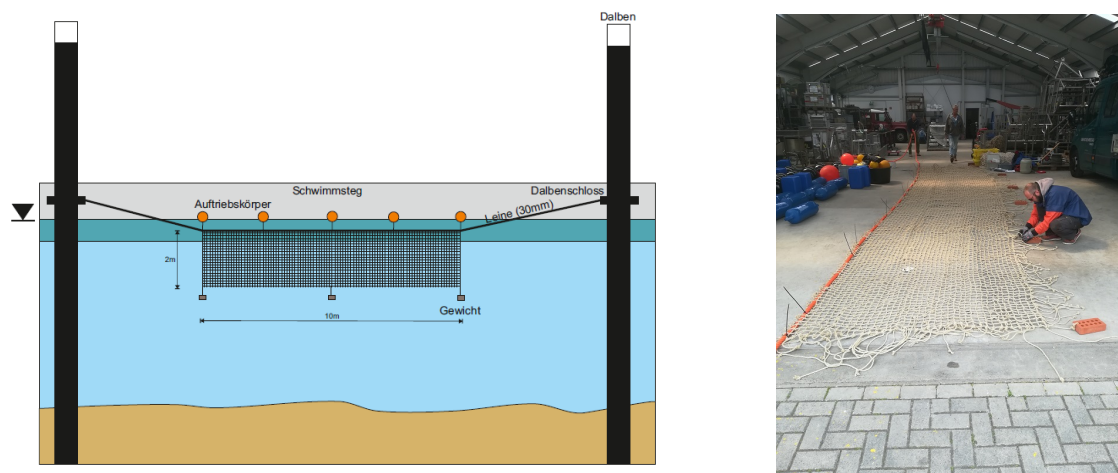
Figuur 26. Links een kaart met daarin aangegeven de ligging van Wilhelmshaven en de Jade (rode stip). Rechts een satellietkaart met daarin de ligging van de potentiële uithanglocaties voor de netten.

Op beide uithanglocaties was het zoutgehalte ongeveer 30 PSU. Bij de sleepboothaven is een getijdeamplitude van ongeveer 3.5 meter aanwezig. Door aanwezigheid van een drijvend ponton bewegen de netten mee met het getij. De haven is beschermd tegen golfinvloeden door een structuur van beton, zie Figuur 27. In de binnenhaven was geen invloed van het getij aanwezig.



Figuur 27. Links een foto van het drijvende ponton (locatie 'A') en rechts de kade van de binnen haven (locatie 'B').

De netten zijn aan de bovenzijde bevestigd aan een (drijvend) synthetisch touw en aan de onderzijde verzwaard met bakstenen, zie Figuur 31. Aan de bovenzijde zijn meerdere boeien en fenders bevestigd om de constructie drijvend te houden.



Figuur 28. Links een schematische weergave van een net uitgehangen in de waterkolom. Rechts het bevestigen van het touw en de stenen aan een van de netten in de bedrijfshal van het SaM.

Wanneer de temperatuur van het water in het voorjaar 12 °C is laten mosselen hun zaad- en eicellen los en vindt er bevruchting in de waterkolom plaats (Danker en Fey-Hofstede, 2015). Na bevruchting verblijven de mossellarven ongeveer een maand in de waterkolom waarbij ze zich voeden met

plankton. Daarna zakken de mossellarven naar de bodem of hechten ze zich vast aan geschikt hard substraat. In de Nederlandse Waddenzee betekend dit dat, afhankelijk van het weer, tussen mei - juni het mosselzaad het stadium bereikt waarbij het zich gaat vestigen.

Zuidelijk van de sleepboothaven en in de Jade bevindt zich de mosselzaad invanginstallatie van Musselzicht GmbH waar sinds tientallen jaren elk jaar mosselzaad gewonnen wordt (pers. communicatie met D. de Leeuw eigenaar Musselzicht GmbH). Het is daarom de verwachting dat bij de sleepboothaven mosselzaad aanwezig zal zijn. Uit contact met de Heer de Leeuw bleek dat het moment dat mosselzaad zich gaat vestigen op de touwen van de MZI in de Jade iets later is dan in Nederland. In de binnenhaven van Wilhelmshaven is geen ervaring met het invangen van mosselzaad.

### 3.3 Proeflocaties

Om geschikte locaties voor de proef te vinden op de Hond en Paap wadplaat zijn naast resultaten die met het vooronderzoek verkregen zijn, gebruik gemaakt van informatie uit verschillende bronnen; (1) een habitat geschiktheid kaart, (2) gegevens over historische mosselbankvoorkomens, (3) een kaart met de droogvalduur en (4) observaties die gedaan zijn tijdens een inspectie van de wadplaat.

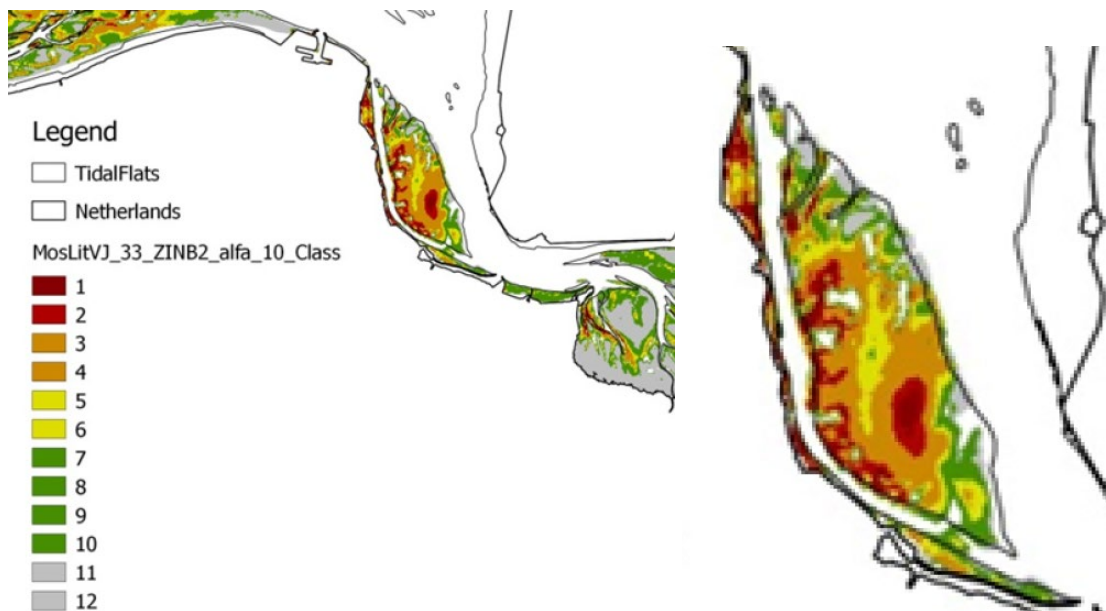
Voor het opstellen van de habitatgeschiktheidskaart heeft Brinkman (in voorbereiding) het voorkomen van droogvallende mosselbanken gerelateerd aan abiotische karakteristieken. Hieruit blijkt dat de droogvalduur en gemiddelde korrelgrootte de belangrijkste variabelen zijn die de aan- of afwezigheid van banken bepalen, gevolgd door het slib- en zoutgehalte (Brinkman, in voorbereiding). Daarnaast draagt de orbitale snelheid (golfwerking op de bodem) nog bij aan de habitatgeschiktheid. Uit deze analyse blijkt verder dat de maximale stroomsnelheid en de schuifspanning die daardoor ontstaat op de bodem slechts van kleine invloed is.

Uit de analyse van Brinkman (in voorbereiding) blijkt dat de optimale droogvalduur voor mosselzaad en halfwas-banken 30-40% bedraagt. Voor volwassen mosselen is deze iets korter. De optimale gemiddelde korrelgrootte (> 16 µm) bedraagt 120-150 µm, maar voor halfwas-mosselen 80-100 µm. Het slibgehalte is optimaal als deze minimaal 40% is, maar hierin bestaat grote variatie. Het optimale zoutgehalte blijkt 20-25 PSU. Zoals eerder gesteld zijn stroomsnelheden weinig verklarend voor de aanwezigheid van litorale mosselbanken. De optimale maximale (orbitale) snelheid mag niet te hoog zijn en bedraagt 0,3-0,4 m/s voor mosselzaad en 0,2 m/s voor volwassen mosselen in het voorjaar.

Variabele	Optimale waarde	Opmerking
droogvalduur	30-40% korter	Mosselzaad en halfwas mosselen Volwassen mosselen
Gemiddelde korrelgrootte	80-100 µm 120-150 µm	Halfwas mosselen Volwassen mosselen
Slibgehalte	> 40%	Variabel
Zoutgehalte	20-25 PSU	
(orbitale) stroomsnelheid	0,3-0,4 m/s 0,2 m/s	Mosselzaad Volwassen mosselen (voorjaar)

Opgemerkt moet worden dat de analyse is uitgevoerd op gegevens over de mosselbanken in de Nederlandse Waddenzee voor de periode 1992-2007. De habitatgeschiktheid van de Hond-Paap is hoog en optimaal voor het gebied waar mosselbanken worden waargenomen, op het westelijke deel van de Hond en zuidelijke deel van de Paap (zie figuur 1, overgenomen uit Brinkman in voorbereiding).





Figuur 29. Mosselbank habitatgeschiktheidsklassen voor volwassen mosselen in het voorjaar in de Eems-Dollard (links) en uitvergroot voor de Hond-Paap (rechts): klasse 1, meest geschikt, klasse 12 minst geschikt (uitsneden overgenomen uit Brinkman in voorbereiding).

Gebieden waar in het verleden mosselbanken gelegen hebben zijn gunstig voor het uitvoeren van de proef omdat (1) mosselbanken zich op dergelijke plekken blijkaar hebben kunnen vestigen en tenminste op zeker hoogte zich hebben kunnen handhaven (2) de ondergrond waarschijnlijk steviger is door opgehoopt dood schelpenmateriaal in de onderliggende bodemlagen. De frequentie van aanwezigheid van droogvallende mosselbanken is in kaart gebracht door Troost et al. (2015). De kaart is gemaakt op basis van monitoringgegevens over de periode 1995-2011. De afname in mosselbankvoorkomens van de afgelopen periode (zie paragraaf 4.2.1) is dus niet meegenomen in deze kaart waardoor de kaart vooral iets zegt over de historische voorkomens van mosselbanken. Uit de kaart blijkt dat vooral op het zuidelijke deel van de Hond-Paap zeer frequent mosselbanken werden aangetroffen, zie Figuur 30. In dit figuur is te zien dat de schelpdierbanken vooral aangetroffen zijn wat verder weg gelegen van de randen van de wadplaat aan geultuitlopers. De aanwezigheid komt in grote lijnen overeen met de habitatgeschiktheidskaart, maar wijkt in detail af door een lagere dan voorspelde aanwezigheid in het algemeen en een hogere frequentie van aantreffen in het zuidelijk deel van de plaat dan voorspeld.

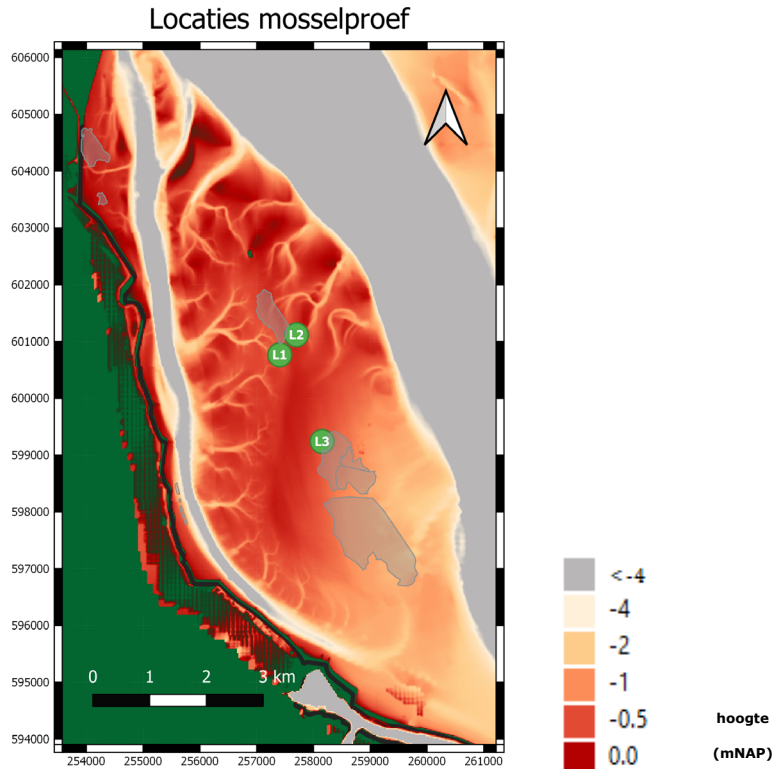


Figuur 30. Frequentiekaart van litorale mosselen op de Hond-Paap voor de periode 1995-2011, overgenomen uit Troost et al., (2015).

Uit onder andere het vooronderzoek die in het kader van dit project uitgevoerd is (zie hoofdstuk 2) blijkt de aanwezigheid van een gradiënt in het zoutgehalte op de Hond en Paap die loopt van noord, met wat hogere zoutgehalte, naar zuid, met lagere zoutgehalte. Op basis van eigen metingen lag het zoutgehaltes in de noordelijke gebieden rond de 20 PSU en lag daarmee nog net in de optimale range die door Brinkman bepaald is. In de zuidelijk gelegen gebieden liggen zoutgehalte onder de optimale

range (<20 PSU). De uiterst zuidelijk gelegen gebieden van de wadplaat zijn daarom voor de proef als minder geschikt ingeschat.

Door het combineren van informatie verkregen uit bovenbeschreven bronnen zijn verschillende gebieden geschikt bevonden voor de proef. Deze gebieden zijn bezocht om te zien of er geen geultjes, zeegras of schelpdierbanken aanwezig waren en om een inschatting te maken van de bodemgesteldheid. Er is ervoor gekozen om niet alle netten op één locatie neer te leggen maar de netten te verspreiden over drie locaties. Om deze manier kunnen risico's als gevolg van onvoorziene omstandigheden gespreid worden en kan het functioneren van de netten onderzocht worden op verschillende locaties. Op elke locatie zouden dan drie netten (van elk materiaal één mat) neergelegd worden. In Figuur 31 zijn de drie geselecteerde proeflocaties ('L1', 'L2' en 'L3') weergegeven op een hoogtekartaat.



Figuur 31. De posities van de drie geschikt geachte proeflocaties op de Hond en Paap wadplaat, geprojecteerd op een hoogtekartaat. Met grijze vlakken worden de locaties van mossel- en gemengde mossel Japanse oesterbanken weergegeven (situatie 2017).

Door het uitblijven van vestiging van mosselzaad op een deel van de netten, zie hoofdstuk 4, was het noodzakelijke boven beschreven plan te herzien. De aanlegproef werd opgesplitst in twee proeven verspreid over twee jaren. De eerste proef begon in 2018 en maakte gebruik van de netten waarop mosselzaad ingevangen werd die op locatie 'L1' (Figuur 31) geplaatst werden. De tweede proef begon een jaar later waarbij gebruik gemaakt werd van mosselzaad afkomstig van een commerciële MZI ondernemer. Deze proef is op locatie 'L2' uitgevoerd. Onderzoeklocatie 'L3' is uiteindelijk in zijn geheel niet gebruikt.

---

## 3.4 Monitoring aanlegproeven

Voor het monitoren van de aanlegproeven zijn de volgende parameters bepaald: mosseldichtheid, -lengte, -gewicht en -bedekking, watertemperatuur en droogvalduur, touwdegradatie en hoogteligging. In deze paragraaf wordt beschreven hoe de verschillende metingen verricht zijn. De meetfrequentie en monsteraantallen varieerde tussen beide proeven. In Bijlage 2 wordt deze informatie per proef gespecificeerd.

### 3.4.1 Algemene indruk netten en mosselen

Een algemeen beeld van de netten met mosselen is verkregen door alle zijden van elk net te fotograferen. Hiervoor zijn foto's gemaakt op enkele meters afstand waarbij ervoor gezorgd is dat de gehele zijde gefotografeerd is. Hiernaast zijn ook detailfoto's gemaakt van de mosselpatches. Hiervoor is een frame van roestvrijstaal (dimensie van 50 x 50 cm) op de wadbodem geplaatst en recht van boven gefotografeerd met een waterdichte Nikon Coolpix W300 camera.

### 3.4.2 Mosselpopulatie

De mosseldichtheid, -lengte en -gewicht is bepaald door monsters te nemen en op het laboratorium te analyseren. Voor het nemen van de monsters is een PVC ring gebruikt met een diameter van 10 cm en een hoogte van 5 cm. De ring is op random locaties maar op mosselpatches tot de rand toe in het sediment gedrukt en alle mosselen gelegen binnen de ring zijn verzameld. Het monster is vervolgens in het veld met lokaal aanwezig water gezeefd (maaswijdte 1 mm) en in een gelabelde plastic zak gedaan. Alle mosselmonsters zijn in een koelbox bewaard voor transport naar het laboratorium van SaM voor analyse. Van elk monster is het totaal aantal levende mosselen bepaald evenals het totale versgewicht (het gewicht inclusief schelp en aanhangend vocht). Van elk monster zijn voor 100 random geselecteerde individuen de schellengte en het individuele versgewicht bepaald. Het asvrijdrooggewicht van het mossel vlees is bepaald per grootte klasse. Hiertoe zijn schellengte klassen gedefinieerd met stapgroottes van 5 mm.

Tijdens uitvoering van proef 2 is ook een natuurlijk aanwezige mosselbank bemonsterd. Deze bank is in 2016 ontstaan en bevond zich nabij proeflocatie 2. In het midden van de bank (in de lengterichting) zijn monsters genomen aan de noordelijke- en zuidelijke zijde van de bank en is een monster genomen gelegen in het midden gelegen deel van de bank. Deze monsters zijn op eenzelfde wijze genomen en geanalyseerd als de monsters die op de aanlegproeven genomen zijn.

### 3.4.3 Afbraak touw

Touwmonsters zijn genomen om de integriteit van het touw vast te kunnen stellen in het laboratorium. Hiervoor zijn stukjes touw afgeknipt van enkele centimeters lang. Op het laboratorium zijn eventuele aanwezige mosselen verwijderd en is het touw schoongespoeld alvorens de staat van het touw visueel vast te stellen.

### 3.4.4 Mosselbedekking en hoogtekaarten

Met een innovatieve methode is de mosselbedekking en hoogteligging vastgesteld van de proeflocaties. De methode bestaat eruit dat een ortho-mozaiëk gecreëerd wordt door samenvoeging van een groot aantal losse foto's. De foto's zijn loodrecht op de wadbodem gemaakt waarbij ervoor gezorgd is dat opeenvolgende fotos voor een groot deel overlappen. Op deze wijze worden de objecten meerdere keren en van alle zijden vastgelegd. Met deze informatie is het mogelijk een hoogtemodel, oftewel 'digital elevation model' (DEM), te construeren. Voor (geo)referentie doeleinden zijn een aantal referentiepunten aangebracht waarvan de geografische positie en hoogteligging

---

nauwkeurig ingemeten zijn met een RTK-DGPS. Voor de verwerking van de fotos naar geogerefeerde ortho- en DEM kaarten is het software programma Agisoft Metashape Professional.

In QGIS zijn de ortho-kaarten gebruikt om de gebieden met mosselen te identificeren en te markeren. De donker gekleurde mosselschelpen staken daarbij goed af van de lichter gekleurde achtergrond. Deze informatie is opgeslagen in shape files en gebruikt om het met mosselen bedekt oppervlak te berekenen en kaarten te maken waarin het met mosselen bedekte oppervlak weergegeven wordt.

Met het op deze wijze in kaart brengen van mosselpatches was nog geen ervaring opgedaan en gedurende het project zijn verbeteringen in de uitvoering doorgevoerd. In de eerste metingen is gebruik gemaakt van slechts één spiegelreflexcamera terwijl op latere momenten gebruik gemaakt is van meerdere go-Pro camera's en weer later van meerdere spiegelreflexcamera's zodat het mogelijk werd sneller grotere oppervlaktes in te kunnen meten.

### 3.4.5 Droogvalduur

De droogvalduur van de netten is bepaald met behulp van een CTD-sensor die de temperatuur, het zoutgehalte en de druk meet. De CTD sensor (CTD-diver, Schlumberger Water Services) is hierbij bevestigd aan een aluminium buis en op de wadplaat geplaatst nabij de netten maar wel op een locatie met een lagere hoogteligging. De sensor is zo ingesteld dat in tijdsintervallen van 2 minuten de metingen verricht en opgeslagen worden. Om te corrigeren voor veranderingen in luchtdruk is hiernaast ook een luchtdruksensor (Baro-diver, Schlumberger Water Services) geplaatst in het gebied. Deze sensor is aan een reling op het NAM eiland bevestigd. Met behulp van de gegevens van beide sensoren is het mogelijk de waterhoogte boven de proeflocatie te bepalen in twee minuten tijdsinterval en daarmee de droogvalduur te bepalen. De exacte berekening hiervoor staat weergegeven in de producthandleiding van de sensors. In het kort komt het erop neer dat de waterdruk die de CTD meet wordt gecorrigeerd voor de dichtheid van het zeewater en de luchtdruk die door de Baro meter bepaald is waarna de waterkolom boven de sensor berekend kan worden. Door de hoogteligging van de CTD sensor te bepalen met een RTK DGPS was alle informatie beschikbaar benodigd voor het berekenen van de droogvalduur. De berekeningen zijn uitgevoerd in het softwarepakket R (R core team, 2020).

### 3.4.6 Winddata

Om een indruk te krijgen van de windcondities gedurende de aanlegproeven is gebruik gemaakt van gegevens die door het KNMI (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut) publiekelijk toegankelijk gesteld worden. Vanaf de KNMI website zijn uurgegevens voor het weerstation Lauwersoog (nummer 277) gedownload. Deze gegevens zijn in R (R Core Team, 2020) en met behulp van het R-pakket 'openair' (Carslaw & Ropkins, 2012) verwerkt tot windrozen waaruit de dominante windkracht en windrichting af te lezen is.

# 4 Aanlegproef 1

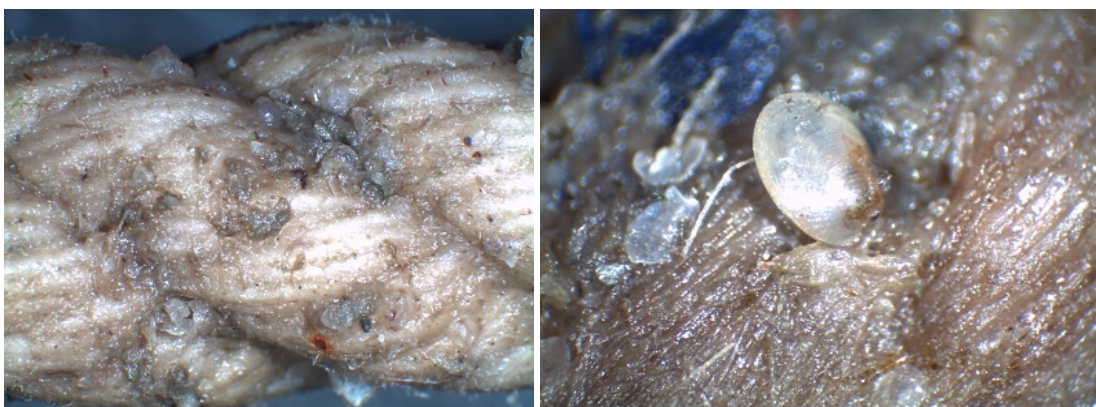
## 4.1 Invangen van mosselzaad

Eind mei begin juni 2018 werden alle netten opgeleverd door het C.I.V. den Oever waarna ze konden worden opgehangen in de Jade om mosselzaad in te vangen, zie Figuur 32. Zes netten (van elk materiaal twee) zijn in de sleepboothaven (locatie 'A' in Figuur 26) uitgehangen. Drie netten (van elk materiaal een net) zijn in de binnenhaven uitgehangen (locatie 'C' in Figuur 26). De netten in de sleepboothaven zijn op 23 mei, 28 mei en 4 juni uitgehangen. De netten in de binnenhaven zijn op 28 mei uitgehangen.



Figuur 32. Uitgehangen netten in de sleepboothaven (links) en in de binnenhaven (rechts).

In de periode juni tot en met half augustus 2018 zijn de netten regelmatig (in het begin om de week en later meer frequent) geïnspecteerd op aanwezigheid van mosselzaad. Van een aantal netten zijn touwmonsters genomen die met een microscoop in het laboratorium onderzocht zijn op aanwezigheid van mosselzaad. Bij inspectie van de netten op 12 juni (sleepboothaven) en 13 juni (binnenhaven) zijn voor het eerst mossellarven op de touwen aangetroffen met behulp van een microscoop, zie Figuur 33.



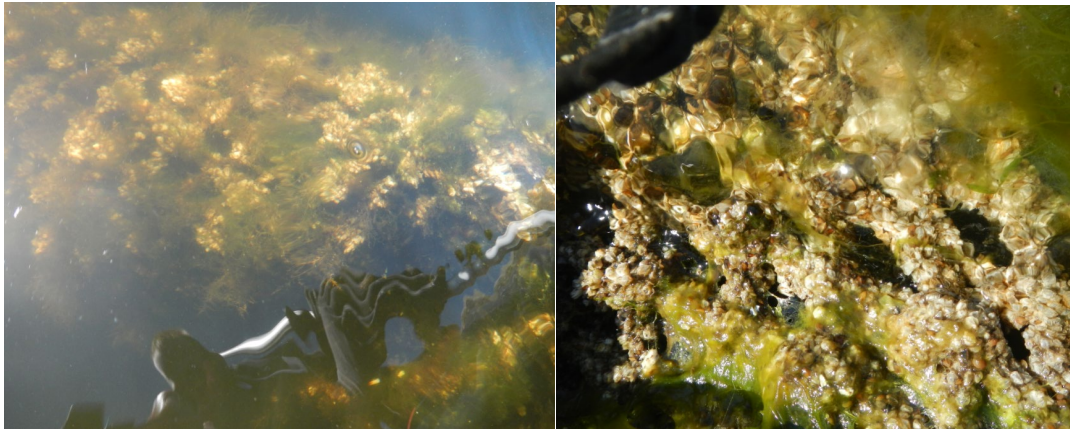
Figuur 33. Mosselzaad aanwezig op één van de katoenen netten uitgehangen in de sleepboothaven.

Uit een inspectie uitgevoerd op 6 juli bleek dat de netten in de sleepboothaven voor grote delen begroeid waren met vooral hydroïdpoliepen, zie Figuur 34. Op de netten werden ook verschillende wiersoorten en pokken aangetroffen, daarnaast zijn veel juveniele krabben gezien. Opvallend was dat zich ook een sliblaag afgezet had op de netten en reeds aangehechte biota.



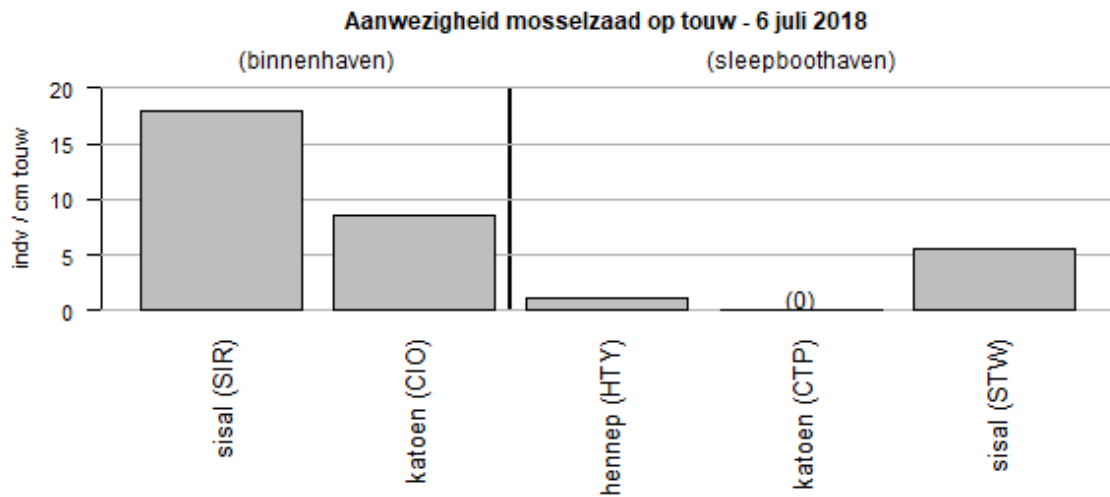
Figuur 34. De aanwezigheid van slib en de begroeiing van de netten die uitgehangen zijn in de sleepboothaven. Linker foto een net gemaakt van katoen, middelste foto een net gemaakt van sisal en rechter foto een net gemaakt van hennep. Foto's zijn op 6 juli 2018 genomen.

Ook de netten in de binnenhaven raakte begroeid. Hier werden, naast mosselen, vooral draadalgen, zakpijpen en zeepokken aangetroffen. Krabben werden niet aangetroffen.



Figuur 35. De begroeiing op de netten die uitgehangen zijn in de binnenhaven. Linker foto een net gemaakt van katoen, rechter foto een net gemaakt van hennep. Foto's zijn op 6 juli 2018 genomen.

Om te zien hoeveel mosselzaad aanwezig was op de netten zijn wederom stukjes touw verwijderd aan de uiteinde van de netten op 6 juli 2018. In de sleepboothaven zijn drie netten bemonsterd (van elk materiaal een net). In de binnenhaven zijn stukjes touw bemonsterd van de netten gemaakt van sisal en katoen. Er werden wat meer mosselen gevonden op de touwmonsters van de binnenhaven dan van de sleepboothaven, zie Figuur 36. Het verplaatsen van de netten naar de Hond Paap wadplaat werd uitgesteld van 16 juli naar 17 augustus om de netten in de sleepboothaven nog een kans te geven dichter begroeid te raken met mosselen.



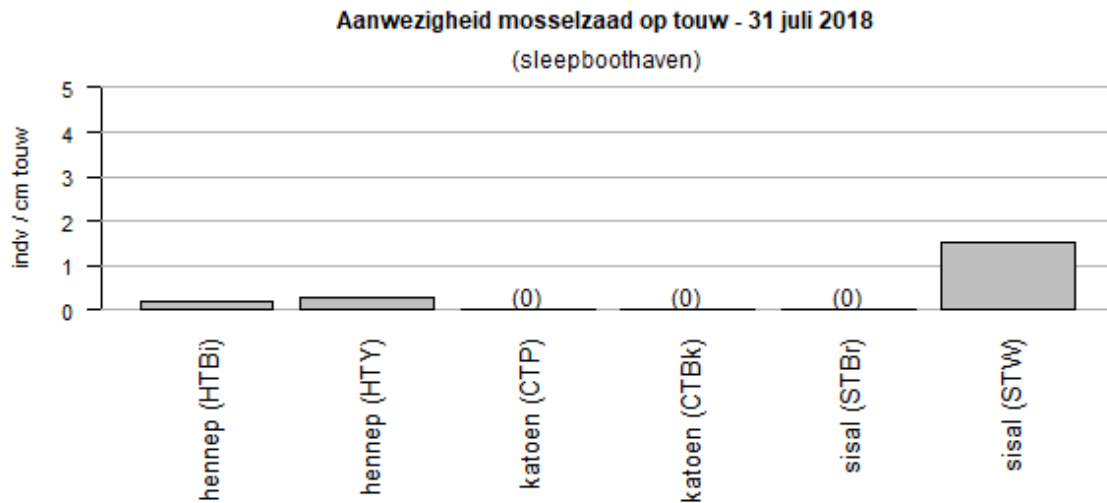
In de opvolgende weken raakte de netten in de binnenhaven steeds dikker bedekt met mosselen door groei van de aanwezige mosselen en mogelijk ook door nieuwe aanwas. Op 20 juni waren de netten in de binnenhaven nagenoeg volledig begroeid met mosselen, zie Figuur 37. De mosselschelpengten varieerde sterk en mosselen met schelpengtes tot ong. 15 mm waren aanwezig.



Figuur 37. Net in de binnenhaven die nagenoeg volledig bedekt is met mosselzaad. Foto genomen op 20 juli 2018.

De mosselpopulatie op de netten uitgehangen in de sleepboothaven ontwikkelde zich niet goed. Op 31 juli zijn wederom stukjes touw verwijderd en in het laboratorium onderzocht op aanwezigheid van mosselen. Het aantal mossel dat per cm touw gevonden is bleef beperkt tot <2 mosselen/cm touw, zie Figuur 38. Op beide netten gemaakt van katoen en op een van de netten gemaakt van sisal zijn in zijn geheel geen mosselen gevonden op de bemonsterde touwstukken. De mosseldichtheid op de netten gemaakt van hennep en sisal bleek afgenomen te zijn ten opzichte van de meting die op 6 juli 2018 uitgevoerd is.

Door de zeer beperkte aanwezigheid van mosselen op deze netten had het geen zin ze te gebruiken voor de proef en naar de Hond Paap wadplaat te verplaatsen. Deze netten zijn weggehaald, gespoeld met zoetwater, gedroogd aan de lucht en opgeslagen in een loods van Senckenberg am Meer in Wilhelmshaven voor later gebruik.



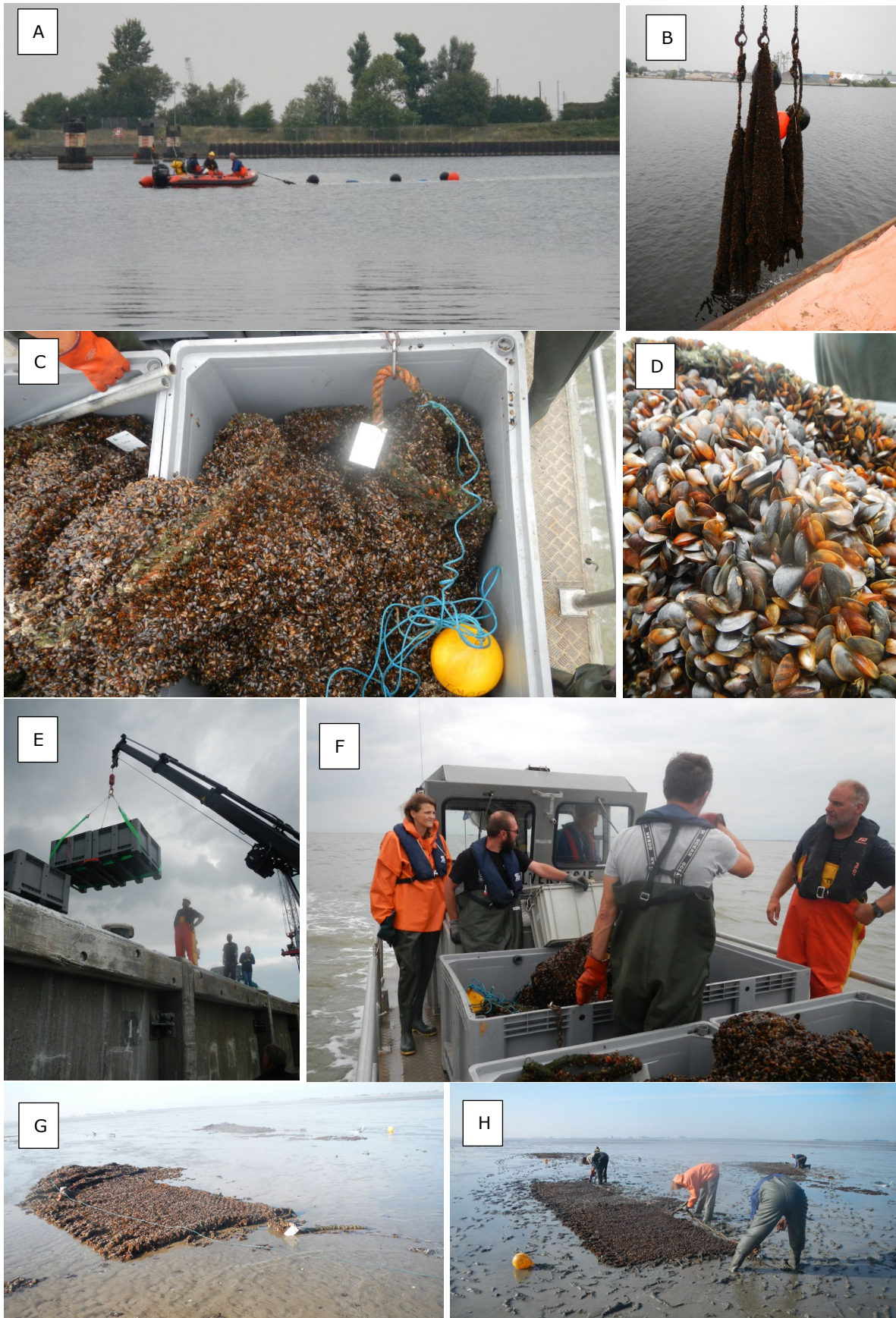
Figuur 38. Bardigrammen met het aantal mosselzaad uitgedrukt als aantal individuen per cm touw op de touwmonsters genomen op 31 juli 2018 van netten die uitgehangen zijn in de sleepboothaven. Het betreft touwstukken zonder knopen of touwuiteindes. De lettercodes tussen haakjes betreft de identificatiecode. Wanneer geen mosselen gevonden zijn is dit aangegeven in het figuur met "(0)". Merk het verschil in Y-as op met Figuur 36.

## 4.2 Plaatsing op de Hond en Paap wadplaat

Nu slechts drie van de negen netten beschikbaar waren voor de proef is besloten alleen proeflocatie 'L1' op de Hond en Paap wadplaat (zie Figuur 31) te gebruiken. Om te voldoen aan de eisen gesteld in de vergunning is de locatie nog iets naar het zuiden verlegd zodat de netten op een afstand van > 200 meter van de daar aanwezige natuurlijke mosselbank kwam te liggen. In de periode 13 tot en met 17 augustus 2018 zijn de netten verplaatst van de Jade naar deze locatie op de Hond en Paap wadplaat.

In de ochtend van woensdag 15 augustus zijn de netten losgemaakt van hun bevestigingspunten (ander net of de kade) en met een RIB naar een plek gesleept waar een kraanwagen gereed stond. Met behulp van de kraanwagen is ieder net uit het water getild en in twee plastic kuubbakken geplaatst. De kuubbakken met netten zijn met een open vrachtauto en een aanhanger dezelfde dag vervoerd naar de Eemshaven. Hier zijn de netten met behulp van de kraan van de *HARDER* aan dek van het *ZILVERVISJE* geplaatst. Onder assistentie van de *HARDER* zijn de netten tijdens hoogwater van dezelfde dag (woensdag) met het *ZILVERVISJE* naar de proeflocatie op de Hond Paap wadplaat vervoerd. Daar zijn de netten handmatig over boord gezet. Ook het beperkt aantal mosselen die tijdens transport losgeraakt zijn van de netten zijn op locatie overboord gezet. Het laagwater van donderdagochtend is gebruikt om de netten uit te spreiden en vast te zetten met ijzeren krammen. In Figuur 39 is een beeldverslag opgenomen van het verplaatsen van de netten.

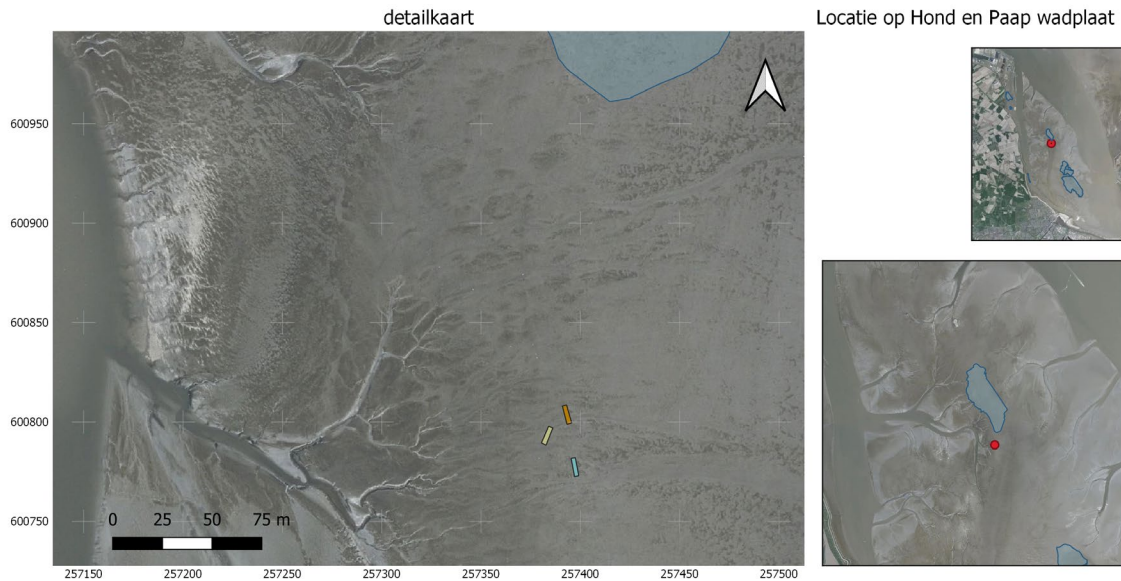




Figuur 39. Beeldverslag van het verplaatsten van de netten met mosselen uit de binnenhaven van Wilhelmshaven naar de Hond en Paap wadplaat in het Eems-Dollard estuarium. 'A' transport van netten naar de kade, 'B' t/m 'D' verplaatsing van de netten naar het estuarium, 'E' plaatsing van de netten aan boord van het *ZILVERVISJE*, 'F' transport van de netten naar de Hond Paap wadplaat, 'G' positie van de netten op eerst volgende laagwater, 'H' positionering en verankering van de netten.

De netten liggen zuidelijk van een natuurlijk gevormde mosselbank en oostelijk van een geultje die water naar de geul Bocht van Watum afvoert, zie Figuur 40. De netten liggen op een onderlinge afstand van ongeveer 10 meter. In de lengterichting liggen de netten grofweg op een lijn die loop van noord naar zuid, zie Figuur 40.

### Ligging netten van experiment 1



Figuur 40. Met de rode stip in de rechter figuren wordt de locatie van aanlegexperiment 1 op de Hond en Paap wadplaat weergegeven. In het figuur links is de ligging van de netten gemaakt van sisal (oranje rechthoek), katoen (blauwe rechthoek) en hennep (gele rechthoek) op de Hond en Paap wadplaat weergegeven. Met de blauwe contouren worden de natuurlijk aanwezige mosselbanken weergegeven.

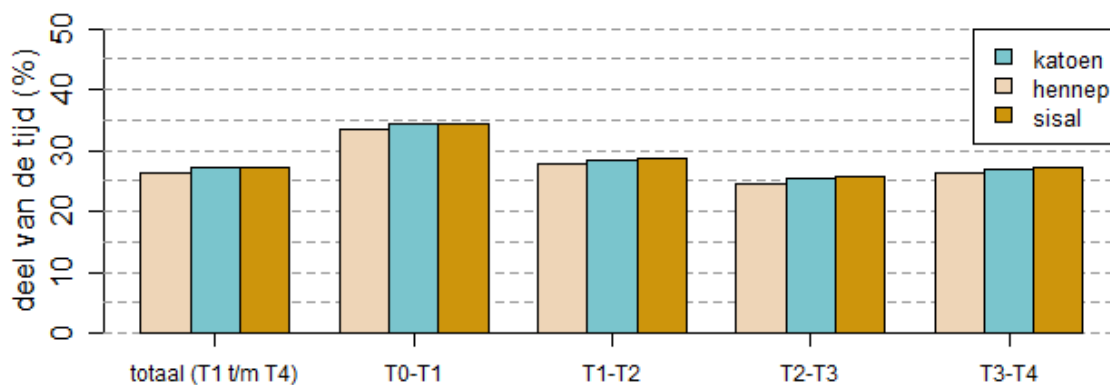
## 4.3 Ontwikkeling van de mosselen van aanlegproef 1

Deze paragraaf beschrijft aan de hand van de uitgevoerde meting de ontwikkeling van de mosselen van aanlegproef 1.

### 4.3.1 droogvalduur

Gemiddeld lagen de netten van aanlegproef 1 26,9% van de tijd droog. Door verschillen in hoogteligging en door invloeden van de maanstand en de wind varieerde de droogvalduur voor de netten en tijdstippen tussen de 24,6% en 34,3%, zie Figuur 41. Het verschil tussen de netten bedroeg tiende van procenten.

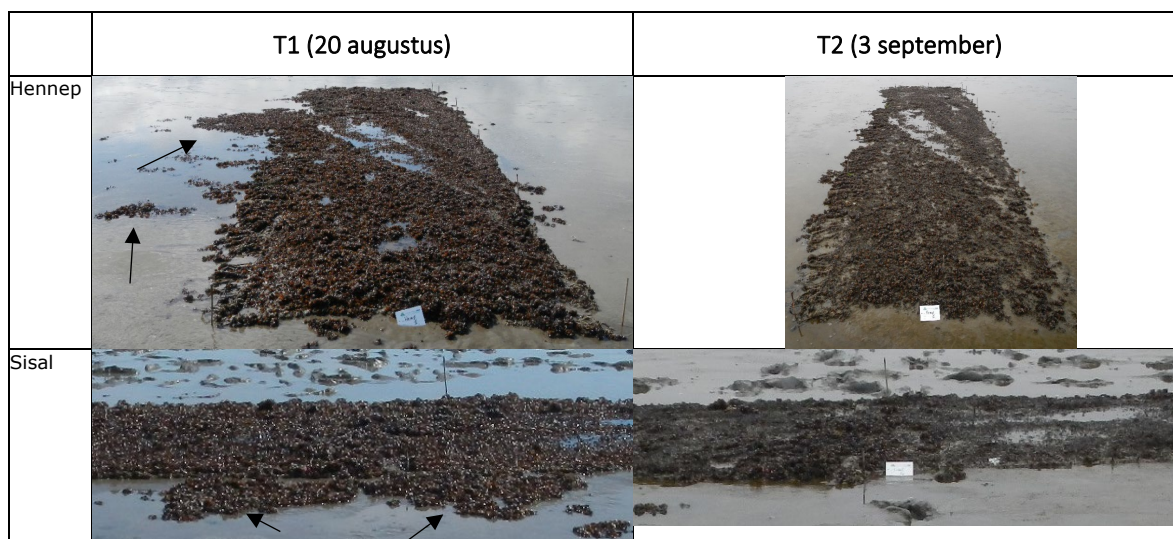
## droogvalduur



Figuur 41. Bardigram met de gemiddelde droogvalduur tijdens aanlegproef 1 voor de verschillende netten en tussen de verschillende meetmomenten. De CTD logger is verwijderd tijdens T4 waardoor geen gegevens beschikbaar zijn tussen de meetmomenten T4 en T5.

### 4.3.2 Met mosselen bedekt oppervlak

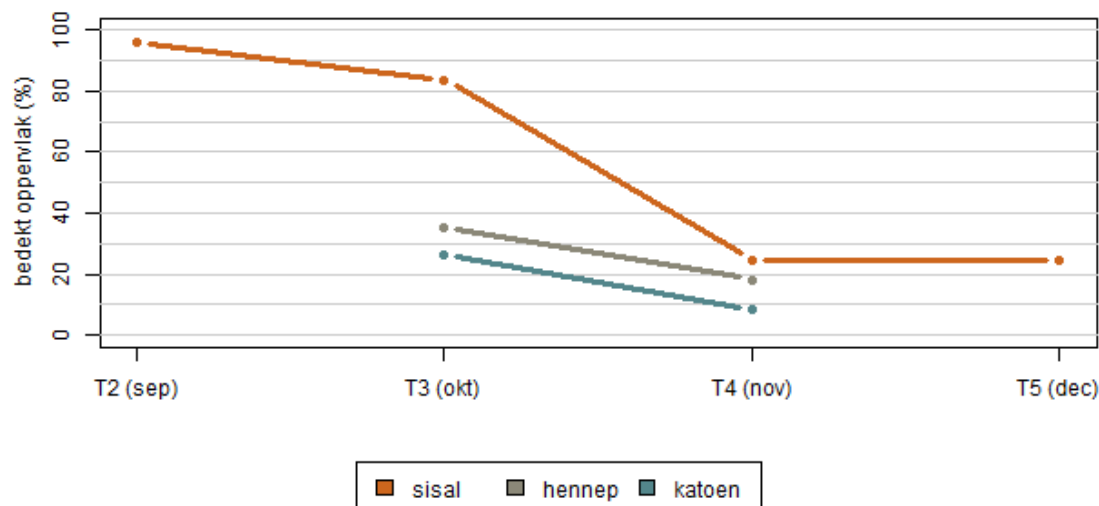
Alleen op de T1 bemonstering (maandag 20 augustus 2018) zijn mosselen aangetroffen op plekken buiten de netten, zie Figuur 42. Deze mosselen zijn hoogstwaarschijnlijk een aantal dagen daarvoor (woensdag 16 augustus) als losse mosselen overboord gezet tijdens het plaatsen van de netten op de wadplaat. In de opvolgende bemonstering (T2, op 3 september) waren nagenoeg al de mosselen die zich buiten het net bevonden verdwenen, zie Figuur 42. Tijdens latere bemonsteringen zijn geen mosselpatches van enige omvang aangetroffen op plekken naast de netten.



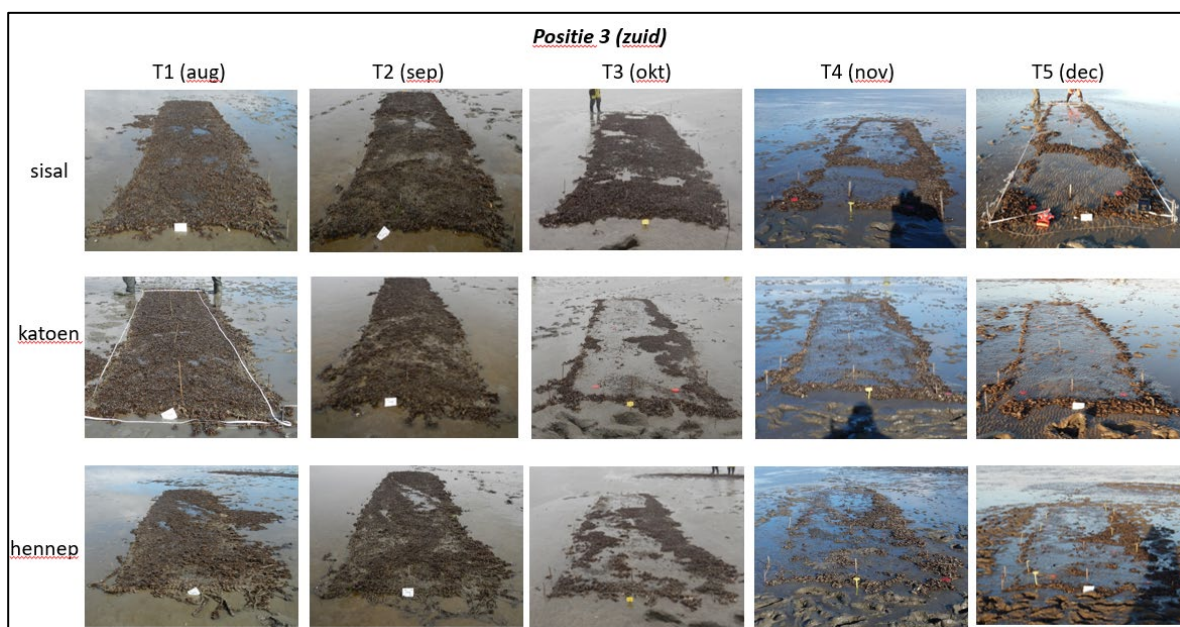
Figuur 42. Uitsnedes van fotos waarop het verdwijnen van mosselpatches die zich buiten de netten bevonden te zien is tussen de T1 en T2 bemonstering.

In de vier maanden na het plaatsen van de netten op de wadplaat neemt het met mosselen bedekte oppervlak af van nagenoeg 100% tot <30%, zie Figuur 43 en Figuur 44. Waar de bedekking van mosselen op het net gemaakt van sisal in oktober (T3) nog >80% is, is deze voor netten gemaakt van katoen en hennep op de T3 al afgenomen tot <40%, zie Figuur 43. Op T4 was ook de bedekking van mosselen op het net gemaakt van sisal sterk afgenomen tot <35% van het netoppervlak, zie Figuur 43. In het kader van een veldbezoek voor het tweede aanlegproef is op 21 juni (2019) het gebied nogmaals bezocht. Toen werden nog sporadisch mosselen aangetroffen op het net gemaakt van sisal terwijl op beide andere netten de mosselen nagenoeg geheel verdwenen waren.

### deel van het netoppervlak dat bedekt is met mosselen

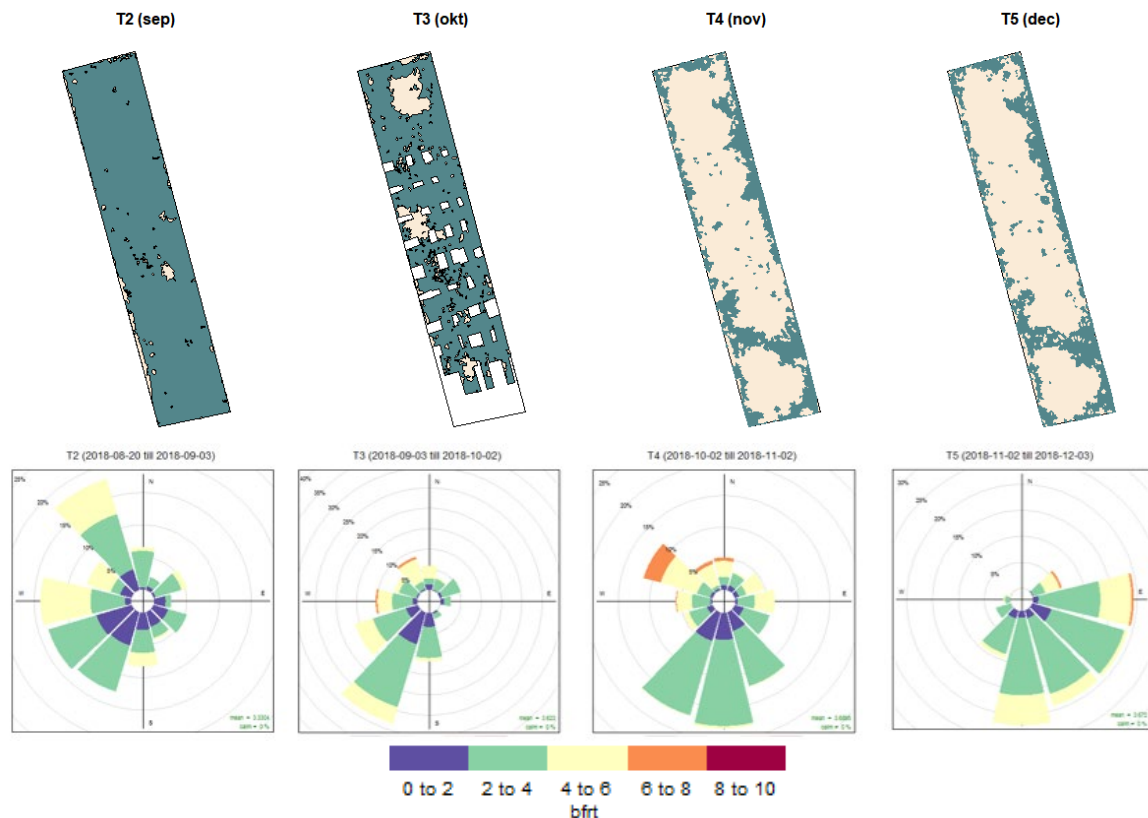


Figuur 43. Ontwikking van mosselbedekking uitgedrukt als percentage van de netten die bedekt zijn met mosselen voor de verschillende netten en bemonsteringstijdstippen waarop deze integraal in kaart gebracht zijn.



Figuur 44. Ontwikking van de mosselen op de netten van aanlegproef 1 op de T1 t/m T5 meetmomenten. De netten zijn gefotografeerd vanaf de zuidzijde.

In Figuur 45 is de invloed dan de windrichting en windkracht te zien op het verdwijnen van de mosselpatches op het net gemaakt van sisal. Vooral de wat sterkere (>6 Bft) winden uit het noordwesten tussen T3 en T4 (derde panel van links in Figuur 45) hebben gezorgd voor veel erosie van mosselen. Tussen de T4 en T5 metingen was de windkracht minder sterk en zijn weinig mosselen verdwenen. Zoals op allen netten geobserveerd was erodeerde mosselen gelegen in de binnenste delen van het net het snelst terwijl mosselen aan de randen van het net langer stand wisten te houden. Aan de noordoostelijke net rand is een dunne band van mosselen blijven tot het T5 meetmoment, zie Figuur 45. Ook op de netten gemaakt van katoen en hennep bleven mossel vooral liggen aan de (noordoostelijk gelegen) netranden, zie Figuur 44. Wel verdwenen op beide netten meer mosselen tussen de T2 en T3 meetmomenten dan voor sisal het geval was, zie Figuur 43 en Figuur 44.



Figuur 45. Bovenste panelen geven de de schelpdierbedekking op het sisal net weer voor de meetmomenten T2, T3, T4 en T5. Met blauwe vlakken worden plekken met mosselen weergegeven en met gele vlakken plekken zonder mosselen. Op T3 was de overlap van individuele foto's in sommige gevallen onvoldoende om een vlakdekkend mosaïc te construeren. Deze gebieden zijn in het tweede paneel van links in witte blokken weergegeven. De onderste panelen geven de windrichting en windsterkte weer tussen de meetmoment T1-T2 (uiterst links), tussen T2 en T3 (links-midden), tussen T3 en T4 (rechts-midden) en tussen T4 en T5 (uiterst rechts).

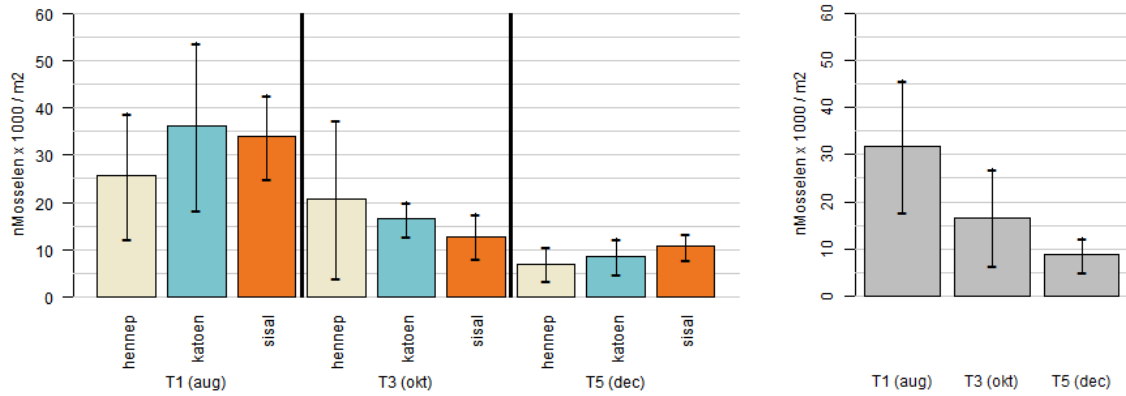
### 4.3.3 Mosselpopulatie

In Figuur 46, Figuur 47 en Figuur 48 is respectievelijk de mosselabundantie, mosselschelpenlengte en het asvrijdrooggewicht van het mossel vlees weergegeven voor de mosselen die bemonsterd zijn op de mosselpatches. Verschillen tussen netten en meetmoment zijn onderzocht met lineair modellen met net en bemonsteringstijdstip als verklarende variabelen. Voor de analyses is gebruikt gemaakt van het softwarepakket R (R Core Team, 2020). Modeluitkomsten zijn opgenomen in Bijlage 3.

Tijdens de bemonsteringen werd geobserveerd dat de bodemlaag direct onder de genomen monsters vaak zwart van kleur was, wat duidt op zuurstofarme condities.

Het aantal mosselen in de mosselpatches was afhankelijk van het meetmoment maar niet van het netmateriaal (zie modelresultaten in Bijlage 3). In Figuur 46 is te zien dat op alle netten het aantal mosselen in de monsters geleidelijk afneemt van ongeveer 30.500 per m<sup>2</sup> op T1 naar 7.400 m<sup>2</sup> op T5. Merk op dat dit het aantal mosselen is dat aangetroffen is in de mosselpatches. Voor het aantal mosselen op het net moet dit vermenigvuldigd worden met de mosselbedekking op de netten, zie vorige paragraaf.

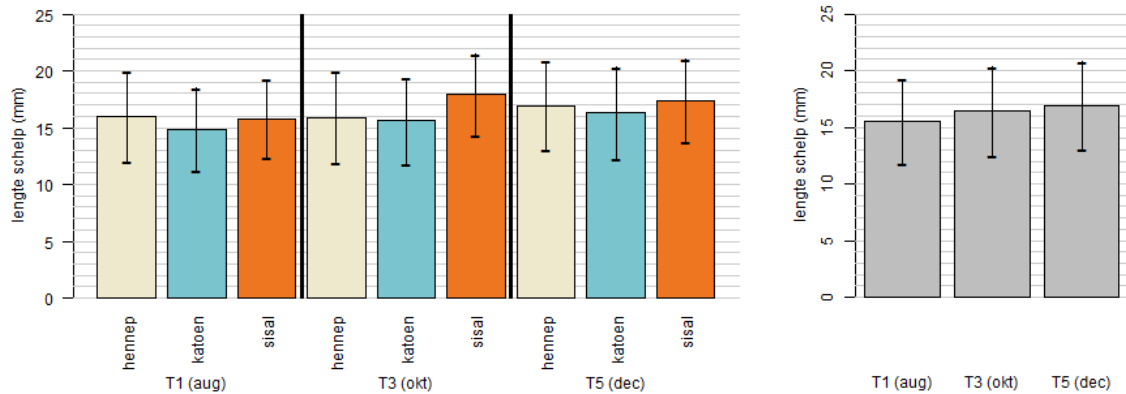
### Ontwikkeling mossel abundantie in mossel patches



Figuur 46. In het linkerpaneel bardiagrammen met de mosseldichtheid in de negen bemonsterde mosselpatches genomen per net voor de netten gemaakt van hennep, katoen en sisal en voor de meetmomenten T1, T3 en T5. In het rechterpaneel bardiagrammen met de mosseldichtheid voor de meetmomenten T1, T3 en T5 voor al de drie de netten gezamenlijk beschouwd. Met de verticale lijnen wordt  $\pm 1$  keer de standaarddeviatie weergegeven.

In Figuur 47 en Bijlage 3 is te zien dat de schelpenlengte van de mosselen iets toenam na verloop van tijd. Op meetmoment T1 is een gemiddelde lengte van 15.5 mm gemeten en op T5 is deze gemiddeld 16.8 mm. De gemiddelde schelpenlengte van mosselen bemonsterd op het net gemaakt van katoen was iets kleiner (-0.7 mm) dan de schelpenlengte van mosselen verzameld op hennep terwijl de schelpenlengte van mosselen verzameld op het net van sisal juist wat groter (+0.7mm) was dan van mosselen verzameld op het net gemaakt van hennep. Merk op dat de gemiddelde schelpenlengte van mosselen toe kan nemen door mosselgroei maar ook door het verdwijnen van kleinere mosselen.

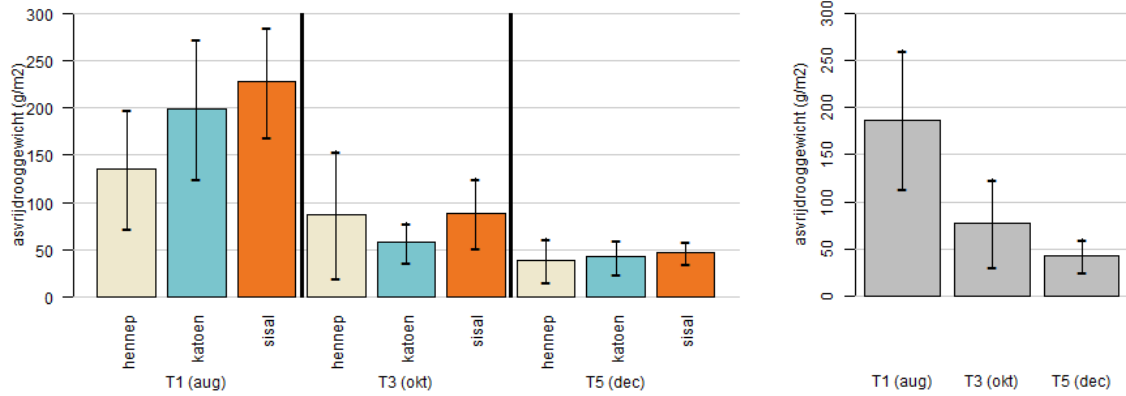
### Ontwikkeling schelpenlengte



Figuur 47. In het linkerpaneel bardiagrammen met de mosselschelpenlengte in de negen bemonsterde mosselpatches genomen per net voor de netten gemaakt van hennep, katoen en sisal en voor de meetmomenten T1, T3 en T5. In het rechterpaneel bardiagrammen met de mosselschelpenlengte voor de meetmomenten T1, T3 en T5 voor al de drie de netten gezamenlijk beschouwd. Met de verticale lijnen wordt  $\pm 1$  keer de standaarddeviatie weergegeven.

In Figuur 48 en Bijlage 3 is te zien dat het asvrijdrooggewicht van het mosselvlees afnam voor elk meetmoment. Het asvrijdrooggewicht nam af van 187 g/m<sup>2</sup> op T1 naar 78 g/m<sup>2</sup> op T3 en naar 43 g/m<sup>2</sup> op T5. Het verschil dat voor het net gemaakt van sisal gevonden werd (zie bijlage 3) is veroorzaakt door een hogere biomassa bij de start van de proef op T1. Na T1 zijn geen verschillen tussen netten gevonden wat blijkt uit een model waarin alleen de T3 en T5 metingen meegenomen zijn. Ook het versgewicht van de mosselen (geen diagram opgenomen) nam af. Dit is het gewicht van de mosselen inclusief schelp en aanhangend vocht. Op T1 is een gemiddelde versgewicht gemeten van 11,3 ( $\pm 4.2$ ) kg/m<sup>2</sup>, op T3 was dit afgenomen tot 7.8 ( $\pm 3.8$ ) kg/m<sup>2</sup> en op T5 nam dit verder af tot 4.9 ( $\pm 2.2$ ) kg/m<sup>2</sup>.

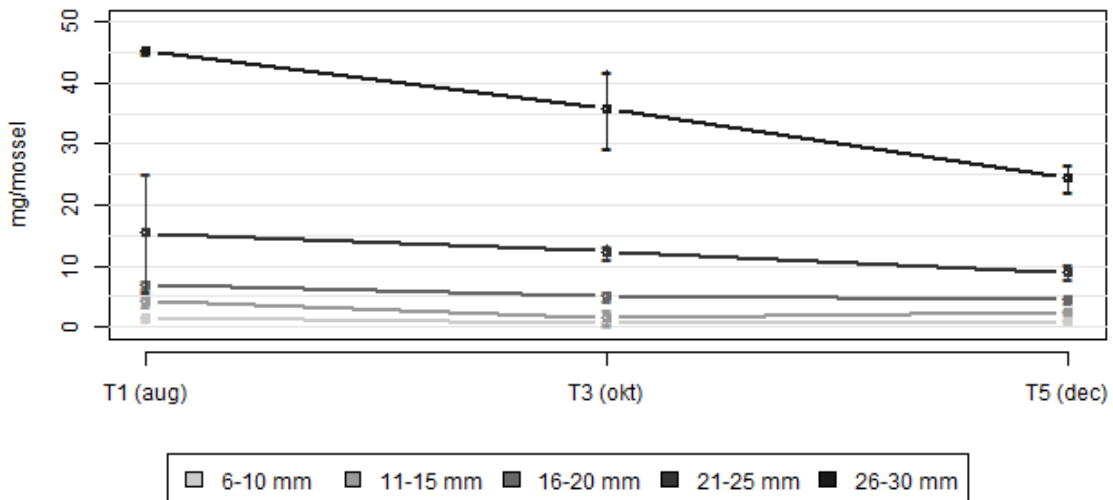
### Ontwikkeling mosselbiomassa (afdw)



Figuur 48. In het linkerpaneel bardiagrammen met het asvrijdrooggewicht van het mosselvlees in de negen bemonsterde mosselpatches genomen per net voor de netten gemaakt van hennep, katoen en sisal en voor de meetmomenten T1, T3 en T5. In het rechterpaneel bardiagrammen met het asvrijdrooggewicht van het mosselvlees voor de meetmomenten T1, T3 en T5 voor al de drie de netten gezamenlijk beschouwd. Met de verticale lijnen wordt  $\pm 1$  keer de standaarddeviatie weergegeven.

In Figuur 49 is het asvrijdrooggewicht uitgedrukt voor mosselen van verschillende lengteklassen en voor de verschillende meetmomenten. Om te corrigeren voor verschillen in abundantie tussen de meetmomenten zijn de gewichten uitgedrukt per individuele mossel. Hieruit blijkt dat, vooral voor de grotere individuen, het asvrijdrooggewicht afneemt. Het asvrijdrooggewicht van mosselen tot een schelpenlengte van 20 mm nam af met ong. 30% tussen de T1 en T5 meting en voor mosselen met een schelpenlengte >20 mm met ong. 40% in dezelfde periode.

### asvrijdrooggewicht per mossel



Figuur 49. Het gemiddelde asvrijdrooggewicht van individuele mosselen per lengteklasse voor de meetmomenten T1, T3 en T5. Met de verticale lijnen wordt  $\pm 1$  keer de standaarddeviatie weergegeven.

De mosselmonsters zijn genomen in de nazomer, de herfst en het uiterste begin van de winter. In deze periode is ongeveer een derde van het aantal mosselen verdwenen en is het vleesgewicht van de mosselen afgenomen met ongeveer 30-40% wat gecombineerd geresulteerd heeft in een afname van 80% in het asvrijdrooggewicht van de mosselen in de patches. De mosselen aanwezig op de mosselpatches hebben dus ingeteerd op het vetreserves. Wat op zichzelf niet vreemd is bij verplaatsing van ondergedoken mosselen op een wadplaat in de wintermaanden. Hiernaast is de mosselpopulatie ook uitgedund door sterfte en erosie van mosselen. Het is niet waarschijnlijk dat vogel- en krabpredatie belangrijk is geweest in de opgetreden mossel verliezen. Vogels en krabben zijn niet waargenomen tijdens de veldmetingen en ook voetafdrukken van vogels zijn niet gevonden.

#### 4.3.4 Degradatie van de netten

In Figuur 51 is te zien dat de mosselen de touwen compleet omkapseld hebben met hun byssusdraden. Een mat bestaande uit byssusdraden moest eerst van de touwen verwijderd worden voordat het touw zelf bekeken kon worden.

Van de hier onderzochte touwtypen degradeerde de netten gemaakt van katoenen touwen het snelst. Vanaf de eerste metingen tot en met de T3-meting in oktober was het nog nodig de katoenen touwstukjes af te knippen of snijden om ze te verzamelen. Bij latere metingen was dit niet meer vereist en konden touwstukjes verzameld worden door er licht aan te trekken. Bij inspectie op het laboratorium bleek dat het katoenen touw al sterk aan het desintegreren was bij de T3 meting, zie Figuur 50. Voor de touwen gemaakt van hennep en sisal was dit veel minder het geval. Het sisaltouw bleek het langst intact te blijven hoewel ook dit touw na verloop van tijd sporen van degradatie vertoonde. Op de laatste metingen (T5) liet ook het sisal touw gemakkelijk los wanneer eraan getrokken werd maar de structuur viel nog niet uit elkaar onder invloed van wind en stroming alleen. Dit was wel het geval voor het net gemaakt uit katoenentouwen, waar netstukken loslieten als gevolg van wind en waterstromingen en zich verspreiden over de proeflocatie. Hennep nam een midden positie in tussen de katoenen touwen die sneller afbraken en sisal touwen die minder snel afbraken.



Figuur 50. Uiterst links byssusdraden van mosselen die de touwen van het net geheel omkapseld hebben. Het katoene touw tijdens de T1 meting (midden boven) en tijdens de T3 meting (midden onder). Het sisal touw tijdens de T1 meting (rechtsboven) en tijdens de T3 meting (rechtsonder).



---

## 4.4 Conclusie en discussie aanlegproef 1

Samenvattend kunnen de volgende conclusies verbonden worden aan de observaties die gedaan zijn tijdens het uitvoeren van aanlegproef 1.

Met betrekking tot het functioneren van de netten voor wat betreft het invangen van mosselzaad en degradatie van de touwen kunnen de volgende conclusies getrokken worden.

- Van de twee onderzochte uithanglocaties verliep het invangen van mosselzaad alleen succesvol op de netten die uitgehangen werden in de binnenhaven.
- Het lijkt onwaarschijnlijk dat er geen mossellarven aanwezig waren in het water bij de sleepboothaven. Enkele mosselzaad individuen zijn aangetroffen op de netten en op de nabijgelegen mzi installatie is wel succesvol mosselzaad ingevangen. Zowel de aanwezigheid van modder en de accumulatie ervan op de netten als de predatiedruk die uitgeoefend werd door de aanwezige juveniele krabben zijn meer voor de hand liggende oorzaken voor het onsuccesvol invangen van mosselzaad op deze netten.
- Het succesvol invangen van mosselzaad op de netten uitgehangen in de binnenhaven hebben laten zien dat op elk van de hier onderzocht netmaterialen (hennep, katoen en sisal) mosselzaad ingevangen kan worden.
- De mosselen hechten zich eerst met byssusdraden aan de touwen van het net die na verloop van tijd compleet omkapseld worden.
- De verankering van de mosselen aan de touwen is dermate stevig dat weinig mosselen loslaten tijdens het transport van de uithanglocatie naar de wadplaat en tijdens het plaatsing van de netten op de wadplaat.
- De netten gemaakt van katoen breken het snelst af en netten gemaakt van sisal het langzaamst, hennep neemt een tussenpositie in.

Met betrekking tot de ontwikkeling van het mosselzaad op de wadplaat kunnen de volgende conclusies getrokken worden.

- De locatie die gebruikt is voor aanlegproef 1 bleek ongeschikt te zijn voor overleving van mosselen; alle mosselen die op enig moment naast de netten terecht kwamen werden niet teruggevonden bij latere bezoeken. De aanwezige sliblaag van enkele centimeters diep heeft hier waarschijnlijk aan bijgedragen.
- Alleen de aanwezigheid van de netten zorgde ervoor dat de mosselen zich enkele maanden wisten te handhaven op deze proeflocatie.
- In een periode van vijf maanden zijn de meeste mosselen geërodeerd van de netten ongeacht het gebruikte net materiaal.
- Geobserveerd werd dat van de beproefde materialen de mosselen op het net gemaakt van sisal het minst snel erodeerde en op het net gemaakt van katoen het snelst. Het is goed mogelijk dat de erosie van mosselen verband houdt met de snelheid van degradatie van het touw die voor sisal het langzaamst en voor katoen het snelst verliep. Door afwezigheid van replica's in touwmateriaal kan dit verschil niet statistisch onderzocht worden en is dit een voorlopig hypothese die nader onderzocht zou kunnen worden.
- De mosselen bewegen zich, vooral in het midden van de netten, omhoog, waarschijnlijk als gevolg van concurrentie om voedsel. Deze mosselen verdwijnen als eerste.
- Aan de randen van de netten bleken de mosselen het beste stand te houden, mogelijk doordat daar meer uitwisseling van water plaatsvindt en de concurrentie om voedsel minder groot is. Blijkbaar waren de mosselen aan de randen van het net minder geneigd zich los te maken van de touwen en elkaar en omhoog te bewegen dan mosselen gelegen in het middendelen van het net.
- De invloed van verhoogde windsnelheden heeft waarschijnlijk direct, of indirect via golfslag, geleid tot het wegspoelen van mosselen. Vooral in periodes met windsnelheden boven de 6 Bft geleid tot erosie van mosselen van de netten.
- De mosselen hebben ingeteerd op hun vetreserves en de populatie is in vier maanden tijd uitgedund. Dat mosselen interen op hun vetreserves in de herfst en winter is een natuurlijk verschijnsel dat verklaard kan worden door lagere beschikbaarheid van voedsel en lagere

---

voedselkwaliteit in die maanden. Hiernaast speelt mee dat gedurende het invangen van het mosselzaad op de netten de mosselen volop hebben kunnen eten aangezien ze zich permanent onder water bevonden. Hierdoor waren ze waarschijnlijk goed gevoed op het moment dat ze naar de wadplaat gebracht werden. Na plaatsing op de wadplaat vielen ze twee keer per dag droog waardoor er minder tijd was om voedsel te vergaren.

Het moet opgemerkt worden dat de zomer van aanlegproef 1 extreem warm en droog was. De zomer van 2018 was met gemiddeld 18.6 °C 1.9 graad warmer dan normaal en de warmste zomer sinds minimaal 1706 (KNMI). De hoge temperaturen worden in verband gebracht met de geobserveerde extreem hoge kokkelsterfte op de wadplaten in de Nederlandse Waddenzee (Troost en Asch, 2018). Het is de verwachting dat bij hoge temperaturen mosselen relatief veel energie kwijt zijn aan hun metabolisme en meer moeite hebben om hun zuurstofhuishouding op orde te houden.

Voor vervolg proeven worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- Gebruik niet de sleepboothaven maar de binnenhaven voor het invangen van mosselzaad op de netten.
- Zoek een proeflocatie met een meer dynamisch waterstroming waar de kans op voedsellimitatie, zuurstofgebrek en sedimentatie van slib lager is.
- Vergroot het randoppervlak van de netten zodat de kans op voedsellimitatie en zuurstofgebrek verkleint wordt.
- Transplanteer de netten met mosselen zo vroeg mogelijk in het seizoen naar de wadplaat zodat mosselen nog gebruik kunnen maken van de aanwezige algen in het groeiseizoen. Het verkrijgen van een hoge mosseldichtheid bij de start is wat minder van belang omdat de populatie naar alle waarschijnlijkheid toch uitgedund zal worden.

---

# 5 Aanlegproef 2

## 5.1 Invangen van mosselzaad

Na uitvoering van aanlegproef 1 waren nog zes netten (van elk materiaal twee) beschikbaar. Ondanks dat deze netten gespoeld, aan de zon gedroogd en droog en donker opgeslagen zijn vertoonde alle, maar m.n. de netten gemaakt van katoen, sporen van slijtage. De netten zijn daarom door het C.I.V. in den Oever verstevigd en tot op zekere hoogte hersteld door vervanging van de meest beschadigde netdelen. Om de netten te verstevigen zijn vijf touwen lopende over de breedte van de netten (aan iedere uiteinden een, in het midden een en tussen het midden en het uiteinde aan beide zijde van het midden een) aangebracht. Daarnaast zijn kwetsbare stukken hersteld met het oorspronkelijke touwmateriaal. Hierna zijn de netten naar Duitsland vervoerd om gebruikt te worden om mosselzaad in te vangen.

Omdat bij uitvoering van aanlegproef 1 het invangen van mosselzaad niet gelukt was bij de sleepboothaven zijn nu alle netten in de binnenhaven uitgehangen. De netten zijn op 8 mei 2019 uitgehangen.

Op 16 mei heeft de eerste netbemonstering plaatsgevonden. Per net zijn twee touwstukken verwijderd om de aanwezigheid van mosselzaad te bepalen op het laboratorium van SaM in Wilhelmshaven. Op geen enkel monster werd mosselzaad aangetroffen.

Op 20 juni heeft een volgende netbemonstering plaatsgevonden. Wederom is geen mosselzaad aangetroffen. De MZI installaties van David de Leeuw in de Jade was inmiddels wel gekoloniseerd met mosselzaad (persoonlijke communicatie). Op 27 juni zijn wederom monsters genomen waar geen mosselzaad op aangetroffen is. Wel waren de touwen sterk gekoloniseerd met draadalgen, en manteldieren en zijn zeepokken aangetroffen. Op 4 juli heeft een laatste bemonstering plaatsgevonden waarbij op drie van de 18 genomen touwmonsters enkele individuen aangetroffen is. De mosselzaaddichtheid was totaal ontoereikend en er is besloten niet langer te wachten op kolonisatie van de netten met mosselzaad.

Door afwezigheid van mosselzaad op de netten is besloten om voor de aanlegproef gebruik te maken van mosselzaad afkomstig van een mosselzaad invang installaties (MZI) van een commerciële kweker. De netten (zonder mosselzaad) worden dan over een bed van eerder aangebracht mosselzaad gespannen. Het nadeel van deze aanpak is dat de mosselen niet verankerd zijn aan de netten wanneer ze blootgesteld worden aan de getijden invloeden op de wadplaat. De mosselen kunnen zich dus vasthechten aan de netten nadat ze op de wadplaat neergelegd zijn. Daarnaast is gewacht op kolonisatie van mosselzaad op de netten waardoor het oorspronkelijk moment van plaatsing op de wadplaat verplaatst is van begin naar eind juli. Hierdoor kunnen de mosselen minder gebruik maken van het groeiseizoen. Het mosselbedrijf Prins en Dingemans is bereid gevonden mosselzaad te leveren voor aanlegproef 2. Het mosselzaad was afkomstig van een MZI installatie gelegen in de westelijke Nederlandse Waddenzee.

## 5.2 Aanpassingen proefontwerp

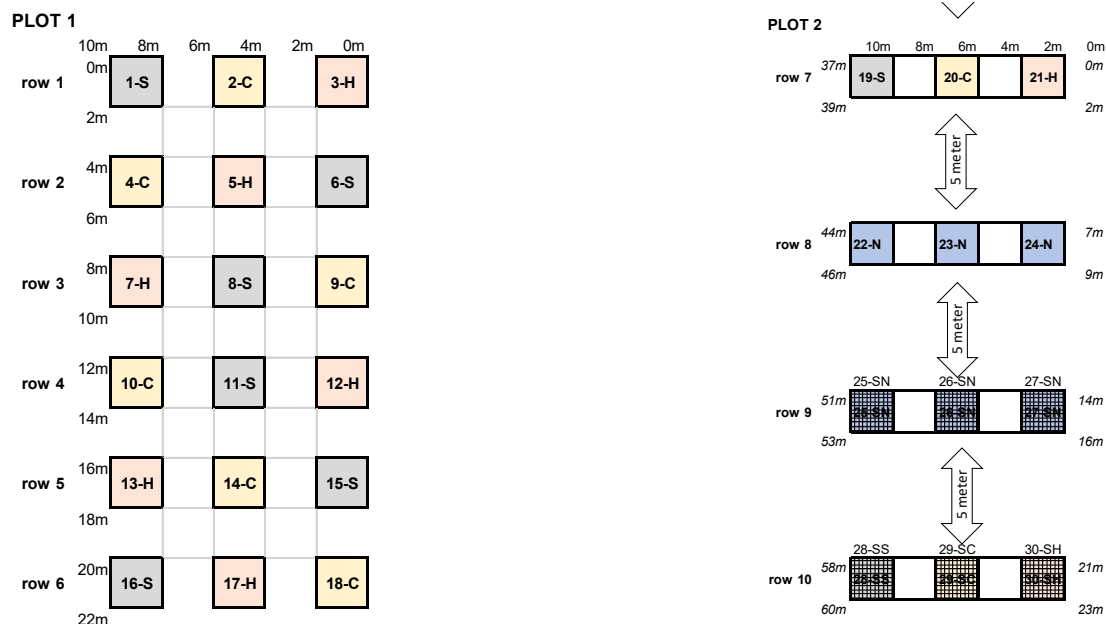
De ervaringen die opgedaan zijn met aanlegproef 1 hebben geleid tot verschillende aanpassingen in het ontwerp voor proef 2. Als eerste is de proeflocatie opnieuw beoordeeld. Op 21 juni is de Hond Paap wadplaat bezocht om te zoeken naar een locatie met een meer zandige bodemgesteldheid aangezien dit duidt op de aanwezigheid van meer dynamisch waterstromingen en dit het behoud van mosselen lijkt te bevorderen, zie paragraaf 4.4. Een geschikte locatie werd gevonden oostelijk van een natuurlijke mosselbank die gelegen is op het noordelijke deel van het Hond en Paap wadplaat, zie

locatie aangeduid met 'L2' in Figuur 31. De proeflocaties bevindt zich in een gebied waar in de periode 2016 - 2017 nog een mosselbank aanwezig was maar die inmiddels in oppervlak afgenomen is. De historische aanwezigheid van een mosselbank kan de overleving van mosselen ook bevorderen, zie paragraaf 3.3.

Een tweede aanpassing betrof een vergroting van het net randoppervlak. Door de netten op te knippen in stukken van ongeveer 2 bij 2 meter kon het effectieve randoppervlak vergroot worden met 66%. Een laatste aanpassing betrof het beproeven van een basis van (dode) kokkelschelpen als alternatief hechtingsmateriaal voor de mosselen. Deze aanpassing was het gevolg van inzichten verkregen door recent uitgevoerd onderzoek. Capelle et al., (2019) hebben met stroomgoot- en veldexperimenten het positieve effect van kokkelschelpen laten zien om het eroderen van mosselen tegen te gaan. Hiernaast is bekend dat natuurlijke mosselzaadval vaak plaatsvindt en succesvol is op (levende)kokkelschelpen (Dankers en Fey-Hofstede, 2015).

Deze aanpassingen hebben geleid tot een proefontwerp bestaande uit twee plots waarin plekken met mosselen (een vierkant vlak van 2 bij 2 meter, verder aangeduid als 'tegels') afgewisseld worden met open ruimtes zonder mosselen. In plot 1 zijn op alle tegels netten gespannen. Op de tegels van plot 2 zijn niet altijd netten gespannen en is het effect van kokkelschelpen op het behoud van mosselen onderzocht. De tegels in dit plot bestonden uit mosselen en een net (gelijk aan plot 1), uit alleen mosselen zonder net en uit een bed van kokkelschelpen met daaroverheen mosselen zowel met- als zonder net.

De tegels van plot 1 zijn op een matrix van 6 rijen lang en 3 kolommen breed neergelegd met een onderlinge afstand van ongeveer 2 meter tussen de tegels, zie Figuur 51. Op elke rij tegels is steeds van elk netmateriaal een net gespannen. De netten zijn hierbij zo gepositioneerd dat de verschillende netmaterialen op verschillende kolommen zijn komen te liggen. Plot 2 bestaat uit een matrix van 4 rijen en 3 kolommen. Tussen de tegels op eenzelfde rij zat een afstand van ongeveer 2 meter en de rijen lagen op een afstand van ongeveer 5 meter. De tegels van de eerste rij (rijnummer 7 in Figuur 51), bestaan uit mosselen met een net (van elk materiaal een). De tegels van de tweede rij (rij 8) bevatten alleen mosselzaad en geen netten en geen kokkels. In de rijen 9 en 10 is onder de tegels met mosselen een bed van kokkelschelpen aangebracht. Op rij 9 zijn geen en op rij 10 zijn wel netten (van elk materiaal een net) gespannen. Zie Figuur 52 voor de layout van beide plots.



Figuur 51. Layout van plot 1 (links) en plot 2 (rechts) van aanlegproef 2. Tegels bedekt met netten gemaakt van sisal zijn met grijze blokken weergegeven, bedekt met netten van katoen met gele blokken en met netten gemaakt van hennep met orange blokken. Tegels zonder netten zijn weergegeven met blauwe blokken. In de laatste twee rijen van plot 2 is onder de mosselen een bed van dode kokkelschelpen aangebracht. Dit is weergegeven met een zwart grid.

---

Beide plots liggen in de lengterichting ongeveer parallel aan de oostelijke buitenrand van de natuurlijke mosselbank die in een hoek van ongeveer 140 graden ligt. Plot 2 bevindt zich zuidelijk van plot 1 op een afstand van ongeveer 20 meter.

### 5.3 Constructie van aanlegproef 2

Tijdens het bezoek aan de wadplaat op 21 juni zijn, ter oriëntatie voor het aanleggen van de tegels op een later moment, bamboestokken in de wadplaat geplaatst op de locaties van plot 1 en 2 van proef 2. Het hoogwater van vrijdag 26 juli 2019 is gebruikt om kokkelschelpen overboord te zetten. Het eerstvolgende laagwater is met behulp van een hark een bed van kokkelschelpen van ongeveer 10 cm hoog op de beoogde locaties aangebracht.

Maandag 29 juli werd ongeveer 3000 kg mosselzaad in meerdere big-bags afgeleverd door Prins en Dingemanse in de NIOZ haven op Texel. Op Texel zijn de mosselen in jutte zakken gedaan tot een gewicht van ongeveer 25 kg. De jutte zakken zijn in plastic kuubbakken geplaatst en met water koel gehouden voor transport. Dezelfde dag zijn de zakken naar de Eemshaven vervoerd. Op deze dag zijn ook de netten opgeknipt in stukken van 2 bij 2 meter, voorzien van een label en vanuit Wilhelmshaven naar de Eemshaven vervoerd. In de Eemshaven zijn de mosselen met behulp van de kraan van de *HARDER* op het *ZILVERVISJE* geplaatst. Het hoogwater van dinsdagochtend 30 juli is gebruikt om de netten naar de wadplaat te vervoeren met het *ZILVERVISJE* en onder begeleiding van de *HARDER*. Op elke tegel zijn vier jutte zakken met mosselen overboord gezet. Ook de netten zijn overboord gezet. Het laagwater van dinsdag is gebruikt om de plots verder in te richten. Eerst zijn de tegels gemarkeerd met bamboestokjes. Op de tegels zijn de mosselen uit de zakken gehaald en verspreid met een hark. Daarna zijn de netten aangebracht en vastgezet. In Figuur 52 is een beeldverslag opgenomen van de hier beschreven werkzaamheden.

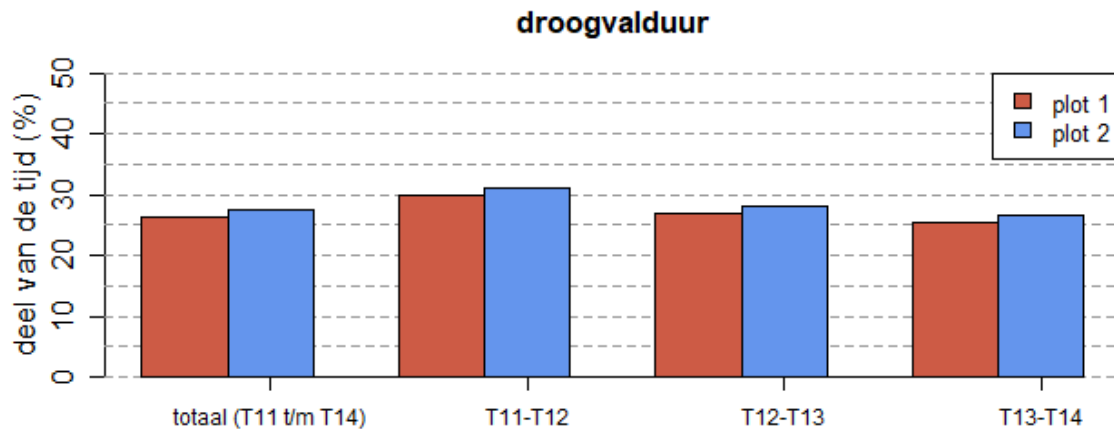


Figuur 52. Beeldverslag van de constructie van aanlegproef 2. 'A', overboord zetten van de netten en mzi-mosselen op de proeflocaties. 'B', aanzicht proeflocatie bij aankomst laagwater dinsdagmiddag. 'C', uitspreiden van de mosselen op een van de tegels. 'D', het spannen van netten op de tegels. 'E' afronding van het aanleggen.

## 5.4 Ontwikkeling van de netten en mosselen

Gemiddeld lagen de netten van aanlegproef 2 26,8% van de tijd droog. Door invloeden van de maanstand en de wind varieerde de droogvalduur voor de netten gedurende doorlooptijd van de pref. Tussen de meetmomenten varieerde de droogvalduur tussen de 25,9% (tussen het meetmoment T13 en T14 en gemiddeld voor beide plots) en 30,4% (tussen het meetmoment van T11 en T12 en gemiddeld voor beide plots), zie Figuur 54. Door aanwezigheid van een gradient in hoogteligging in

het gebied vielen de tegels van plot 1 (gemiddeld over het vlak) iets langer droog (+1.2%) dan van plot 2.



Figuur 53. Bardigrammen met de gemiddelde droogvalduur tijdens aanlegproef 2 voor plot 1 en plot 2 voor de periodes tussen de verschillende meetmomenten. Zowel de gemiddelde droogvalduur tussen het meetmoment T11 en T14 (weergegeven met 'totaal') als ook de gemiddelde droogvalduuren tussen de verschillende meetmomenten zijn weergegeven in het figuur. Tijdens de T14 meting is de CTD logger verwijderd waardoor er geen gegevens beschikbaar zijn voor de periode tussen meetmoment T14 en T15.

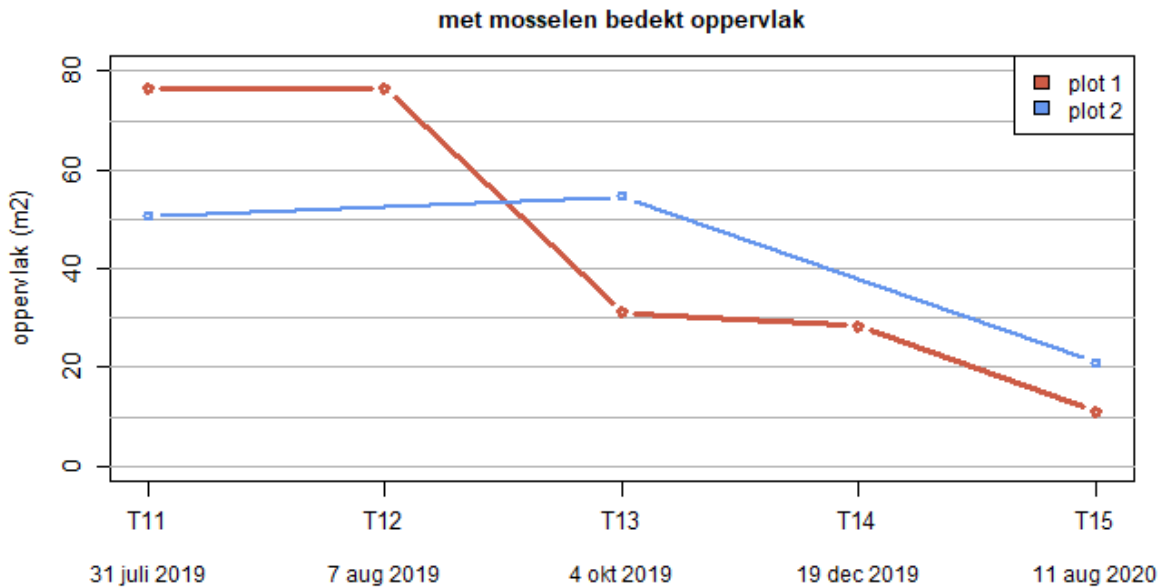
#### 5.4.1 Met mosselen bedekt oppervlak

Direct na het aanleggen hebben de mosselen op de tegels zich boven de netten gepositioneerd. Dit was goed te zien op het eerste meetmoment (T11), één dag na het aanleggen, zie Figuur 55.



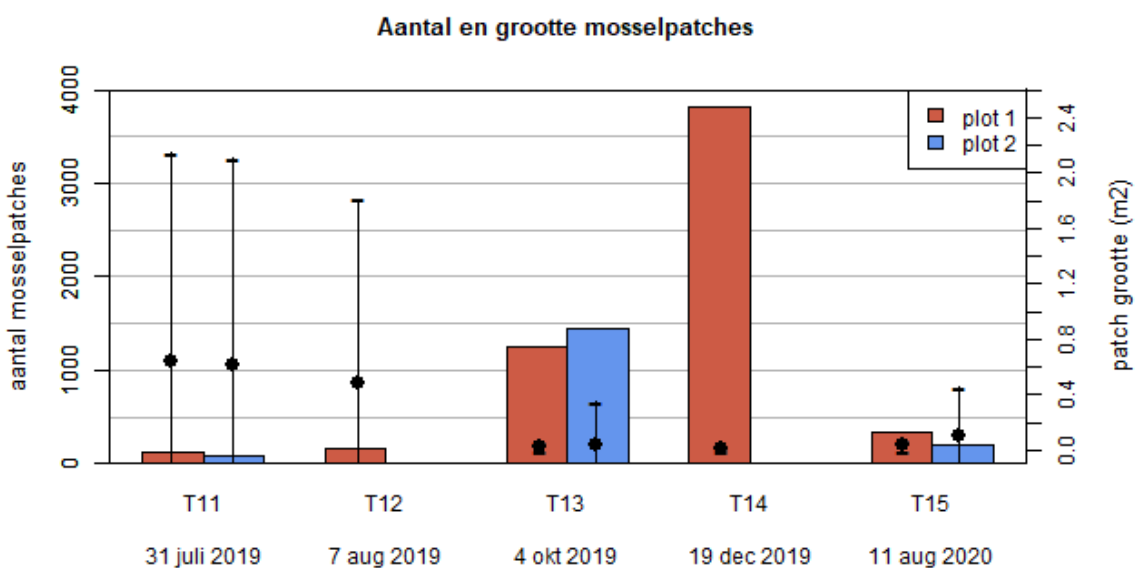
Figuur 54. Op de linker foto de situatie na aanleggen van mosseltegels '29SC' op dinsdag 30 juli. De mosselen zijn op een bed van (dode) kokkelschelpen geplaatst waaroverheen een net gemaakt van katoen gespannen is. De foto rechts geeft de situatie weer van dezelfde 'mosseltegels', op woensdag 31 juli.

In Figuur 55 is het met mosselen bedekte oppervlak weergegeven voor plot 1 en plot 2. Direct na het aanleggen (T11) bedroeg het met mosselen bedekte oppervlak voor plot 1 76 m<sup>2</sup> en voor plot 2 51 m<sup>2</sup>. Na verloop van tijd nam het met mosselen bedekte oppervlak af maar de afname in plot 2 was een stuk kleiner dan die van plot 1. Een jaar na het aanleggen was op plot 1 nog 11 m<sup>2</sup> (14% van de start hoeveelheid) mosselen aanwezig en in plot 2 21 m<sup>2</sup> (41% van de start hoeveelheid).



Figuur 55. Met mosselen bedekt oppervlak in vierkante meters voor de verschillende meetmomenten en voor plot 1 en plot 2 apart. Merk op dat voor plot 2 niet op alle meetmomenten het oppervlak bepaald is.

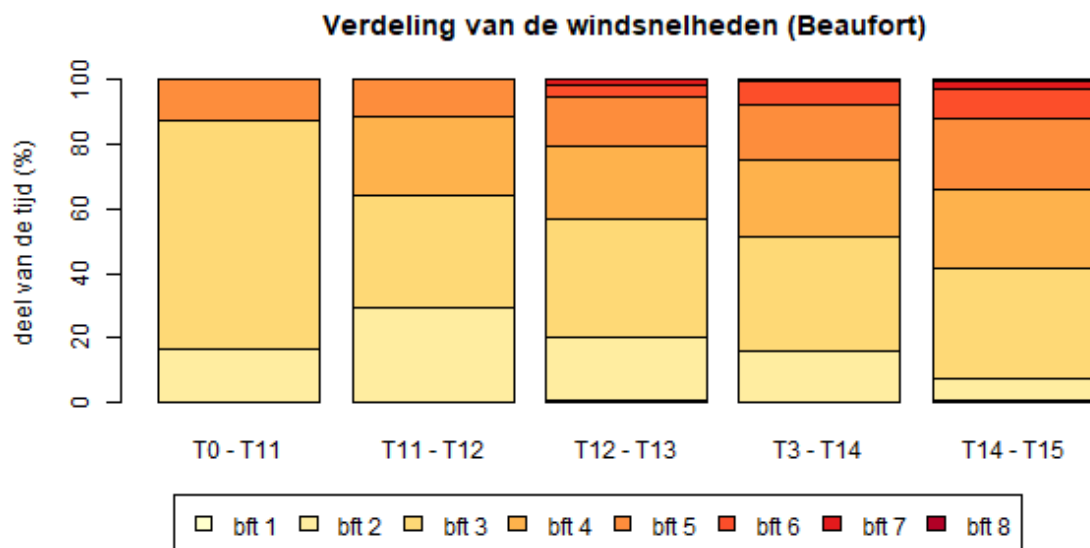
In Figuur 56 is het aantal mosselpatches en de gemiddelde patchgrootte weergegeven voor de verschillende meetmomenten. In de eerste week na het aanleggen (de meetmomenten T11 en T12) bedroeg de gemiddelde patchgrootte ongeveer 0.5 m<sup>2</sup> voor zowel plot 1 als plot 2. Op beide meetmomenten traden grote verschillen op in patchgrootte van individuele patches, zie Figuur 56. Sommige patches besloegen nagenoeg de gehele tegel en waren ong. 2 m<sup>2</sup> groot, andere patches waren enkele tiende van een vierkante meter groot. In de twee maanden hierna nam zowel de gemiddelde patchgrootte als het verschil in grootte van de individuele patches af terwijl het aantal patches sterk toenam, zie T13 in Figuur 56. Op dat moment bedroeg de grootte van een gemiddelde patch ongeveer 0.03 m<sup>2</sup> en was het aantal patches toegenomen met ongeveer een factor 10. In T14 en T15 (een half jaar tot een jaar na het aanleggen) veranderde de patchgrootte niet sterk meer. Na een initiële toename van het aantal patches in het eerste half jaar (T13 en T14), nam het aantal patches sterk af één jaar na het aanleggen (T15), zie Figuur 56. Dit illustreert het verdwijnen van de mosselpatches zoals ook in Figuur 55 te zien was.



Figuur 56. Aantal mosselpatches (balken) en gemiddelde ( $\pm 1$  standaard deviatie) patchgrootte (m<sup>2</sup>) zoals in kaart gebracht op de verschillende meetmomenten voor plot 1 en plot 2. Merk op dat plot 2 op het T12 meetmoment niet in kaart gebracht is.



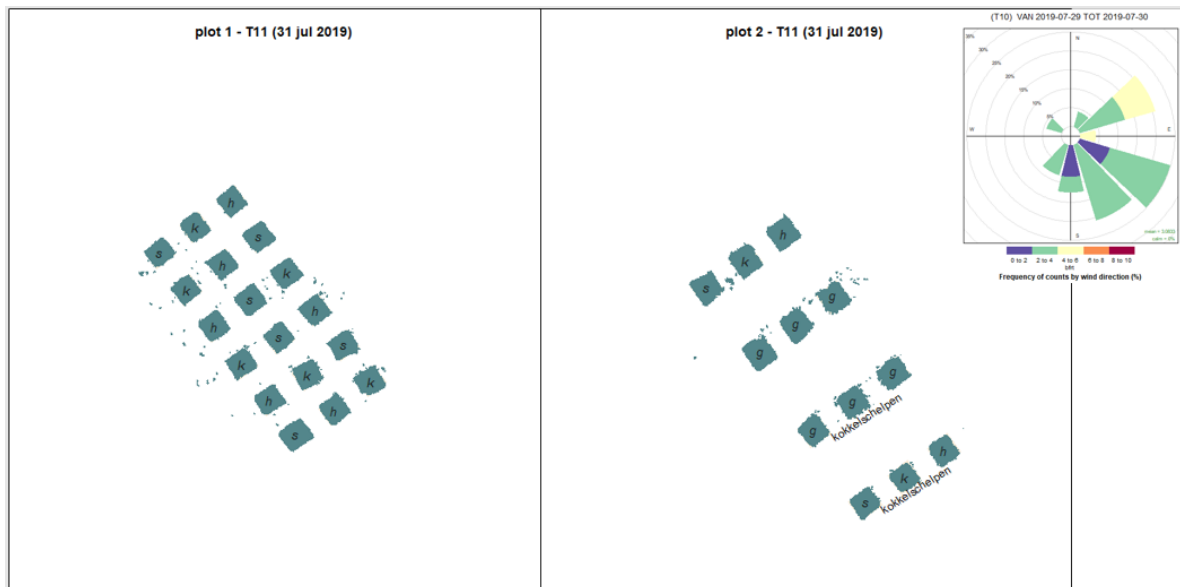
Omdat uit aanlegproef 1 het effect van wind op de erosie van mosselen duidelijk werd is ook voor aanlegproef 2 bekeken wat de windcondities waren gedurende de proef. In Figuur 57 is de verdeling van de windsnelheden in stappen van 1 Beaufort weergegeven tussen de verschillende meetmomenten. Windsnelheden bleven beperkt tot 5 Beaufort tussen de constructie van de plots (T0) en het tweede meetmoment (T12). Dit was een periode van 10 dagen. In de periode tussen meetmoment T12 en T13 (59 dagen) zijn 11 aaneengesloten periodes met windsnelheden boven de 6 Beaufort waargenomen wat neerkomt op 0.19 keer per dag gemiddeld. In de periode tussen de meetmomenten T13 en T14 waaide het wat vaker harder. In deze periode (77 dagen) zijn 27 aaneengesloten periodes met snelheden boven de 6 Beaufort gemeten wat neerkomt op 0.35 keer per dag gemiddeld. Tussen de meetmoment van T14 en T15 zijn het vaakst hoge windsnelheden gemeten. In deze periode van 235 dagen werden 108 periodes met windsnelheden boven de 6 Beaufort gemeten, oftewel 0.46 keer per dag gemiddeld. Windsnelheden boven de 8 Beaufort (stormachtig) is eenmaal aangetroffen tussen de meetmomenten van T12 en T13 en 7 keer tussen de meetmomenten van T14 en T15, zie ook Figuur 57.



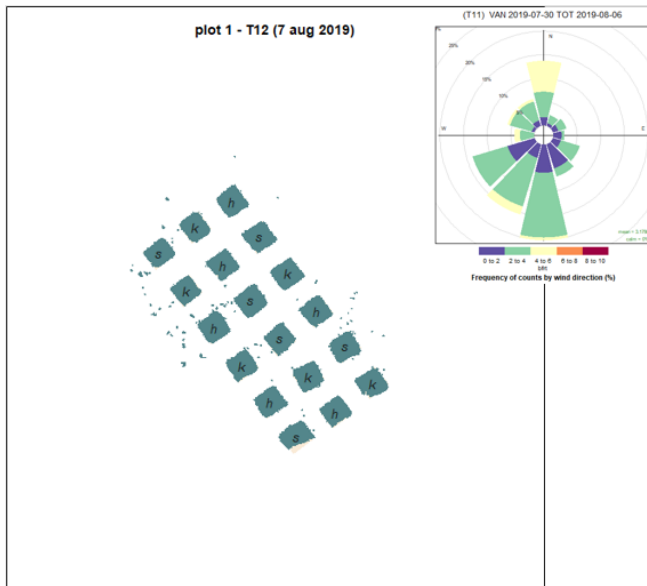
Figuur 57. Verdeling van de uurgemiddelde windsnelheden (in beaufort, bft) tussen het aanleggen en T11 meetmoment (T11), tussen T11 en T12 meetmoment (T12), etc. zoals gemeten op KNMI weerstation Lauwersoog.

In Figuur 58 tot en met Figuur 64 is de bedekking met mosselen weergegeven zoals aangetroffen op de verschillende meetmomenten. Ook is de windrichting en windkracht weergegeven in de figuren zoals door het KNMI gemeten is in de periode tussen de metingen op het weerstation van Lauwersoog.

In de eerste week na het aanleggen bevinden nagenoeg alle mosselen zich op de tegels die bovendien nog geheel bedekt zijn met mosselen, zie Figuur 58 (T11) en Figuur 59 (T12). Op het T12 meetmoment zijn 11 dagen verstreken sinds de plots aangelegd zijn. In deze periode heeft het niet harder dan 5 Beaufort gewaaid.



Figuur 58. Bedekking van mosselen zoals aangetroffen tijdens de T11 meting voor plot 1 (linker paneel) en plot 2 (rechterpaneel). Gebieden die met mosselen bedekt zijn, zijn in een azuur blauwe kleur weergegeven. De tegels zijn in een beige tint weergegeven (alleen zichtbaar wanneer deze niet bedekt zijn met mosselen). Netten gemaakt van sisal worden met 's' aangeduid, van katoen met 'k', van hennep met 'h', en plekken zonder net met 'g'. In het paneel rechtsboven wordt de windrichting en -kracht weergegeven voor de periode tussen de T0- en de T11 meting.



Figuur 59. Bedekking van mosselen zoals aangetroffen tijdens de T12 meting voor plot 1. Gebieden die met mosselen bedekt zijn, zijn in een azuur blauwe kleur weergegeven. De tegels zijn in een beige tint weergegeven (alleen zichtbaar wanneer deze niet bedekt zijn met mosselen). Netten gemaakt van sisal worden met 's' aangeduid, van katoen met 'k', van hennep met 'h', en plekken zonder net met 'g'. In het paneel rechtsboven wordt de windrichting en -kracht weergegeven voor de periode tussen de T11- en de T12 meting. Het onbedekte deel van de 'tegel' links onderin wordt veroorzaakt doordat daar de overlap in foto's ontoereikend was voor het maken van een mozaiek waardoor dat deel niet opgenomen is.

De bedekking van de tegels met mosselen gezien op luchtfoto's gemaakt door de Wadden Unit één dag na de T12 meting is weergegeven in Figuur 60 en Figuur 61. Hierop is te zien dat ook voor plot 2 de tegels volledig bedekt zijn met mosselen. Hiernaast is te zien dat tijdens de constructie van de tegels met kokkelschelpen een deel van de schelpen terecht gekomen is op plekken noordwestelijk van de tegels, zie de zwarte ovalen in Figuur 61.



Figuur 60. Luchtfoto's van plot 1 en 2 van aanlegproef 2. De foto's zijn door de Wadden Unit vanuit een vliegtuig genomen op 8 augustus. Op de linkerfoto zijn alle tegels van plot 2 te zien. Op de rechterfoto is een deel van de tegels van plot 2 te zien (links in beeld) en zijn alle tegels van plot 1 te zien (rechtters in beeld).



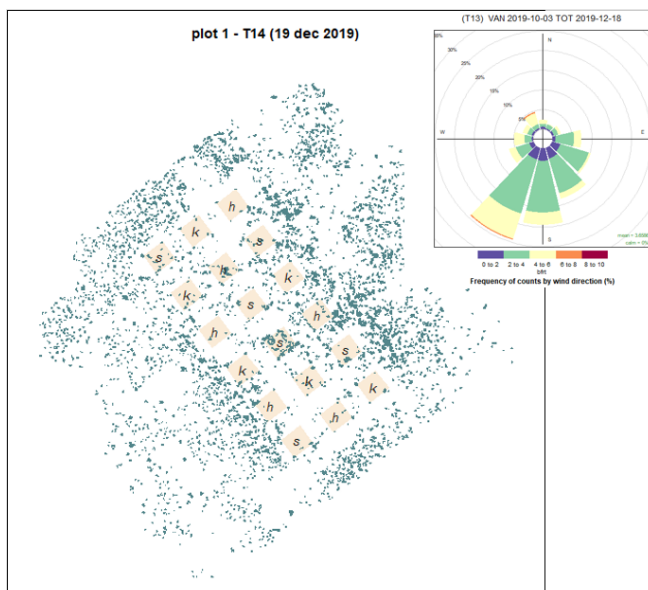
Figuur 61. Detail van luchtfoto van plot 2. Met de zwarte ovals zijn de gebieden weergegeven waar, buiten de tegels met mosselen, een deel van de kokkelschelpen terecht zijn gekomen.

Twee maanden na het aanleggen (T13 meting) hebben de mosselen zich verspreid over een groter oppervlak en konden nog maar weinig mosselen op de tegels teruggevonden worden, zie Figuur 62. De meeste mosselen zijn teruggevonden in gebieden buiten de plot in noordoostelijk gelegen gebieden van grenzen van de plot. Een kleiner deel is teruggevonden tussen de tegels van plot 1 en buiten de omkadering van de oorspronkelijke plot in de andere richtingen. In de periode tussen de T12 en T13 metingen zijn windsnelheden tot 8 Beaufort gemeten. De dominante zuidwestelijke windrichting heeft waarschijnlijk de (dominante) noordoostelijke verplaatsing van de mosselen veroorzaakt. Opvallend is dat de mosselen die geplaatst zijn op een bed van dode kokkelschelpen (onderste twee rijen van plot 2) zich veel minder hebben verplaatst, zie Figuur 62. Op tegels waar naast kokkels ook nog een net gespannen is hebben de mosselen zich het minst verplaatst.



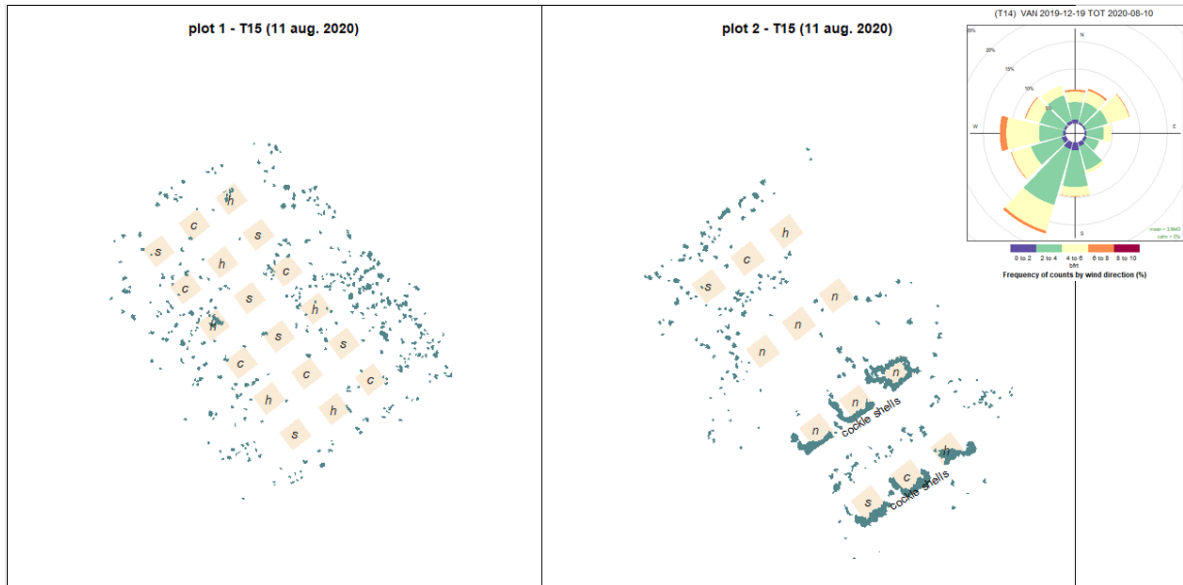
Figuur 62. Bedekking van mosselen zoals aangetroffen tijdens de T13 meting voor plot 1 (linker paneel) en plot 2 (rechterpaneel). Gebieden die met mosselen bedekt zijn, zijn in een azuur blauwe kleur weergegeven. De tegels zijn in een beige tint weergegeven (alleen zichtbaar wanneer deze niet bedekt zijn met mosselen). Netten gemaakt van sisal worden met 's' aangeduid, van katoen met 'k', van hennep met 'h', en plekken zonder net met 'g'. In het paneel rechtsboven wordt de windrichting en -kracht weergegeven voor de periode tussen de T12- en de T13 meting.

Op T14, een half jaar na het aanleggen, zijn de mosselen van plot 1 nog wat meer verspreid komen te liggen ten opzichte van de T13 meting, zie Figuur 63. Plot 2 is op dit meetmoment niet succesvol in kaart gebracht. Wel is in het veld geobserveerd dat relatief veel mosselpatches aanwezig waren op en nabij tegels met een bed van kokkelschelpen. De dominante windrichting tussen T13 en T14 metingen was zuidwestelijk waarbij snelheden tot 7 Beaufort geregistreerd werden.



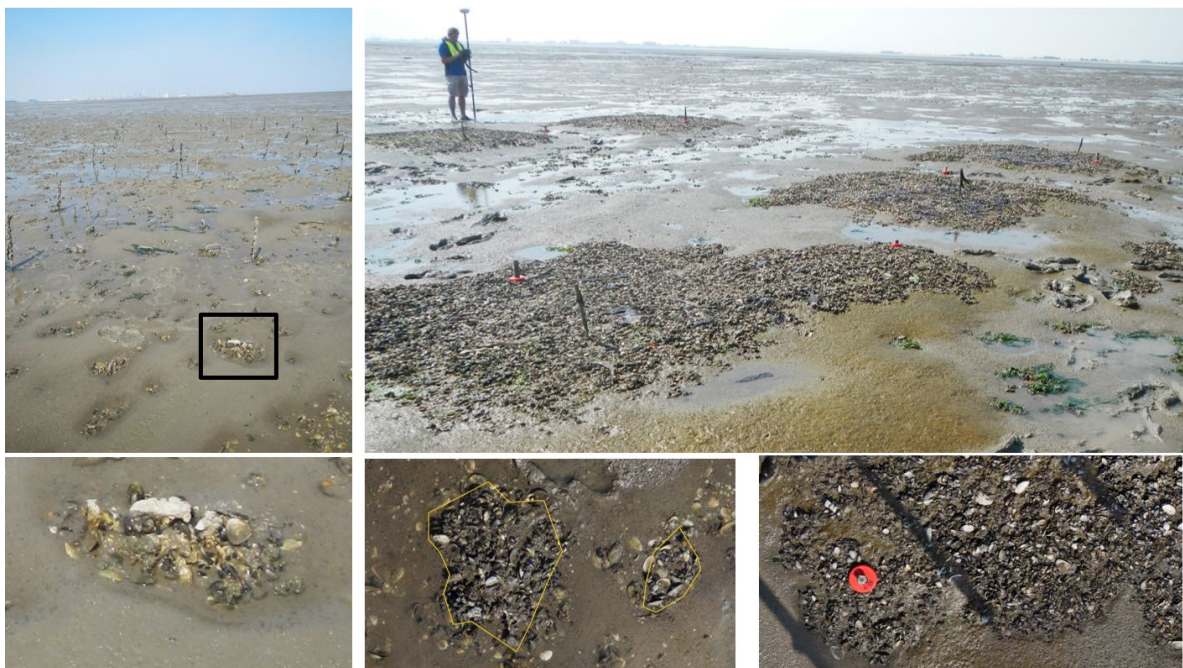
Figuur 63. Bedekking van mosselen in azuurblauw zoals aangetroffen tijdens de T14 meting voor plot 1. De locaties van de netten zoals deze tijdens het aanleggen gepositioneerd waren zijn weergegeven met contouren in beige tint (alleen zichtbaar wanneer deze niet bedekt zijn met mosselen). Netten gemaakt van sisal worden met 's' aangeduid, van katoen met 'k' en van hennep met 'h'. In het paneel rechtsboven wordt de windrichting en windkracht tussen T13 en T14 weergegeven.

Een jaar na het aanleggen (T15) zijn de meesten mosselen verdwenen. De grootste oppervlaktes aan mosselpatches zijn teruggevonden op- en nabij tegels met een bed van kokkelschelpen. Er kunnen hierbij geen duidelijke verschillen gevonden worden tussen tegels waar naast kokkels ook nog een net gespannen was en waar dit niet zo was. Vooral langs de zuidoostelijke- en zuidwestelijke zijden van de tegels met kokkelschelpen zijn mosselen aangetroffen. Opvallend is dat ook in gebieden buiten de tegels waar een deel van de kokkelschelpen onbedoeld terecht zijn gekomen, zie boven en Figuur 61, relatief veel mosselen terug gevonden zijn.



Figuur 64. Bedekking van mosselen in azuurblauw zoals aangetroffen tijdens de T15 meting voor plot 1 (linker paneel) en plot 2 (rechterpaneel). De locaties van de netten zoals deze tijdens het aanleggen gepositioneerd waren zijn weergegeven met contouren in beige tint (alleen zichtbaar wanneer deze niet bedekt zijn met mosselen). Netten gemaakt van sisal worden met 's' aangeduid, van katoen met 'k', van hennep met 'h', en plekken zonder net met 'g'. In het paneel rechtsboven wordt de windrichting en windkracht tussen T14 en T15 weergegeven.

In Figuur 65 zijn enkele foto's die gemaakt zijn in het veld tijdens de T15 meting weergegeven. Hierop zijn de mosselpatches aanwezig op de tegels met kokkelschelpen (laatste twee rijen van tegels uit plot 2) te zien als ook de situatie op plot 1. In plot 1 hadden nagenoeg alle mosselen die teruggevonden zijn zich vastgehecht aan dood schelpmateriaal zoals te zien is op de linker foto's. Op de detailfoto's rechts midden en rechtsonder is te zien dat de mosselen zich voor een deel ingegraven hebben.



Figuur 65. Situatie een jaar na het aanleggen van mosselplot 1 en 2 (meetmoment T15, 11 augustus 2020). Foto linksboven geeft de overzichtsituatie weer van plot 1 vanuit het zuiden opgenomen. Foto rechtsboven, de tegels met een ondergrond van dode kokkelschelpen in plot 2. Foto linksonder geeft een detail van foto linksboven weer (het zwart omkaderd vlak). Foto onder midden, classificatie van twee mosselpatches van plot 1. Foto rechtsonder detail van mosselen nabij een tegel met een bed van dode kokkelschelpen.

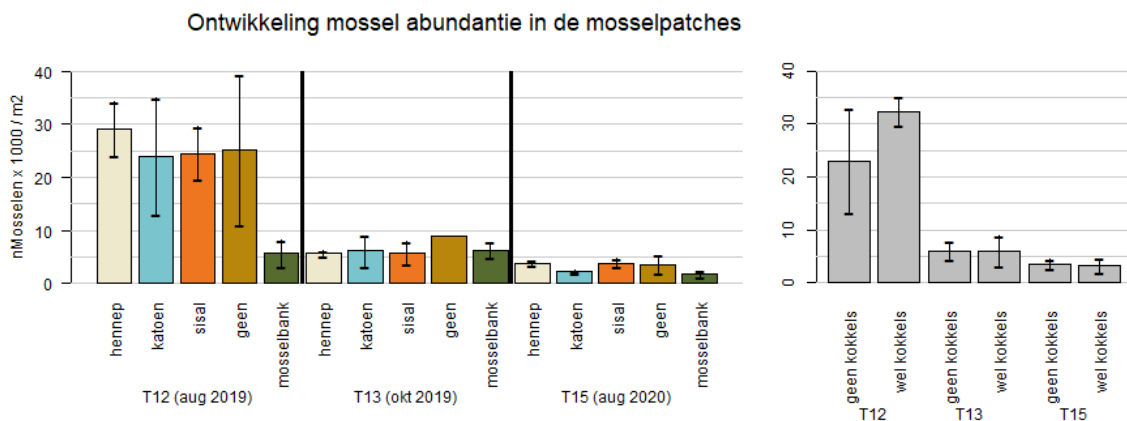
Twee jaar na het aanleggen van proef 2 (29 oktober 2021) zijn levende mosselen terug gevonden in mosselpatches gelegen op en direct naast de tegels met een fundament van dode kokkelschelpen. De mussel waren sterk gekoloniseerd met pokken.

## 5.4.2 Mosselpopulatie

In Figuur 66, Figuur 67 en Figuur 68 zijn respectievelijk de mosseldichtheid, -schelplengte en het asvrijdrooggewicht van het mossel vlees weergegeven van mosselen aangetroffen op de mosselpatches van aanlegproef 2. Verschillen tussen nettypen, het meetmoment en aanwezigheid van kokkels is onderzocht met lineair modellen met net (sisal, katoen, hennep en géén net), aanwezigheid van kokkels (ja, nee) en het bemonsteringstijdstip (T12, T13, T15) als verklarende variabelen. Voor de analyses is gebruikt gemaakt van het softwarepakket R (R Core Team, 2020). Modeluitkomsten zijn opgenomen in Bijlage 4.

Zoals ook tijdens de bemonstering van aanlegproef 1 geobserveerd was, had de bodemlaag direct onder het genomen monster vaak een zwarte kleur wat op zuurstofarme condities duidt.

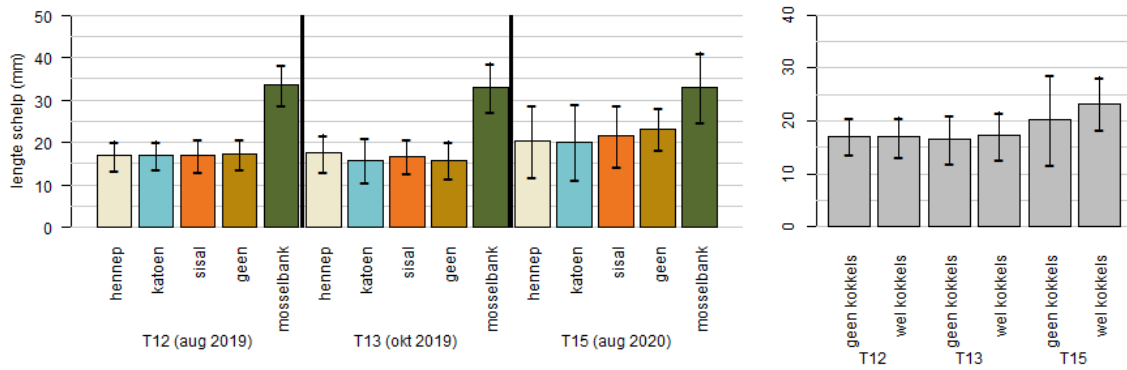
De mosseldichtheid in de monsters genomen op plot 1 en plot 2 namen significant af na verloop van tijd. Dichtheden namen af van ongeveer 25.000 indiv./m<sup>2</sup> op meetmoment T12 tot 6000 indiv./m<sup>2</sup> op meetmoment T13, zie Figuur 66. Gemiddeld lag het aantal mosselen op T15 nog wat lager (ongeveer 3500 indiv./m<sup>2</sup>) dan op de T13 het geval was, maar deze afname was niet significant. Het aantal mosselen was niet afhankelijk van de aanwezigheid van een net en ook geen verschillen tussen de netmaterialen zijn gevonden. De mosseldichtheid was wat hoger op tegels met een bed van kokkelschelpen, maar dit was alleen voor T12 het geval. Op latere momenten zijn de mosselaantallen vergelijkbaar tussen tegels met en zonder kokkelschelpen. Hiernaast is in Figuur 66 te zien dat bij de eerste meting (T12) dichtheden op de plots flink hoger was in vergelijking met de natuurlijke bank. Door het verdwijnen en verspreiden van mosselen op de tegels was dit op latere meetmomenten niet meer het geval.



Figuur 66. De ontwikkeling van de mosseldichtheid uitgedrukt per vierkante meter voor de meetmomenten T12, T13 en T15. In het linker diagram is onderscheid gemaakt tussen tegels zonder net en voor tegels met netten gemaakt van hennep, katoen en sisal. Monsters genomen in plot 1 en plot 2 zijn in dit diagram gecombineerd. In hetzelfde diagram is de mosseldichtheid weergegeven voor monsters genomen op mosselpatches van de natuurlijke bank ('mosselbank'). In het rechterdiagram wordt de ontwikkeling van de mosseldichtheid opgesplitst per meetmoment en aanwezigheid van een bed van kokkelschelpen. In dit diagram zijn de monsters genomen op de natuurlijke mosselbank niet meegenomen.

Er was geen verschil in mosselschelplengte van mosselen op plot 1 en 2 op tegels met of zonder net en of er kokkelschelpen aanwezig waren, zie Figuur 67 en Bijlage 4. De schelplengtes van de mosselen nam alleen significant toe tussen de meetmomenten T13 (gemiddeld 16.7 mm) en T15 (gemiddeld 21.5 mm). Deze toename bedroeg dus een kleine 4 mm. Op T12 bedroeg de gemiddelde schelplengte 17.0 mm. De mosselen verzameld op de natuurlijke bank, met een schelplengte van ongeveer 33 mm, waren groter dan de mosselen op de plots. De mosselen leken niet gegroeid te zijn in een jaar tijd.

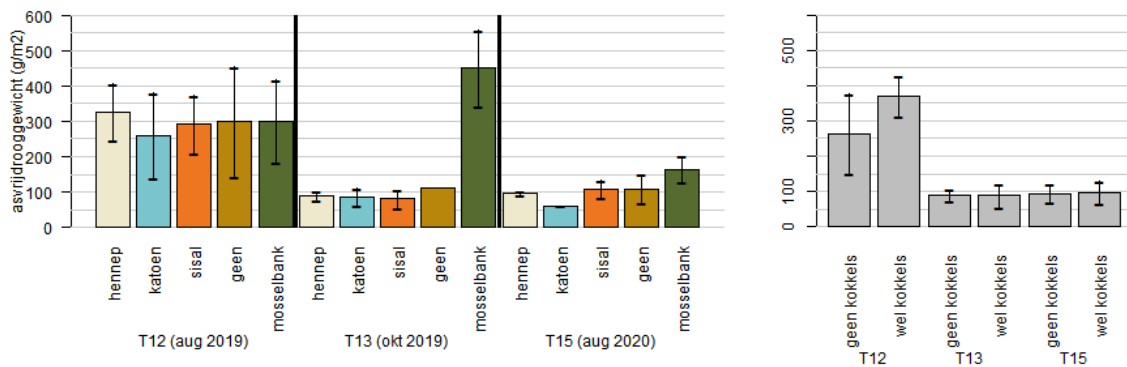
### Ontwikking schelpenlengte



Figuur 67. De ontwikkeling van de mosselschelpenlengte voor de meetmomenten T12, T13 en T15. In het linker diagram is onderscheid gemaakt tussen tegels zonder net en voor tegels met netten gemaakt van hennep, katoen en sisal. Monsters genomen in plot 1 en plot 2 zijn in dit diagram gecombineerd. In het zelfde diagram is de mosseldichtheid weergegeven voor monsters genomen op mosselpatches van de natuurlijke bank ('mosselbank'). In de rechterdiagram wordt de ontwikkeling van de schelpenlengte opgesplitst per meetmoment en aanwezigheid van bed van kokkelschelpen. In dit diagram zijn de monsters genomen op de natuurlijke mosselbank niet meegenomen.

Aanwezigheid van een net en de verschillende netmaterialen had geen invloed op het asvrijdrooggewicht van het mosselvlees, zie Figuur 68 en Bijlage 4. Het asvrijdrooggewicht was wat hoger op plekken met kokkelschelpen, maar dit wordt veroorzaakt door verschillen op T12. Op latere momenten zijn gewichten vergelijkbaar tussen plekken met en zonder kokkelschelpen. Op het T12 meetmoment was het asvrijdrooggewicht ongeveer 300 mg/m<sup>2</sup> en nam (significant) af op T13 naar 88 mg/m<sup>2</sup>. Op T15 was het asvrijdrooggewicht gemiddeld 95 mg/m<sup>2</sup>, deze toename ten opzichte van de T13 meting was niet significant. Het asvrijdrooggewicht van mosselen afkomstig van de natuurlijke aanwezige bank schommelde sterk tussen de meetmomenten, zie Figuur 68. Op T12 lag het gewicht gelijk met die van plot 1 en 2. Op latere tijdstippen was het asvrijdrooggewicht op de natuurlijke bank hoger dan die gevonden zijn op plot 1 en 2.

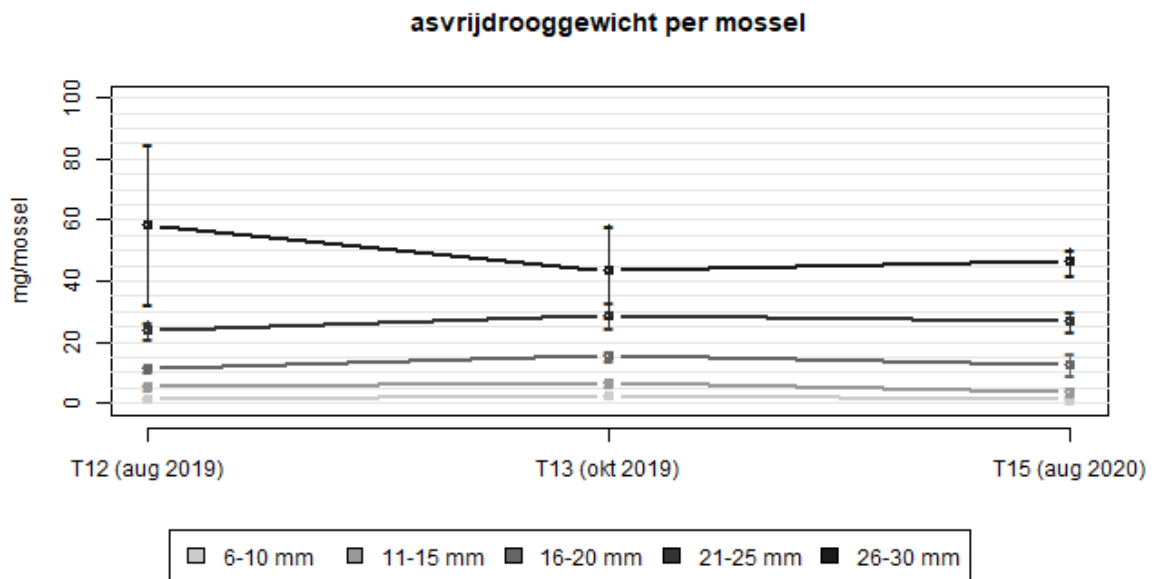
### Ontwikking mosselbiomassa in de patches (afd)



Figuur 68. De ontwikkeling van het asvrijdrooggewicht van het mosselvlees uitgedrukt per vierkante meter voor de meetmomenten T12, T13 en T15. In het linker diagram is onderscheid gemaakt tussen tegels zonder net en voor tegels met netten gemaakt van hennep, katoen en sisal. Monsters genomen in plot 1 en plot 2 zijn in dit diagram gecombineerd. In het zelfde diagram is het asvrijdrooggewicht van het mosselvlees weergegeven voor monsters genomen op mosselpatches van de natuurlijke bank ('mosselbank'). In de rechterdiagram wordt de ontwikkeling van het asvrijdrooggewicht opgesplitst per meetmoment en aanwezigheid van bed van kokkelschelpen. In dit diagram zijn de monsters genomen op de natuurlijke mosselbank niet meegenomen.

In Figuur 69 is het asvrijdrooggewicht voor individuele mosselen en voor verschillende lengteklasse en meetmomenten weergegeven. Om te corrigeren voor verschillen in mosseldichtheid zijn gewichten niet per vierkante meter maar per individuele mossel uitgedrukt. Hieruit blijkt dat alleen voor de grotere mosselen (lengteklasse 26-30 mm) het asvrijdrooggewicht wat afnam tussen T12 en T13. Voor de overige lengteklasse nam het asvrijdrooggewicht juist toe; afhankelijk van de lengteklasse tussen de 20 en 48%. Tussen T13 en T15 nam juist alleen voor de grotere mosselen het

asvrijdrooggewicht toe (7%). Voor de overige lengteklassen nam het asvrijdrooggewicht juist af (tussen de 7 en 50%). De grootste relatieve afname is gevonden voor de kleinste mosselen.



Figuur 69. Het gemiddelde asvrijdrooggewicht van individuele mosselen per lengteklasse voor de meetmomenten T12, T13 en T15 voor monsters genomen in de proeflocatie (plot 1 en 2 gecombineerd).

Samenvatten kan gesteld worden dat in de eerstvolgende winter na het uitzetten van de proef de mosseldichtheid met ongeveer 70% en de mosselbiomassa met ongeveer 75% afgenomen is. Vooral de grotere mosselen hebben ingeteerd op hun vetgehalte in deze periode. Na de winter meting in december is de mosseldichtheid niet verder afgenomen en een jaar na het uitzetten van de mosselen zijn wat tekenen van groei waargenomen.

## 5.5 (tussen) conclusies aanlegproef 2

Samenvattend kunnen de volgende conclusies verbonden worden aan aanlegproef 2.

Met betrekking tot het functioneren van de netten voor zowel het invangen van mosselzaad als het voorkomen van erosie op de wadplaat kunnen de volgende conclusies getrokken worden.

- De binnenhaven bleek niet elk jaar geschikt te zijn om mosselzaad in te vangen. De onderliggende redenen zijn niet bekend. Op de touwen was geen slib aangetroffen en heeft de afwezigheid van mosselen dus niet kunnen verklaren. Het is mogelijk dat er te weinig mossellarven in de waterkolom aanwezig waren en/of de waterstroming langs de touwen was te beperkt voor het invangen van voldoende veel mossellarven. Ook is het mogelijk dat een vroege kolonisatie van zeepokken en draadalgen op de touwen de vestiging van mossellarven voorkomen heeft.
- De toegevoegde waarden van de netten voor het behoud van de mosselen op de wadplaat is afwezig of hooguit zeer beperkt wanneer mosselzaad niet ingevangen is en stevig verankerd zijn aan de touwen van het net wanneer ze op de wadplaat gebracht worden.

Met betrekking tot de ontwikkeling van de mosselen op de wadplaat kunnen de volgende conclusies getrokken worden.

- De proeflocatie die voor de aanlegproef 2 gebruikt is bleek geschikt voor mosseloverleving. Hoogst waarschijnlijk heeft de afwezigheid van slib, de aanwezigheid van dode schelpen en een betere waterverversing in vergelijking tot de proeflocatie van aanlegproef 1 hieraan bijgedragen.



- 
- Het is waarschijnlijk dat de mosseldichtheden die aangebracht zijn in aanlegproef 2 niet optimaal en te hoog waren. Dit heeft ertoe geleid dat mosselen zich los hebben gemaakt van elkaar waarna ze meer vatbaar werden voor erosie.
  - Dood schelpmateriaal werd veelvuldig gebruikt door de mosselen om zich aan vast te hechten. Dit heeft eraan bijgedragen dat een deel van de mosselen ten minste de eerste twee jaar doorstaan hebben. Waarschijnlijk hebben de meer open en meer verspreide mosselpatches die zo ontstonden, een positief effect gehad op de voedsel- en zuurstofvoorziening van de mosselen.
  - De dode kokkelschelpen hebben bewezen een goed substraat te zijn om de boven beschreven mosselpatches te vormen bestaande uit levende mosselen en dode kokkelschelpen. Ook hier kan de aangebrachte laag kokkelschelpen laag suboptimaal (te hoog) zijn geweest, wat kan hebben geleid tot te dicht opeengepakte mosselpatches met zuurstof- en voedselgebrek als gevolg.
  - Resultaten laten zien dat vooral in perioden met windsnelheden van meer dan 6 Beaufort erosie en dispersie van mosselpatches optrad.
  - In de wintermaanden is de mosselpopulatie met ongeveer 70% uitgedund. In het daaropvolgende voorjaar is een beperkte groei waargenomen.

---

## 6 Discussie en conclusies

In dit hoofdstuk worden de conclusies besproken die kunnen worden getrokken na afronding van de voorstudies en beide aanlegproeven.

### 6.1 Milieucondities op de Hond en Paap wadplaat

Uit de voorstudies is gebleken dat, met uitzondering van gebieden rond het zeegat, in het estuarium de concentratie van zwevende stof en de ratio tussen zwevende stof en chlorofyl-a concentratie hoger zijn-, en het zoutgehalte lager is in vergelijking met de andere kombergingsgebieden in de Nederlandse Waddenzee. In 25% van de (MWTL)metingen die zijn verricht in de buurt van de Hond en Paap wadplaat (het onderzoeksgebied) zijn zwevende stof concentraties van boven de 150 mg/l gemeten en in 11% van metingen lagen concentraties boven de 200 mg/l. Bij dergelijke concentraties is het waarschijnlijk dat de water filtratiesnelheid van mosselen afneemt. Het is waarschijnlijk dat mosselen korte perioden met dergelijke hoge zwevende stof concentraties goed kunnen doorstaan door hun kleppen te sluiten en door tijdelijk hun voedselopname te stoppen. Langere perioden, tot een jaar, met bovengemiddelde hoge concentraties van zwevende stof zijn in het verleden echter voorgekomen en lijken wel degelijk een risico te vormen voor de overleving van de aanwezige mosselbanken.

Hoewel het zoutgehalte op de Hond en Paap wadplaat lager is dan dat van zeewater (ongeveer 22 PSU), ligt het binnen de tolerantiegrenzen van mosselen. In gebieden ten zuiden van de Hond en Paap wadplaten daalt het zoutgehalte verder. Op het MWTL meetstation Groote Gat noord, gelegen in de Dollard, zijn regelmatig zoutgehaltenes onder de 10 PSU waargenomen. Negatieve effecten, zoals een afname van de filtratiesnelheid, een afname van de schelplengte en afname van de biomassa kunnen niet worden uitgesloten bij dergelijk lage zoutgehaltenes. Dit maakt de milieuomstandigheden in het estuarium uitdagend voor mossel(banken).

Uit de resultaten van het overlevingsexperiment blijkt dat de milieuomstandigheden in de noordelijk gelegen delen van de Hond en Paap wadplaat iets beter lijken te zijn dan in het zuidelijk deel van de wadplaat als gevolg van iets hogere zoutgehaltenes en iets betere ratio-waarden tussen de zwevende stof en chlorofyl-a concentraties in het noordelijk deel. De vorming van een droogvallende mosselbank in 2016 op de Hond en Paap wadplaat en de overleving ervan tot ten minste 2020 toont aan dat natuurlijke vestiging én overleving gedurende meerdere jaren mogelijk is in het gebied. De omvang van de natuurlijk aanwezige mosselbanken fluctueert echter sterk van jaar tot jaar in het gebied als gevolg van algemene natuurlijke fluctuaties, maar ook als gevolg van de ligging in het estuarium met zijn complexe milieuomstandigheden en waterchemie. Alle resultaten gezamenlijk beschouwd lijkt het uitdagend maar mogelijk voor droogvallende mosselbanken om te ontstaan en te overleven op de Hond en Paap wadplaat. Wel is het zo dat de kans op langdurige perioden met zwevende stof concentraties van meer dan 150 mg/l aanwezig zijn wat een risico blijft vormen voor de overleving van de mosselbanken.

Wanneer de groeisnelheden van de mosselen die tijdens aanlegproef 2 bemonsterd zijn, worden vergeleken met die van mosselen van banken gelegen elders in de Waddenzee (bemonsterd in het kader van het TMAP-monitoringsprogramma), dan valt op dat de groei van mosselen op de Hond en Paap wadplaat achterblijft. De mosselen van aanlegproef 2 groeiden het sterkst in de maanden dat ze permanent onder water stonden, in de periode dat de netten permanent onder water hingen tijdens het invangen van het mosselzaad. Ze groeide in die periode tot een schelplengte van 17 mm. Hierna zijn ze, in een periode van een jaar op de wadplaat, slechts gegroeid met ongeveer 4 mm (tot 21 mm). Mosselen van droogvallende mosselbanken gelegen op wadplaten ten westen van Zuid Oost Lauwers groeiden op het wad en in hun eerste jaar met ongeveer 20 mm (van ongeveer 5 tot 25 mm het jaar daarop). Mosselen van een droogvallende bank op het Horsbornzand (een wadplaat ten oosten van Rottumeroog) groeide in een jaar tijd ongeveer 40 mm (Glorius et al., 2020). Mosselen van de in 2016 natuurlijk ontstaande mosselbank op de Hond en Paap wadplaat blijken na 2018 niet meer te groeien. In 2020 (toen de bank 4 jaar oud was) hadden de bemonsterde mosselen een

---

schelpenlengte van ongeveer 34 mm. Vergelijkbare schelpenlengtes werden gevonden door Erftemeijer et al., (2003) voor een vier jaar oude droogvallende mosselbank op de Hond en Paap wadplaat bemonsterd in 2003. Deze hadden gemiddeld een schelpenlengte van ongeveer 35 mm. Vergeleken met mosselen van droogvallende banken buiten het estuarium en gelegen in de oostelijke Nederlandse Waddenzee zijn deze mosselen klein. Mosselen van deze banken groeien in vier jaar tijd uit tot ongeveer 40-50 mm lengte (Glorius et al., 2020). Deze waargenomen beperkte groei illustreert de uitdagende milieumomstandigheden in het estuarium. Het is waarschijnlijk dat als gevolg hiervan mosselen op de Hond en Paap wadplaat eerder geneigd zullen zijn zich los te koppelen van soortgenoten dan in gebieden elders in de Waddenzee, waarna ze kwetsbaarder worden voor erosie.

## 6.2 Functioneren van de netten voor het invangen van mosselzaad

Uit aanlegproef 1 is gebleken dat het mogelijk is grote hoeveelheden mosselen in te vangen op elk van de hier geteste touwmaterialen (hennep, katoen en sisal). Het daadwerkelijke vangstsucces wordt bepaald door verschillende factoren en bij de hier uitgevoerde proeven zijn slechts beperkte successen geboekt. Verschillende oorzaken kunnen hieraan ten grondslag liggen, zoals een beperkte aanwezigheid van mossellarven in de waterkolom, grote predatiedruk uitgeoefend door krabben en mogelijk zeesterren (Capelle et al., 2016; Dankers, 2015; Kamermans et al., 2009), beperkte wateruitwisseling wat voorkomt dat mosselbroed in aanraking komt met de touwen van het net, afwezigheid van aanhechtingsplaatsen op de touwen als gevolg van eerdere kolonisatie van bijvoorbeeld hydroïdpoliepen en/of draadalgen, en ophoping van slib. Het is niet duidelijk of een eerdere kolonisatie van zeepokken op de touwen het invangen van mosselzaad beperkt. MZI ondernemers stellen van wel waarbij mosselbroed aanwezig op touwen waar zich eerder zeepokken gevestigd hebben eroderen. Wij hebben dit niet geobserveerd. Ook op de stukken touw waar zich zeepokken hadden gevestigd was mosselzaad aanwezig. De dominante reden(en) voor het beperkte invangsucces op de netten die uitgehangen werden in de sleepboothaven (in het voorjaar 2018) en de binnenhaven (in het voorjaar 2019) zijn niet bekend. In de sleepboothaven is het waarschijnlijk dat de aanwezigheid van jonge krabben en de ophoping van slib op de netten een rol hebben gespeeld en niet zozeer de afwezigheid van mossellarven in de waterkolom. Op de MZI installaties gelegen nabij deze locatie werd wel succesvol mosselzaad ingevangen. Het beperkte invangsucces in het voorjaar van 2019 in de binnenhaven kan zijn veroorzaakt door een eerdere kolonisatie door draadalgen en/of door een beperkte aanwezigheid van mossellarven in de waterkolom of door andere onbekende oorzaken. Opgehoopt slib en aanwezigheid van krabben zijn niet geobserveerd op deze netten en lijken in ieder geval niet de slechte ontwikkeling van het mosselbroed veroorzaakt te hebben.

## 6.3 Ontwikkeling van de mosselen op de wadplaat

Wegens het beperkte invangsucces van mosselzaad op de netten, was het noodzakelijk de oorspronkelijke proefopzet, waarbij drie netmaterialen op drie verschillende plaatsen, in één seizoen en dus onder vergelijkbare milieumomstandigheden getest zouden worden, aan te passen. Er werd niet één maar twee aanlegproeven uitgevoerd verspreid over twee seizoenen, en dus onder verschillende milieumomstandigheden. Bovendien werd niet één maar twee uitgangssituaties getest (netten waarop zich vóór plaatsing op de wadplaat mosselzaad gehecht had en lege netten die pas bij plaatsing op de wadplaat in aanraking kwamen met het mosselzaad). Door deze wijzigingen was het niet langer mogelijk het effecten van locatie en netmateriaal op het behoud van mosselen statistisch te onderzoeken.

Aanlegproef 1 toonde aan dat alle hier onderzochte netmaterialen geschikt zijn om grote hoeveelheden mosselzaad naar de wadplaat te vervoeren en na plaatsing op de wadplaat voorkomen dat mosselen direct begraven worden in het slib of weg eroderen. Ook bleek dat alle hier gebruikte materialen na verloop van tijd biologisch afbreken, katoen het snelst en sisal het langzaamst. Verder bleek dat het belangrijk is voor het functioneren van de netten dat deze onbeschadigd zijn en dat het mosselzaad stevig verankerd dient te zijn aan de touwen van het net voordat dit op de wadplaat wordt

---

geplaatst. In aanlegproef 2, waar deze hechtingstructuren van de mosselen op de touwen nog niet aanwezig was bij plaatsing op de wadplaat, werd geen positief net effect op het behoud van mosselen gevonden.

De mosselen van aanlegproef 1 werden geplaatst in een gebied waar een sliklaag van enkele centimeters dik was opgebouwd. Alleen de aanwezigheid van een net voorkwam dat de mosselen onmiddellijk werden begraven in het slib en stierven. Mosselen die op enig moment van het net loskwamen stierven daarna snel. Aanwezigheid van dood schelpmateriaal in de meer zanderige (en dynamische) omgeving van aanlegproef 2 bleek gunstig te zijn voor het behoud van de aangebrachte mosselen. Een deel van de mosselen die hier geplaatst werd hebben de gehele monitorperiode van één jaar overleefd. Ook werden twee jaar na het aanleggen van deze proef levensvatbare mosselpatches aangetroffen. Of in de meer geschikte proeflocatie van aanlegproef 2 de netten zouden hebben bijgedragen aan de overleving van mosselen wanneer deze wel ingevangen en stevig verankerd waren aan touwen van het net, kon door het onsuccesvolle verloop van het invangproces, niet beproefd worden.

Ondanks het feit dat de netten van aanlegproef 1 voorkwamen dat de mosselen direct stierven of wegspoelden, verdwenen ook deze mosselen na verloop van tijd. Nagenoeg geen enkele mossel heeft de eerste winter overleefd. Het overlevingspercentage van het uit sisal vervaardigde net lag iets hoger in vergelijking tot de netten gemaakt van katoen en hennep. Het is waarschijnlijk dat hierbij de lagere afbraaksnelheid van sisal een rol heeft gespeeld. In deze proef is verder waargenomen dat de mosselen die zich in de binnenste delen van de netten bevonden zich het eerst losmaakten van elkaar en eenmaal naar boven geklommen erodeerden in perioden met hoger dan gemiddelde windsnelheden (>6 Beaufort). Soortgelijke waarnemingen werden gedaan tijdens de uitvoering van aanlegproef 2. Mosselen aan de randen van tegels met een laag lege kokkelschelpen overleefden het wel, terwijl de mosselen in het midden van deze tegels stierven. In aanlegproef 2, waar de mosselen bij plaatsing op de wadplaat niet aan de netten waren bevestigd, werd wel geconstateerd dat de mosselen zich binnen één dag na de plaatsing ruimtelijke hebben kunnen organiseren in patronen die ook aangetroffen worden in natuurlijke bedden. De hechtingskracht waarmee de mosselen zich aan elkaar en aan de touwen hadden verankerd gedurende dit proces bleek echter onvoldoende te zijn om wegspoeling te voorkomen.

Op de tegels van aanlegproef 2 zonder een fundament van kokkelschelpen verdwenen alle mosselen, dus zowel uit de binnenste gelegen delen als uit de randen van de tegels. Dus ondanks de aanwezigheid van de netten en de gevormde ruimtelijke structuren van de mosselen. Alleen (een klein deel van) de mosselen die in staat waren zich vast te hechten aan natuurlijk aanwezig dood schelpmateriaal bleken levensvatbaar te zijn en zijn een jaar na plaatsing teruggevonden. Deze mosselpatches bevonden zich verspreid over het aanleggebied en het betrof slechts een fractie van het aangelegd oppervlak.

Een te hoge mosseldichtheid in de binnenste delen van de netten van aanlegproef 1 en van de binnenste delen van de tegels met kokkelschelpen van aanlegproef 2 hebben kunnen bijdragen aan de slechte overlevingspercentages van deze mosselen. Een hoge mosseldichtheid kan, in combinatie met slechte voedselomstandigheden, hebben geleid tot voedselgebrek maar ook tot zuurstofgebrek. Hierdoor zullen mosselen eerder geneigd zijn zich los te maken van elkaar waarna de kans op erosie toeneemt. Aan de netranden van aanlegproef 1 en aan zowel de randen van de kokkeltegels als de verspreide mosselpatches die zich aan natuurlijk aanwezige schelpen verankerd hadden in aanlegproef 2 was het overlevingspercentage hoger. Waarschijnlijk heeft de meer open en meer verspreide schelpmosselpatches die op deze manier werden gevormd een positief effect gehad op de voedsel- en zuurstofvoorziening van de mosselen wat het behoud ervan heeft bevorderd.

Ongeveer 40% van de mosselen die aangebracht is op tegels met een fundatie van dode kokkelschelpen heeft de monitorperiode (tot een jaar na aanleggen) overleefd. Deze mosselen zijn voornamelijk aangetroffen aan de randen van de tegels. Ook zijn twee jaar na het aanleggen van deze tegels vitale mosselpatches aangetroffen. Naast de mosselen zijn ook de tegels bestaande uit lege kokkelschelpen terug gevonden ondanks de hydrodynamische impact van stormen etc.. Recent uitgevoerde stroomgoot- en veldexperimenten tonen het positieve effect aan van kokkelschelpen op het verminderen van erosie (Capelle et al., 2019). Mosselpatches met kokkelschelpen erodeerden minder snel in vergelijking met patches die uitsluitend uit mosselen bestonden. Ook in het veld verdwenen er minder (factor 3) mosselen wanneer er ook schelpmateriaal aanwezig was (Capelle et al., 2019).

---

## 6.4 Samenvatting

Ondanks de suboptimale milieumomstandigheden lijkt het mogelijk voor droogvallende mosselbanken om te overleven op de Hond en Paap wadplaat. Geschikte locaties kunnen worden gevonden op de iets dynamischer delen van de plaat die bestaan uit een zandig sediment en waar (dood) schelpmateriaal aanwezig is. Gebleken is dat zich op de Hond en Paap wadplaat droogvallende mosselbanken kunnen vormen op natuurlijke wijze. Vooral langdurige periodes (meerdere maanden) met verhoogde concentraties zwevende stof lijken een blijvend risico te vormen voor de overleving van (aangelegde- of op natuurlijk wijze ontstaande) droogvallende mosselbanken.

Een groot deel van de mosselen die op een bed van kokkelschelpen werd geplaatst, overleefde het eerste jaar en ook twee jaar later zijn nog vitale mosselpatches aangetroffen. Aangenomen kan worden dat deze mosselen een goede kans geboden werd om zich te ontwikkelen tot een vitale droogvallende mosselbank. Maar omdat slechts één proef uitgevoerd is met deze techniek, zijn meer proeven nodig om de prestaties ervan onder verschillende omstandigheden te kunnen beproeven en daarmee de robuustheid ervan aan te kunnen tonen. Bovendien kon het functioneren van de netten niet onomstotelijk worden aangetoond in de hier uitgevoerde proeven. Naast de geschiktheid van de testlocatie is het van essentieel belang dat het mosselbroed ingevangen wordt op de touwen van het net vóórdat deze op de wadplaat geplaatst worden. Door het invangen van mossellarven op de touwen van de netten wordt een stevige aanhechtingsstructuur gevormd die essentieel is voor het functioneren van de netten. Het slagingspercentage voor het invangen van mosselzaad op de netten was laag en dient verbeterd te worden.

Zowel bij de netten als bij de mosselen die op een bed van kokkels werden geplaatst, treden vooral in de binnenste gelegen gebieden verliezen op van mosselen. Het is juist in deze zones dat individuele mosselen, mogelijk als gevolg van voedsellimitatie, zich van elkaar losmaken en zich naar boven verplaatsen, waarna ze gevoelig worden voor erosie. Ze worden vooral weggespoeld in perioden met windsnelheden die hoger dan gemiddeld zijn (5 tot 6 Beaufort of hoger). Deze waarnemingen kunnen worden gebruikt om de proefopzet te verbeteren.

---

## 7 Aanbevelingen

Het wordt aanbevolen om vooral te vertrouwen op de natuurlijke aanwezige capaciteit voor de vorming van nieuwe droogvallende mosselbanken op de Hond en Paap wadplaat, alvorens over te gaan op het aanleggen ervan. Er zijn geen redenen te bedenken waarom mosselbanken zich niet op natuurlijke wijze zouden kunnen herstellen in het gebied. Door de onregelmatigheid van jaren met een goede mosselzaadval en variaties in locaties waar het mosselzaad valt en een bank gevormd wordt, zal de natuurlijke vorming van banken wel enig geduld vergen. In situaties waar bestaande droogvallende mosselbanken onbedoeld beschadigd worden of waar beschadiging niet voorkomen kan worden, bijvoorbeeld bij de aanleg van kabels, kan het van nut zijn een techniek achter de hand te hebben om een droogvallende mosselbank aan te leggen zodat aangerichte schade gecompenseerd kan worden.

Voor de ontwikkeling van dergelijke techniek hebben zowel de 'net' als de 'kokkel' techniek die hier beproeft zijn potentie. Wel is er ruimte voor en behoefte aan een verdere optimalisering en beproeving van deze technieken. Hiernaast is het van belang om een realistisch verwachtingspatroon te hebben. Slechts 40% van de op natuurlijke wijze gevormde mosselbanken overleeft de eerste winter en ongeveer 15% van de banken komt de eerste vijf jaar goed door (van der Meer et al., 2019). Pas na vijf jaar zijn de nodige structuren gevormd waarmee de overlevingskansen aanzienlijk verbeterd worden. Mogelijk kan een techniek ontwikkeld worden waarmee de overlevingskans hoger komt te liggen in vergelijking met de natuurlijke situatie. Maar ook dan zullen de aangelegde banken de eerste vijf jaar goed door moeten komen om zich te ontwikkelen tot een veerkrachtige mosselbank die in staat is om op zichzelf te staan. Verbeteringen van de techniek is mogelijk maar dit hoeft niet noodzakelijkerwijs te leiden tot een techniek die een overleving voor de eerste vijf jaar garandeert. Een realistischer streven zou zijn om een techniek te ontwikkelen die leidt tot een substantiële verbetering van de overlevingskans ten opzichte van de natuurlijke situatie.

In de volgende paragrafen worden aanbevelingen gedaan voor een verdere ontwikkeling van de techniek. Het wordt aanbevolen variatie in uitvoering met voldoende replica's te beproeven om te voorkomen dat uitkomsten het gevolg zijn van toevallige en onvoorziene omstandigheden. Het principe "al doende leert men" wordt dan losgelaten of althans ruimer geïnterpreteerd.

### 7.1 Invangen van mosselzaad

- Om het invangen van mosselzaad op de netten meer succesvol te laten zijn, zullen beter geschikte uithanglocaties gevonden moeten worden. Enkele algemene regels kunnen hierbij gevolgd worden;
  - Een open verbinding met de Waddenzee om zeker te zijn van aanwezigheid van mossellarven in de waterkolom.
  - Lage sedimentatiebelasting om ophoping van slib op de netten te voorkomen, wat de vestiging- en ontwikkeling van het mosselbroed ten goede komt.
  - Voorkomen dat netten in aanraking komen met de zeebodem om de toegang van predatoren, zoals krabben en zeesterren, te beperken.
  - Zorgdragen voor een waterstroom door de netten zodat mossellarven in contact kunnen komen met de touwen van het net.
- Het is ook raadzaam gebruik te maken van ervaringen die commerciële MZI partijen opgedaan hebben. Hiernaast kunnen de milieuomstandigheden nabij commerciële MZI installaties in kaart gebracht worden en dit te gebruiken in de selectie van een invanglocatie.
- Gebruik waar mogelijk locaties in de buurt van een commerciële MZI ondernemer. Op die manier ben je er zekerder van dat de locatie geschikt is en heb je tevens een referentie voor de ontwikkelingen van het mosselzaad op de netten.

---

## 7.2 Installatie op de wadplaat

### 7.2.1 Locatie

- Aangezien het initiëren van een droogvallende mosselbank op zichzelf al uitdagend genoeg is, wordt aanbevolen om nieuwe proeven uit te voeren in gebieden met optimale milieuomstandigheden voor mosseloverleving. Deze kunnen bijvoorbeeld gevonden worden op wadplaten gelegen nabij zeegaten waar het zoutgehalte hoger is en de zwevend stof concentratie lager in vergelijking met de Hond en Paap wadplaat.
- Kies een plaats op wadplaat met een zandig substraat en met aanwezigheid van schelpmateriaal.
- Kies bij voorkeur een plaats waar van oudsher mosselbanken aanwezig waren, aangezien dan de geschiktheid al vaststaat en bovendien de bodemopbouw waarschijnlijk gunstiger is.

### 7.2.2 Methode

- Om wegspoeling van mosselen op de wadplaat te voorkomen kunnen kokkelschelpen of netten worden gebruikt. Belangrijk bij het gebruik van netten is dat ze niet beschadigd zijn en dat het mosselzaad op de touwen ingevangen is en ze stevig verankerd zijn aan de touwen van het net voordat ze op de wadplaat geplaatst worden.
- Hoewel niet statistisch getoetst, presteerde het net gemaakt van sisal beter dan de andere hier onderzochte touwmaterialen. Waarschijnlijk speelt hierbij de tragere afbraaksnelheid en/of de ruwere vezels van sisal een rol. Bij keuze van het touw materiaal verdient sisal daarom de voorkeur.

Om voedselbeperking en zuurstofgebrek te voorkomen zouden de volgende variaties kunnen worden getest.

Wanneer kokkelschelpen worden gebruikt:

- Test een reeks van verschillende mosseldichtheden. Ergens tussen 5.000 en 10.000 jonge mosselen per vierkante meter lijkt voldoende te zijn.
- Test een reeks van verschillende kokkelschelpdichtheden, van een enkele laag tot enkele centimeters.
- Test verschillende lay-outs waarbij stroken met kokkelschelpen en mosselen worden afgewisseld met gebieden zonder kokkelschelpen en mosselen. De afstand tussen de banden mag niet meer dan enkele meters bedragen.

Bij het gebruik van netten:

- Test verschillende maaswijdten van het net
- Test variaties in lay-out waarbij gebieden met netten met mosselen en zonder netten en mosselen worden afgewisseld.

### 7.2.3 Monitoring

- Monitor, indien mogelijk, een bestaande natuurlijke bank in de nabijheid van de proeflocatie als referentie voor autonome ontwikkelingen.
- Monitor zowel de ruimtelijke verspreiding van de mosselpatches als de eigenschappen van de mosselpopulatie.
- Het zou inzichtelijk zijn om het effect van individuele stormen, of gebeurtenissen met bovengemiddelde hoge windsnelheden, op de erosie en de verspreiding van mosselen te monitoren. Dit kan bijvoorbeeld gedaan worden door het plaatsen van een camerasysteem dat continue monitoring mogelijk maakt. Een andere mogelijkheid is om te proberen monitoringmomenten aan te passen aan windvoorspellingen waarbij zowel voor als na een periode met verhoogde windsnelheden metingen worden verricht.

---

## 7.3 Eems Dollard estuarium

- Onderzoek eerst de achterliggende oorzaken voor de aanwezigheid van langdurige perioden (verscheidene maanden tot een jaar) met verhoogde concentraties zwevende stof alvorens nieuwe proeven of experimenten in het gebied te ondernemen. Als deze het gevolg zijn van menselijk handelen (baggeren bijvoorbeeld) dan wordt aanbevolen deze activiteiten zo aan te passen dat langdurige verhogingen in het zwevende stof voorkomen wordt waarbij het de verwachting is dat de overlevingskansen van reeds aanwezige droogvallende mosselbanken in het gebied toe zullen nemen.
- Activiteiten die momenteel in het estuarium worden uitgevoerd en die de concentratie van het zwevende stof verlagen, zouden gestimuleerd moeten worden omdat dit de overlevingskansen van droogvallende mosselbanken verbeterd. Voorbeelden van projecten die momenteel uitgevoerd worden betreft de aanleg van een kwelder bij de haven van Delfzijl en het project waarmee slib uit het estuarium ingevangen en verwijderd wordt.



---

## 8 Kwaliteitsborging

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

Het chemisch laboratorium te IJmuiden beschikt over een EN-ISO/IEC 17025:2017 accreditatie voor testlaboratoria met nummer L097. Deze accreditatie is geldig tot 1 april 2021 en is voor het eerst verleend op 27 maart 1997; deze accreditatie is verleend door de Raad voor Accreditatie. Het chemisch laboratorium heeft hierdoor aangetoond in staat te zijn op technisch bekwame wijze valide resultaten te leveren en te werken volgens de ISO17025 norm. De scope (L097) met de geaccrediteerde analysemethoden is te vinden op de website van de Raad voor Accreditatie ([www.rva.nl](http://www.rva.nl)).

Op grond van deze accreditatie is het kwaliteitskenmerk Q toegekend aan de resultaten van die componenten die op de scope staan vermeld, mits aan alle kwaliteitseisen is voldaan. Het kwaliteitskenmerk Q staat vermeld in de tabellen met de onderzoeksresultaten. Indien het kwaliteitskenmerk Q niet staat vermeld is de reden hiervan vermeld.

De kwaliteit van de analysemethoden wordt op verschillende manieren gewaarborgd. De juistheid van de analysemethoden wordt regelmatig getoetst door deelname aan ringonderzoeken waaronder die georganiseerd door QUASIMEME. Indien geen ringonderzoek voorhanden is, wordt een tweede lijnscontrole uitgevoerd. Tevens wordt bij iedere meetserie een eerstelijnscontrole uitgevoerd.

Naast de lijnscontroles wordende volgende algemene kwaliteitscontroles uitgevoerd:

- Blanco onderzoek.
- Terugvinding (recovery).
- Interne standaard voor borging opwerkmethode.
- Injectie standard.
- Gevoeligheid.

Bovenstaande controles staan beschreven in Wageningen Marine Research werkvoorschrift *ISW 2.10.2.105*.

Indien gewenst kunnen gegevens met betrekking tot de prestatiekenmerken van de analysemethoden bij het chemisch laboratorium worden opgevraagd.

Indien sprake is van onbeheerste kwaliteit worden passende maatregelen genomen.

---

# Literatuur

- Agüera Garcia, A. 2015. The role of starfish (*Asterias rubens* L.) predation in blue mussel (*Mytilus edulis*) seedbed stability. PhD thesis, Wageningen University, ISBN 978-94-6257-216-4.
- Baptist, M.J., S.C.V. Geelhoed. 2016. Natura 2000 in het habitatrictlijngebied Eems-Dollard – een overzicht van status en doelstellingen. IMARES rapport C054/16, pp 44.
- Baptist, M.J., J.T. Wal van der, E.O. Folmer, U. Grawe, K. Elschot. 2019. An ecotope map of the trilateral Wadden Sea. *Journal of Sea Research*, (152).
- Bouwma, H., D.J. Jong de, F. Twisk, K. Wolfstein. 2005. Zoute wateren EcotopenStelsel (ZES.1). Voor het in kaart brengen van potentiële voorkokmen van levensgemeenschappen in zoute en brakke rijkswateren. RIKZ rapport 20050.24, pp 156.
- Brinkman, A.G., P. Jacobs, R.G. Jak, R. Riegman 2015. Ems-Dollard primary production research Concise summary. Report C163/14, pp 78.
- Brinkman, A.G. (in voorbereiding). A new habitat suitability map for intertidal mussel beds in the Dutch Wadden Sea.
- Capelle, J.J., G. Scheiberlich, J.W.M. Wijsman, A.C. Smaal. 2016. The role of shore crabs and mussel density in mussel losses at a commercial intertidal mussel plot after seeding. *Aquaculture Int.* 24, pp 1459-1472
- Capelle, J.J., L. Leuchter, M. de Wit, E. Hartog, T.J. Bouma. 2019. Creating a window of opportunity for establishing ecosystem engineers by adding substratum: a case study on mussels. *Ecosphere*, 10(4).
- Capelle, J.J., E. Hartog, L. Bogaart van den, H.M. Jansen, J.W.M. Wijsman 2021. Adaptation of gill-palp ration by mussels after transplantation to culture plots with different seston conditions. *Aquaculture* (541).
- Carslaw, D. C. & K. Ropkins. 2012. Openair - an R package for air quality data analysis. *Environmental Modelling & Software.* (27), 52-61.
- Dankers, N., F. Fey-Hofstede. 2015. Een zee van mosselen. Handboek ecologie, bescherming, beleid en beheer van mosselbanken in de Waddenzee. Lisse, pp. 108.
- Dankers, N., A. Meijboom, M. de Jong, E. Dijkman, J. Cremer 2005. Ontwikkeling van mosselbanken in de Nederlandse Waddenzee, situatie 2004, pp. 46.
- Donker, J. 2015. Hydrodynamic processes and the stability of intertidal mussel beds in the Dutch Wadden Sea. PhD thesis University of Utrecht, The Netherlands.
- Dijkema, K. S., G. Van Thienen, and J. G. Van Beek. 1989. Habitats of the Netherlands, German and Danish Wadden Sea. Research Institute for Nature Management, Veth Foundation, Leiden, Texel.
- Essink, K. & A.H. Bos. 1985. Growth of three bivalve molluscs transplanted along the axis of the Ems Estuary. *Netherlands Journal of Sea Research*, (19), 45-51.

- 
- Essink, K. 1999. Ecological effects on dumping of dredged sediments; options for management. *Journal of Coastal Conservation*. (5), 69-80.
- Glorius, S.T., A. Meijboom. 2020. Ontwikkeling van enkele droogvallende mosselbanken in de Nederlandse Waddenzee – situatie 2019. WMR rapport C108/20, pp 68.
- Kamermans, P., M. Blankendaal, J. Perdon. 2009. Predation of shore crabs (*Carcinus maenas* L.) and starfish (*Asterias rubens* L.) on blue mussel (*Mytilus edulis* L.) seed from wild sources and spat collectors. *Aquaculture* (290), 259-262.
- Kok, de J.M. 2002. Brakwater zones rond de Afsluitdijk. 3D modelberekeningen naar water- en zoutbeweging in diverse ontwerpvarianten. Rapport RIKZ/2002.038, pp 47.
- Meer van der, J. N. Dankers, B.J. Ens, M. van Stralen, K. Troost, A.M. Waser. 2019. The Birth, growth and death of intertidal soft-sediment bivalve beds; no need for large-scale restoration programs in the Dutch Wadden Sea. *Ecosystems* (22), 1024-1034.
- Nagarajan, R., S.E.G., Lea, J.D. Goss-Custard. 2006. Seasonal variations in mussel, *Mytilus edulis* L. shell thickness and strength and their ecological implications. *Journal of Experimental Biology and Ecology* (336), 241-250.
- Paoli, H. de. 2017. Restoring mussel beds. PhD Thesis University of Groningen, The Netherlands.
- Prins, T., en A. Smaal 1989. Carbon and nitrogen budgets of the mussel *Mytilus edulis* and the cockle *Cerastoderma edule* (L.) in relation to food quality. *Scientia Marina* (53), 477-482.
- Purchon, R.D. 1937. An ecological study of the beach and the dock at Portishead. *Proc. Bristol Nat. Soc.*, (8), 311-329.
- R Core Team, 2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Riisgard, H.U., F. Luskow, D. Pleissner, K. Lundgreen, M.A.P. Lopez. 2013. Effect of salinity on filtration rates of mussels, *Mytilus edulis*, with special emphasis on dwarfed mussel from the low-saline Central Baltic Sea. *Helgol Marine Resources*, (67), 591-598.
- Seed, R . 1968 . Factors affecting shell shape in the mussel *Mytilus edulis* . *Journal of Marine Biology Assesment* (48), 561-584.
- Taal, M.D., C.A. Schmidt, A.G. Brinkman, W. Stolte, D.S. van Maren. 2015. Slib en primaire productie in het Eems-estuarium – een samenvatting van vier jaar meten, modelleren, kennis bundelen en verwerven. Pp 44
- Tamis, J.E. 2016. Effects of silt on bivalves occutring in the Ems-Dollard estuary. 2016. WMR report, pp 43.
- Troost, K., J. Drent, E. Folmer, M. van Stralen 2012. Ontwikkeling van schelpdierbestanden op de droogvallende platen van de Waddenzee. *De Levende Natuur* - mei 2012, 83-88.
- Troost, K., M. Stralen van, C. Zweeden van, B. Brinkman. 2015. Ruimtelijke verspreiding van mosselen en Japanse oesters in de Waddenzee in de periode 1992-2013. WMR rapport C062/15, pp 35.
- Troost, K., M. Asch van. 2018. Herziene schatting van het kokkelbestand in de Waddenzee en Oosterschelde in het najaar van 2018. CVO rapport 18.014, pp. 24.

- 
- Waser, A.M. 2018. Predation on intertidal mussels: Influence of biotic factors on the survival of epibenthic bivalve beds. PhD Thesis, Vrije Universiteit Amsterdam, Amsterdam, The Netherlands.
- Westerbom, M., M. Kilpi, O. Mustonen. 2002. Blue mussels, *Mytilus edulis*, at the edge of the range: population structure, growth and biomass along a salinity gradient in the north-eastern Baltic Sea. *Marine Biology* (140), 991-999.
- Widdows, J., P. Fieth, and C.M. Worrall 1979. Relationships between Seston, Available Food and Feeding Activity in the Common Mussel *Mytilus edulis*. *Marine Biology* (50), 195-207.

---

# Verantwoording

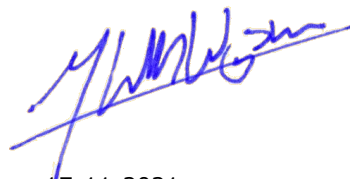
Rapport C090.21C

Projectnummer: 431.81002.78

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: Jeroen Wijsman  
Schelpdier expert ecooloog

Handtekening:



Datum: 17-11-2021

Akkoord: Jakob Asjes  
MT lid Integratie

Handtekening:



Datum: 17-11-2021

# Bijlage 1 Modelresultaten overlevingsproef

Hier worden de modelresultaten gegeven van de groei van mosselen en de verschillende waterkwaliteitsparameters die in het vooronderzoek gemeten zijn. In kolom 'significantie niveau' wordt weergegeven of een variabele van invloed is. Voor P-waarden <0.001 is het significantie niveau '\*\*\*', voor p-waarden tussen 0.001 en 0.01 is het significantieniveau '\*\*', tussen 0.01 en 0.05 is deze '\*', en tussen 0.05 en 0.1 is deze '.'. In de kolom 'p-waarde' worden de daadwerkelijke p-waarde weergegeven.

Tabel 1. Modeluitkomsten voor de verandering in schelp lengte tussen de T0- en T1 meting.

Variabele	schatting	Std. Error	t waarde	P waarde	Significantie niveau
(Intercept)	0.1201	0.0143	8.3870	< 2e-16	***
oorsprong – MZI	-0.1114	0.0133	-8.3670	< 2e-16	***
Oorsprong – ondergedoken	0.0007	0.0134	0.0540	0.9571	
Droogvalduur 40%	0.0208	0.0134	1.5480	0.1217	
Droogvalduur 45%	-0.0361	0.0135	-2.6800	0.0074	**
Location 2 (midden)	-0.0579	0.0134	-4.3090	0.0000	***
Location 3 (zuid)	-0.0232	0.0133	-1.7380	0.0824	.

Tabel 2. Modeluitkomsten voor de zwevende stof concentraties in de watermonsters.

Variabele	schatting	Std. Error	t waarde	P waarde	Significantie niveau
(Intercept)	61.8759	4.167	14.849	<2e-16	***
Meetmoment T2	-2.5167	4.167	-0.604	0.5487	
Meetmoment T3	-7.1278	4.167	-1.711	0.0936	.
Na hoogwater	-3.3667	3.4024	-0.99	0.3274	
Locatie 2 (midden)	-0.6722	4.167	-0.161	0.8725	
Locatie 3 (zuid)	0.4778	4.167	0.115	0.9092	

Tabel 3. Modeluitkomsten voor het aandeel organische stof in het zwevende stof in de watermonsters.

Variabele	schatting	Std. Error	t waarde	P waarde	Significantie niveau
(Intercept)	68.3419	4.0115	17.036	< 2e-16	***
Meetmoment T2	-21.5588	4.072	-5.294	3.25E-06	***
Meetmoment T3	-17.4699	4.072	-4.29	9.08E-05	***
Na hoogwater	0.8577	3.2782	0.262	0.795	
Locatie 2 (midden)	-0.4412	4.072	-0.108	0.914	
Locatie 3 (zuid)	-1.7111	3.9399	-0.434	0.666	

Tabel 4. Modeluitkomsten voor de log getransformeerde chlorofyl-a concentraties in de watermonsters.

Variabele	schatting	Std. Error	t waarde	P waarde	Significantie niveau
(Intercept)	0.72034	0.03747	19.224	< 2e-16	***
Meetmoment T2	0.41382	0.03657	11.316	2.46E-14	***
Meetmoment T3	0.42588	0.03657	11.646	9.80E-15	***
Na hoogwater	0.02999	0.02833	1.059	0.2957	
Locatie 2 (midden)	0.03228	0.03469	0.931	0.3574	
Locatie 3 (zuid)	-0.05974	0.03469	-1.722	0.0924	.

Tabel 5. Modeluitkomsten voor de ratio chlorofyl-a en zwevende stof in de watermonsters.

Variabele	schatting	Std. Error	t waarde	P waarde	Significantie niveau
(Intercept)	11074.2	379.55	29.177	<2e-16	***
Meetmoment T2	-6756.22	370.41	-18.24	<2e-16	***
Meetmoment T3	-7343.44	370.41	-19.825	<2e-16	***
Na hoogwater	-678.49	286.92	-2.365	0.0227	*
Locatie 2 (midden)	-59.13	351.4	-0.168	0.8672	
Locatie 3 (zuid)	920.81	351.4	2.62	0.0122	*

Tabel 6. Modeluitkomsten voor het zoutgehalte in de watermonsters.

Variabele	schatting	Std. Error	t waarde	P waarde	Significantie niveau
(Intercept)	18.3691	0.2712	67.728	< 2e-16	***
Meetmoment T2	1.713	0.2923	5.861	6.30E-07	***
Meetmoment T3	4.8167	0.2531	19.029	< 2e-16	***
Na hoogwater	0.442	0.2285	1.934	0.0598	.
Locatie 2 (midden)	-1.6552	0.2695	-6.143	2.48E-07	***
Locatie 3 (zuid)	-3.3152	0.2695	-12.303	1.63E-15	***

Tabel 7. Modeluitkomsten voor de watertemperatuur in de watermonsters.

Variabele	schatting	Std. Error	t waarde	P waarde	Significantie niveau
(Intercept)	2.68704	0.10124	26.54	< 2e-16	***
Meetmoment T2	4.57778	0.1091	41.958	< 2e-16	***
Meetmoment T3	9.91667	0.09449	104.953	< 2e-16	***
Na hoogwater	0.1963	0.08529	2.302	0.026392	*
Locatie 2 (midden)	-0.34778	0.10059	-3.457	0.001262	**
Locatie 3 (zuid)	-0.40778	0.10059	-4.054	0.000213	***

Tabel 8. Modeluitkomsten voor het zuurstofgehalte in de watermonsters. Gehalten zijn dubbel wortel getransformeerd.

Variabele	schatting	Std. Error	t waarde	P waarde	Significantie niveau
(Intercept)	1.793308	0.003664	489.416	< 2e-16	***
Meetmoment T2	0.001685	0.003949	0.427	0.671675	
Meetmoment T3	-0.07916	0.00342	-23.148	< 2e-16	***
Na hoogwater	0.002123	0.003087	0.688	0.495349	
Locatie 2 (midden)	-0.01506	0.00364	-4.138	0.000165	***
Locatie 3 (zuid)	-0.02489	0.00364	-6.837	2.49E-08	***

# Bijlage 2 Meetfrequentie aanlegproeven

Tabel 1. Meetfrequentie aanlegproef 1.

Paragraaf dit rapport	Meting	T1	T2	T3	T4	T5
		20 aug 2018	3 sep 2018	2 okt 2018	2 nov 2018	3 dec 2018
3.4.1	Overzicht en detailfoto's	x	x	x	x	X
3.4.2	Mosselmonsters	x		x		x
3.4.3	Touw degradatie	x		x	x	x
3.4.4	Ortho- en DEM kaarten		x	x	x	x
3.4.5	Droogvalduur (CTD)	continu				

Op elk meetmoment zijn op elk net negen mosselmonsters genomen. Hierbij zijn alleen plekken met mosselen bemonsterd waarbij de monster verspreid over de netten en op een random locaties genomen zijn.

De ortho- en DEM kaarten zijn alleen voor sisal op alle meetmomenten zoals weergegeven is in Tabel 1 bepaald. Voor de netten gemaakt van hennep en katoen zijn alleen op de meetmomenten T3 en T4 in kaart gebracht.

Tabel 2. Meetfrequentie aanlegproef 2.

Paragraaf dit rapport	Meting	T11	T12	T13	T14	T15
		31 jul 2019	7 aug 2019	4 okt 2019	19 dec 2019	11 aug 2020
3.4.1	Overzicht en detailfoto's	x	x	x	x	X
3.4.2	Mosselmonsters		x	x		x
3.4.4	Ortho- en DEM kaarten	X	x	x	x	x
3.4.5	Droogvalduur (CTD)	continu				

In aanlegproef 2 zijn geen touwmonster genomen maar zijn uitsluitend veldobservaties gedaan. Het aantal mosselmonsters dat genomen is varieerde tussen de meetmomenten. Op T13 zijn 21 monsters genomen (9 op plot 1 en 12 op plot 2), op T13 zijn 12 monsters genomen (9 op plot 1 en 3 op plot 2), op T15 zijn 9 monsters genomen (5 op plot 1 en 4 op plot 2). De monsters zijn op verschillende plekken maar in de buurt van de oorspronkelijke ligging van de tegels genomen. Hiernaast zijn op de meetmomenten T12, T13 en T15 steeds drie monsters genomen op de natuurlijke mosselbank.



# Bijlage 3 Modeluitkomsten aanlegproef 1

Wanneer, ten opzicht van het net van hennep op T2, er significante veranderingen zijn waargenomen voor meetmoment en/of nettype wordt dit in de tabellen weergegeven in kolom 'significantie niveau'. Voor P-waarden <0.001 is het significantie niveau '\*\*\*', voor p-waarden tussen 0.001 en 0.01 is het significantieniveau '\*\*', tussen 0.01 en 0.05 is deze '\*', en tussen 0.05 en 0.1 is deze '.'. In kolom 'p-waarde' worden de daadwerkelijke p-waarde weergegeven.

Tabel 1. Modeluitkomsten voor de mosseldichtheden in monsters genomen van aanlegproef 1.

Variabele	schatting	Std. Error	t waarde	p-waarde	Significantie niveau
(Intercept)	30509	2558	11.929	< 2e-16	***
Meetmoment T3	-15166	2802	-5.413	6.96E-07	***
Meetmoment T5	-23112	2802	-8.249	3.67E-12	***
katoen	2660	2802	0.949	0.345	
sisal	1363	2802	0.486	0.628	

Tabel 2. Modeluitkomsten voor de mosselschelpenlengtes in monsters genomen van aanlegproef 1.

Variabele	schatting	Std. Error	t waarde	p-waarde	Significantie niveau
(Intercept)	15.5125	0.1009	153.729	< 2e-16	***
Meetmoment T3	0.9815	0.108	9.089	< 2e-16	***
Meetmoment T5	1.3477	0.1176	11.464	< 2e-16	***
katoen	-0.7003	0.1149	-6.097	1.14E-09	***
sisal	0.7365	0.1149	6.408	1.57E-10	***

Tabel 3. Modeluitkomsten voor het asvrijdrooggewicht van het mosselvlees van aanlegproef 1.

Variabele	schatting	Std. Error	t waarde	p-waarde	Significantie niveau
(Intercept)	171637	12388	13.855	< 2e-16	***
Meetmoment T3	-109160	13570	-8.044	9.07E-12	***
Meetmoment T5	-144062	13570	-10.616	< 2e-16	***
katoen	12165	13570	0.896	0.3728	
Sisal <sup>1</sup>	33601	13570	2.476	0.0155	*

<sup>1</sup> voor een model zonder T1 is er geen invloed op het asvrijdrooggewicht voor de verschillende netten.

Tabel 4. Modeluitkomsten voor het versgewicht van de mosselen van aanlegproef 1.

Variabele	schatting	Std. Error	t waarde	p-waarde	Significantie niveau
(Intercept)	10638.8	839.5	12.673	< 2e-16	***
Meetmoment T3	-3505.3	919.6	-3.812	0.000279	***
Meetmoment T5	-6394.7	919.6	-6.954	1.07E-09	***
katoen	-104.3	919.6	-0.113	0.909987	
Sisal <sup>2</sup>	2157.8	919.6	2.346	0.021565	*

<sup>2</sup> voor een model zonder T1 is er geen invloed op het asvrijdrooggewicht voor de verschillende netten.

## Bijlage 4 Modeluitkomsten aanlegproef 2

Wanneer, ten opzicht van het geen net op T12, er significante veranderingen zijn waargenomen voor tijdstip, nettype of aanwezigheid van kokkelschelpen is dit in de tabellen weergegeven in kolom 'significantie niveau'. Voor P-waarden <0.001 is het significantie niveau '\*\*\*', voor p-waarden tussen 0.001 en 0.01 is het significantieniveau '\*\*', tussen 0.01 en 0.05 is deze '\*', en tussen 0.05 en 0.1 is deze '.'. In kolom 'p-waarde' worden de daadwerkelijke p-waarde weergegeven.

Tabel 1. Modeluitkomsten voor de mosseldichtheden in monsters genomen van aanlegproef 2.

Variabele	schatting	Std. Error	t waarde	p-waarde	Significantie niveau
(Intercept)	22320	2790	7.999	2.06E-09	***
Meetmoment T13	-20006	2470	-8.098	1.55E-09	***
Meetmoment T15	-23190	2700	-8.588	3.89E-10	***
Net-hennep	4181	3282	1.274	0.2111	
Net-katoen	1495	3304	0.452	0.6537	
Net-sisal	1862	3177	0.586	0.5616	
Kokkelschelpen (aanwezig) <sup>1</sup>	5426	2467	2.199	0.0346	*

<sup>2</sup> voor een model zonder T12 is er geen invloed op het de mosseldichtheid voor plekken met kokkels.

Tabel 2. Modeluitkomsten voor de mosselschelpenlengtes in monsters genomen van aanlegproef 2.

Variabele	schatting	Std. Error	t waarde	p-waarde	Significantie niveau
(Intercept)	17.04009	0.21182	80.445	<2e-16	***
Meetmoment T13	-0.30148	0.20025	-1.506	0.1323	
Meetmoment T15	4.36304	0.28732	15.185	<2e-16	***
Net-hennep	-0.06357	0.24522	-0.259	0.7955	
Net-katoen	-0.4176	0.25407	-1.644	0.1004	
Net-sisal	-0.03341	0.24355	-0.137	0.8909	
Kokkelschelpen (aanwezig)	0.34152	0.19267	1.773	0.0764	.

Tabel 3. Modeluitkomsten voor het asvrijdrooggewicht van het mosselvlees van aanlegproef 2.

Variabele	schatting	Std. Error	t waarde	p-waarde	Significantie niveau
(Intercept)	267146	32992	8.097	1.56E-09	***
Meetmoment T13	-208890	29210	-7.151	2.44E-08	***
Meetmoment T15	-209106	31928	-6.549	1.47E-07	***
Net-hennep	34746	38806	0.895	0.3767	
Net-katoen	-6115	39059	-0.157	0.8765	
Net-sisal	15212	37560	0.405	0.6879	
Kokkelschelpen (aanwezig)	58061	29171	1.99	0.0544	.

<sup>2</sup> voor een model zonder T12 is er geen invloed van het asvrijdrooggewicht van mosselen voor plekken met kokkels.

Tabel 4. Modeluitkomsten voor het versgewicht van de mosselen van aanlegproef 1.

Variabele	schatting	Std. Error	t waarde	p-waarde	Significantie niveau
(Intercept)	8809.3	985	8.944	1.45E-10	***
Meetmoment T13	-6431.8	872.1	-7.375	1.26E-08	***
Meetmoment T15	-6781.9	953.2	-7.115	2.72E-08	***
Net-hennep	912.4	1158.6	0.788	0.4363	
Net-katoen	107.5	1166.1	0.092	0.927	
Net-sisal	835.5	1121.4	0.745	0.4612	
Kokkelschelpen (aanwezig)	1848.8	870.9	2.123	0.0409	*

<sup>2</sup> voor een model zonder T12 is er geen invloed op het versgewicht van mosselen voor plekken met kokkels.