



Biodiversiteit en abiotische metingen op de Slow Mill locatie off-shore Texel in 2019

Rob Witbaard

NIOZ Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee



Foto omslag: Het aan boord halen van het NIOZ meetframe dat 3 maanden voor de kust van Texel op de zeebodem heeft gestaan ten behoeve van metingen voor het Slow Mill project. Foto: Rob Witbaard.

Foto Rechts: Close up van aangroei waarbij de gelaagdheid en de invang van zand duidelijk zichtbaar zijn.

Biodiversiteit en abiotische metingen op de Slow Mill locatie off-shore Texel in 2019

Rob Witbaard



In samenwerking met:

Rob Dekker, Loran Kleine-Schaars en Erik Wagemaker

Graag als volgt citeren:

Witbaard, R. (2020). Biodiversiteit en abiotische metingen op de Slow Mill locatie off-shore Texel in 2019. NIOZ Report 2020-06.

NIOZ Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee: Texel. 36 pp.

<https://doi.org/10.25850/nioz/7b.b.db>

INLEIDING

Na het plaatsen van objecten op de zandige zeebodem neemt de biodiversiteit toe doordat de habitat complexiteit van de omgeving toeneemt (Kovalenko et al, 2012). De toegevoegde structuur vormt settlement substraat voor sessiele soorten die een harde ondergrond nodig hebben om zich op te vestigen. Eenmaal gevestigde (opportunistische) soorten geven al snel aanleiding tot een successie waarbij de opportunistische soorten vervangen worden door een gemeenschap met meer permanente soorten (Kerckhof et al, 2012, Schröder et al, 2006). De snelheid waarmee de pioniersgemeenschap vervangen wordt, is o.a. afhankelijk van de abiotische omstandigheden, concurrentie om ruimte en predatie. Seizoenaliteit speelt ook een rol. Op de lange termijn ontwikkelen zich afhankelijk van substraat, waterdiepte en locatie gemeenschappen die onderling goed herkenbaar en onderscheidbaar zijn (Zintzen & Massin, 2010).

Het plaatsen van hardsubstraat objecten in een door zandbodem gedomineerde omgeving kan ook leiden tot stromingsveranderingen, en daarmee veranderingen in bodemtopografie, sedimentsamenstelling en heterogeniteit (sortering) (Coates et al, 2014). Hoge dichtheden van sessiele tweekleppigen (*Mytilus edulis*, *Ostrea edulis*) kan leiden tot lokale verslibbing van het sediment (Coates et al 2014) en daarmee het habitat geschikt maken voor soorten die een voorkeur hebben voor fijnere sedimenten. Objecten op de verder kale zeebodem trekken grote predatoren zoals vis en krabben (Krone et al, 2017) aan omdat ze er zowel voedsel als een schuilplaats vinden en daarmee de overleving toeneemt. Al deze processen dragen daarmee bij aan een verdere toename van de habitatcomplexiteit. Dit geldt voor zowel de structuur als de processen. Door het op grote schaal installeren van "artificieel" hard substraat kunnen ecosysteemfuncties en -diensten veranderen (see Callaway et al, 2017).

De contouren waarbinnen de oorspronkelijke bodemgemeenschap kan veranderen en daadwerkelijk verandert, hangt vooral af van de abiotische omstandigheden, zoals waterstroming, turbulentie en sediment veranderingen. Deze condities bepalen de mogelijkheden van soorten om zich succesvol te vestigen, maar ook toeval draagt bij in de vorm van bijvoorbeeld het voorkomen van strenge winters en/of de timing van storm events in relatie tot settlement van organismen.

Het Slowmill golfenergiesysteem wordt geankerd aan een 50 ton (en later 300 ton) zwaar betonnen caisson dat op de zeebodem staat. Grootschalige uitrol van Slowmill energiesystemen zou daarbij automatisch aanleiding geven tot de toename van beschikbaar hard substraat en de vorming van een kunstmatig rif. Het valt te verwachten dat de biodiversiteitsontwikkeling op het Slowmill anker vergelijkbaar is met de ontwikkeling op windmolenfundamenten. Een van de echt grote verschillen is dat de Slowmill relatief dicht bij de kust geplaatst wordt, op geringe waterdiepte in zeer energierijke condities, zeker in vergelijking met veel windfarm locaties die veel verder uit de kust liggen.

Ten opzichte van de schaal waarop abiotische processen zich in de kustzone afspelen is niet te verwachten dat een enkel Slowmill anker de hydrografie op grote schaal voor de kust van Texel zal veranderen. Op heel lokaal niveau kunnen stroomverschillen voor extra turbulentie zorgen en daarmee dus effecten vlak rondom het anker laten zien. Hetzelfde geldt eigenlijk voor het gesuspenderde deel van het energieopwekkingssysteem.

Een enkele installatie zal geen grootschalig en verstrekend effect op de omgeving hebben. Bij een meer grootschalige uitrol van Slowmill energiesystemen zouden die effecten wel kunnen ontstaan door golfdemping en remming van de stroming. Hetzelfde geldt voor de toename van hard substraat oppervlak.

Het kabeltracé van de Slowmill naar land, loopt dwars door de kustzone die is aangemerkt als natura 2000 gebied (Noordzee kustzone). Plaatsing van de Slowmill en aanleg van de kabel zijn daarmee vergunningsplichtig. Met oog op de aanleg van windenergie op zee zijn er diverse studies beschikbaar

waar specifiek het effect van kabelaanleg op de natuurwaarden worden ingeschat (o.a. Pondera & Arcadis, 2019). In de MER en de passende beoordeling die voor de kabelaanleg van het Gemini windpark is gemaakt, wordt geconcludeerd dat er voor het bodemleven geen blijvende negatieve effecten zijn (Overheid, 2013).

Om onafhankelijk van deze studies toch een idee te krijgen van de natuurwaarden die mogelijk beïnvloed worden door de kabelaanleg vanaf de slowmill, is ook het beoogde kabeltraject naar de Koog op Texel met behulp van boxcores bemonsterd. Hiermee worden ruimtelijke trends qua soortsamenstelling en dichtheden van de bodemfauna duidelijk en kan het milieueffect van de kabelaanleg beter ingeschat worden.

MATERIAAL EN METHODE

Biodiversiteit zacht substraat

Op 14 februari 2019 is voor plaatsing van het Slowmill anker op en rondom de geplande locatie de zandbodem bemonsterd. Hiertoe werd gebruik gemaakt van het NIOZ onderzoeksschip "Navicula". In totaal zijn in februari 26 zogenaamde boxcore monsters (30 × 20 cm) (Fig. 1) genomen en aan boord gezeefd over een 1 mm zeef. Het residu is geconserveerd in 4% formaline en bewaard. Voordat de monsters op het laboratorium gesorteerd en gedetermineerd werden, is bengal rose toegevoegd om alle "levende" organismen te kleuren waardoor het uitzoeken vereenvoudigd en meer betrouwbaar wordt. De aanwezige soorten zijn op naam gebracht en van iedere soort is de biomassa in de vorm van Ash Free Dry Weight (AFDW) op standaardwijze bepaald. Details van de labprocedures zijn gegeven in Compton et al (2013).



Figuur 1. Boxcore aan boord van RV Navicula, met een voorbeeld detailopname van een boxcore sample. Het oppervlak bodem dat de boxcore bemonsterd is 20 × 30 cm. In de linker bovenhoek van het monster steken woonbuizen van *Lanice conchilega* boven het sediment oppervlakte uit.

Acht boxcore monsters lagen in een cirkel ($r=50$ meter) rondom de geplande Slowmill ankerlocatie. Daarnaast zijn er 4 stations op een afstand van 100, 500, 1000 en 1500 meter bemonsterd. In de richting van de kust zijn nog extra stations op 2000, 2500 3000 en 3500 meter bemonsterd. Deze laatste stations lagen in de brekerbank zone. Details van de monsterpunten zijn weergegeven in tabel 1 en figuur 2. Na het bergen van het meetframe op 30 juli 2019 zijn nog een vijftal boxcore monsters genomen waarvan de exacte locaties ook in tabel 1 staan weergegeven. Deze punten liggen binnen de 50 meter ring rondom de centrale locatie die in februari 2019 gebruikt is. Boxcore sample #5 is genomen op 5.5 meter afstand van de locatie waar de lander heeft gestaan. De andere vier boxcores zijn genomen op een afstand van tussen de 20 en 50 meter afstand t.o.v. de lander locatie.

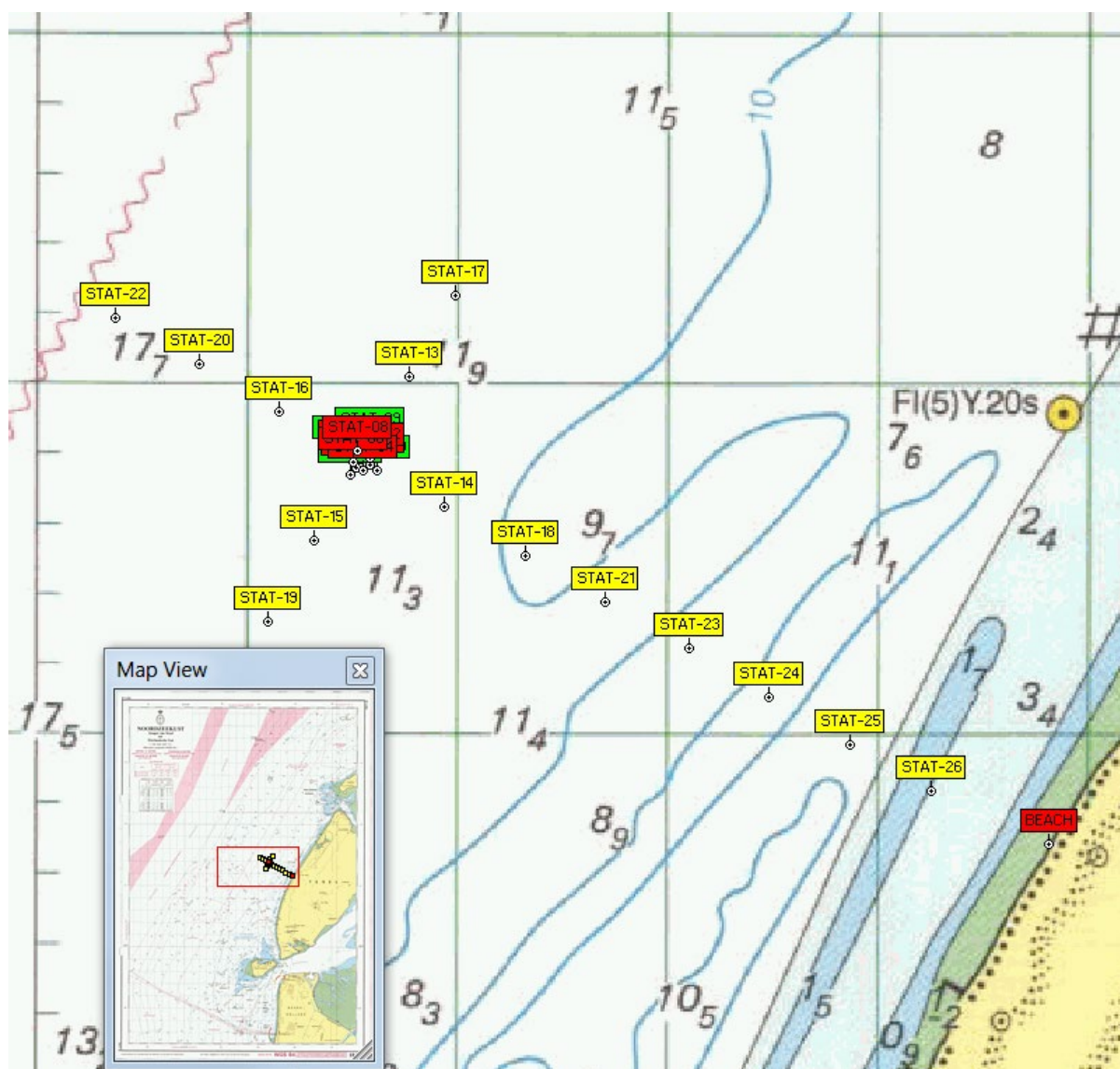
Tabel 1. Overzicht van de bemonsterde stations. De stationsnaam geeft het volgnummer aan van het stations. In de daarin volgende kolommen geven heading en Distance aan waar het station ligt tov het centrale anker station. De kolom Dist2Beach geeft de afstand in meters tot de laagwaterlijn op het strand aan. De geografische positie is in Latitude (north) en Longitude (E) aangegeven.

Stationnaam	Datum	heading	Dist. (m)	Dist2beach	LATITUDE (N)	LONGITUDE (E)
Slowmill	14/02/2019	0	0	4183	53°06'46.476"	004°41'32.316"
1	14/02/2019	30	50	4182	53°06'47.876"	004°41'33.659"
2	14/02/2019	75	50	4147	53°06'46.894"	004°41'34.912"
3	14/02/2019	120	50	4133	53°06'45.666"	004°41'34.642"
4	14/02/2019	165	50	4148	53°06'44.914"	004°41'33.011"
5	14/02/2019	210	50	4184	53°06'45.076"	004°41'30.973"
6	14/02/2019	255	50	4218	53°06'46.058"	004°41'29.72"
7	14/02/2019	300	50	4233	53°06'47.286"	004°41'29.99"
8	14/02/2019	345	50	4218	53°06'48.038"	004°41'31.621"
9	14/02/2019	30	100	4183	53°06'49.277"	004°41'35.002"
10	14/02/2019	120	100	4078	53°06'44.86"	004°41'36.971"
11	14/02/2019	210	100	4147	53°06'43.675"	004°41'29.63"
12	14/02/2019	300	100	4283	53°06'48.092"	004°41'27.661"
13	14/02/2019	30	500	4167	53°07'0.48"	004°41'45.755"
14	14/02/2019	120	500	3685	53°06'38.39"	004°41'55.586"
15	14/02/2019	210	500	4162	53°06'32.472"	004°41'18.881"
16	14/02/2019	300	500	4206	53°06'54.558"	004°41'9.042"
17	14/02/2019	30	1000	4244	53°07'14.48"	004°41'59.194"
18	14/02/2019	120	1000	4196	53°06'30.305"	004°42'18.853"
19	14/02/2019	210	1000	4222	53°06'18.472"	004°41'5.449"
20	14/02/2019	300	1000	5208	53°07'2.644"	004°40'45.768"
21	14/02/2019	120	1500	2672	53°06'22.216"	004°42'42.12"
22	14/02/2019	300	1500	5672	53°07'10.722"	004°40'22.49"
23	14/02/2019	120	2000	2192	53°06'14.13"	004°43'5.383"
24	14/02/2019	120	2500	1685	53°06'6.037"	004°43'28.643"
25	14/02/2019	120	3000	1178	53°05'57.948"	004°43'51.902"
26	14/02/2019	120	3500	678	53°05'49.9"	004°44'15.2"
27 (BC#1)	30/07/2019	-	<50	4183	53°06.788'	004°41.513'
28 (BC#2)	30/07/2019	-	<50	4183	53°06.764'	004°41.495'
29 (BC#3)	30/07/2019	-	<50	4183	53°06.768'	004°41.524'
30 (BC#4)	30/07/2019	-	<50	4183	53°06.777'	004°41.548'
31 (BC#5)	30/07/2019	-	<50	4183	53°06.787'	004°41.528'
Lander	08/05/2019		0	4183	53°06.785'	004°41.530'

In figuur 2 is in een kaart weergegeven hoe de monsterlocaties liggen. Het cluster van stations in het centrum van de assen ligt rondom de Slowmill ankerpositie op ongeveer 4000 meter vanaf het strand (zie tabel 1). Om enig idee te krijgen van de ruimtelijke spreiding en verschillen in bodem en fauna stations zijn op grotere afstand, tot vlak op het strand ook monsters genomen.

Om de fauna gemeenschap te beschrijven is gebruik gemaakt van multivariate statistische technieken. Daarbij wordt op grond van de soortensamenstelling en abundantie de "afstand" tussen de stations bepaald op grond van de Bray Curtis similarity index. De uitkomst van deze analyses is samengevat als dendrogram of als MDS (Multi Dimensional Scaling) plot. In een MDS plot wordt de multidimensionale ruimte zoals gevormd door soorten en stations in twee dimensies weergegeven, waardoor een goed interpreteerbare samenvatting van de fauna verschillen ontstaat.

Nadere analyse van de faunamonsters is gedaan met PAST (<https://folk.uio.no/ohammer/past/>).



Figuur 2. Kaart van de Texelse Noordzeekustzone met daarop geprojecteerd de bemonsterde locaties in februari 2019

Hard substraat

Op 8 mei 2019 is nabij de ankersteen een meetframe geplaatst om de lokale abiotische condities te meten. Dit meetframe is door RV Pelagia geplaatst. Op 30 juli 2019 is dit meetframe door RV

Navicula opgehaald. De aangroei op het meetframe is bemonsterd en in 4 % formaline geconserveerd en in het lab uitgezocht. Rondom de lander locatie zijn toen ook nog 5 boxcore bodemonsters genomen. Het was de bedoeling dit rondom de ankersteen te doen maar doordat de oppervlakteboei ter markering van de ankersteen verdwenen bleek, was de locatie daarvan niet exact genoeg bekend om daar vlak om heen en zonder risico te monstern.

Op 28 augustus 2019 werd een hernieuwde poging gedaan om de ankersteen terug te vinden en de sessiele fauna met behulp van duikers te bemonstern. Helaas bleek lokalisatie van de ankersteen niet mogelijk en zijn we onverrichterzake teruggekeerd.

Abiotiek

Om inzicht te krijgen in abiotische condities rondom het Slowmill anker is ervoor gekozen om gedurende een periode van 3 maanden een meetframe op de bodem te plaatsen ter hoogte van het ankergewicht. Het meetframe is driehoekig met een hoogte van ongeveer 2.5 meter. Het frame is verzwaaard door met lood gevulde aluminiumbuizen die in horizontale positie op de zandbodem rusten. Het meetframe is uitgerust met zelf-loggende apparatuur waarmee de belangrijkste karakterisering van de abiotische omstandigheden kan worden gemaakt. De gebruikte instrumenten en meethoogten zijn weergegeven in tabel 2 en hun plaatsing in het frame is weergegeven in figuur 4.

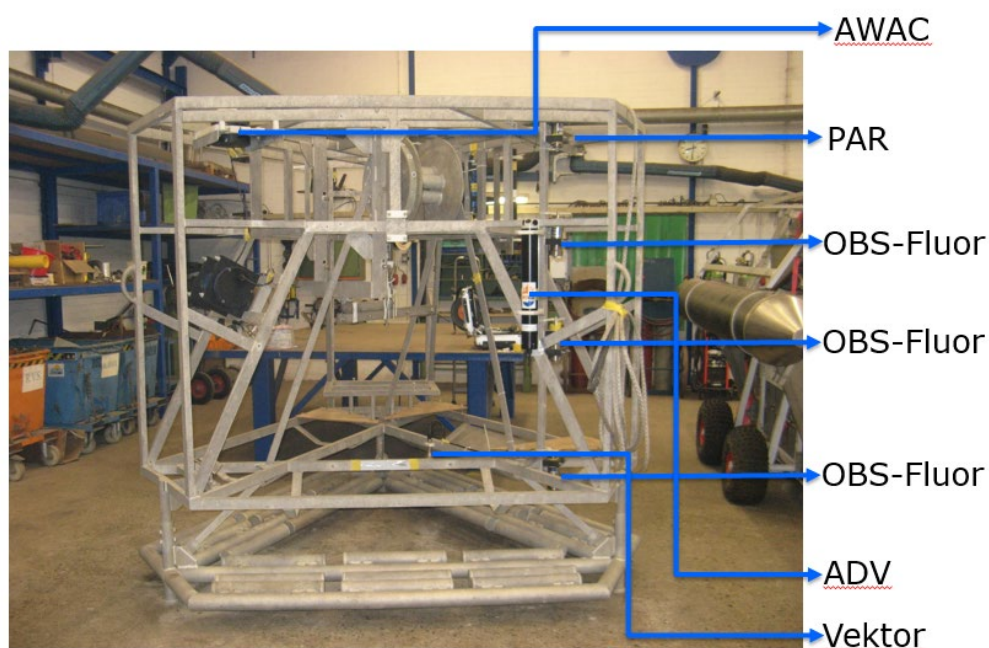
Op 8 mei 2019 is het meetframe met het NIOZ onderzoeksschip "RV Pelagia" geplaatst op 53°06.785'N 004°41.530'E. Op 30 juli 2019 is het frame met behulp van "RV Navicula" uit het water gehaald.



Figuur 3. Recovery van het meetframe dat 3 maanden heeft gestaan op de Slowmill locatie, totaal overgroeid door epifauna.

Tabel 2. Overzicht van de gebruikte instrumenten, hoogte boven de bodem en de periode waarover succesvol data is verzameld.

Instrument	Gemeten Grootheid	Start	Eind	Hoogte ab.
Star Oddi CT	Temperatuur	08 mei 2019	30 juli 2019	140 cm
	Conductiviteit	08 mei 2019	30 mei 2019	140 cm
JFE PAR sensor	Light	08 mei 2019	30 juni 2019	200 cm
JFE Infinity 30cm	Fluorescence	08 mei 2019	30 juni 2019	30 cm
	Turbidity	08 mei 2019	30 juni 2019	30 cm
JFE Infinity 80cm	Fluorescence	08 mei 2019	30 juni 2019	80 cm
	Turbidity	08 mei 2019	30 juni 2019	80 cm
JFE Infinity 140cm	Fluorescence	08 mei 2019	30 juni 2019	140 cm
	Turbidity	08 mei 2019	30 juni 2019	140 cm
Nortek Aquadop	Current speed	08 mei 2019	30 juli 2019	140 cm
	Current direction	08 mei 2019	30 juli 2019	140 cm
Nortek Vektor	Current Speed	08 mei 2019	-	14 cm
	Current direction	08 mei 2019	-	14 cm
Nortek Awac	Waveheight	08 mei 2019	30 juli 2019	water-lucht grens
	Wavedirection	08 mei 2019	30 juli 2019	water-lucht grens



Figuur 4. Foto impressie van het meetframe, met een overzicht van de plaatsing van de instrumenten die gebruikt zijn en ook is samengevat in tabel 2.

Een van de grote problemen aan het plaatsen van een meetframe in de kustzone is de enorme aangroei van organismen. Deze aangroei kan de sensoroppervlakken zo overwoekeren dat er geen goede metingen meer gedaan kunnen worden. Herhaaldelijke "recovery" en reiniging is feitelijk nodig maar daar was binnen het bestaande onderzoeksprogramma geen ruimte voor. De analyse van de meetresultaten laat echter zien dat tot begin juli de metingen van de meeste instrumenten betrouwbaar zijn. Daarna wordt de aangroei van de sessiele soorten zo sterk dat sommige instrumenten in hun werking gehinderd werden.

Doordat de turbiditeitsensoren uitgerust zijn met "ruitenwissertjes" zijn die goed blijven werken tot eind juni. Vanaf die periode zijn de turbiditeitsdata onbetrouwbaar, de fluorescentie data lijken goed.

Stroom en golfmetingen worden uitgevoerd met behulp van akoestische sensoren en gebruik te maken van het laser doppler effect. De meest directe metingen van golfhoogte kan door het meten van de tijdsduur tussen zenden en ontvangen van de geluidspuls die reflecteerd op de water-lucht grens.

De Nortek aquadop adv stroommeter meet op één punt 100 cm buiten het frame. Het instrument was dusdanig geprogrammeerd dat het per 10 minuten gedurende 1 minuut gemeten werd waarbij het gemiddelde van deze metingen werd opgeslagen om stroomsnelheid en richting te bepalen.

De Nortek AWAC AST is gebruikt voor het meten van golfhoogtes. Het instrument heeft in "burst mode" gemeten. Dit wil zeggen dat in korte tijd een serie metingen snel achter elkaar worden gedaan, gevolgd door een meetpauze. Voor deze studie heeft het instrument 2 maal per uur een burst meting van 1024 seconden gedaan. De meetfrequentie binnen de burst was 1 Hz. Dit komt er op neer dat gedurende bijna de helft van de tijd, gemeten is. Analyse van de golfdata is uitgevoerd met behulp van Nortek's software (Storm). De diverse golfparameters zijn per burst eenheid berekend. Deze tesamen vormen een tijdserie van metingen.

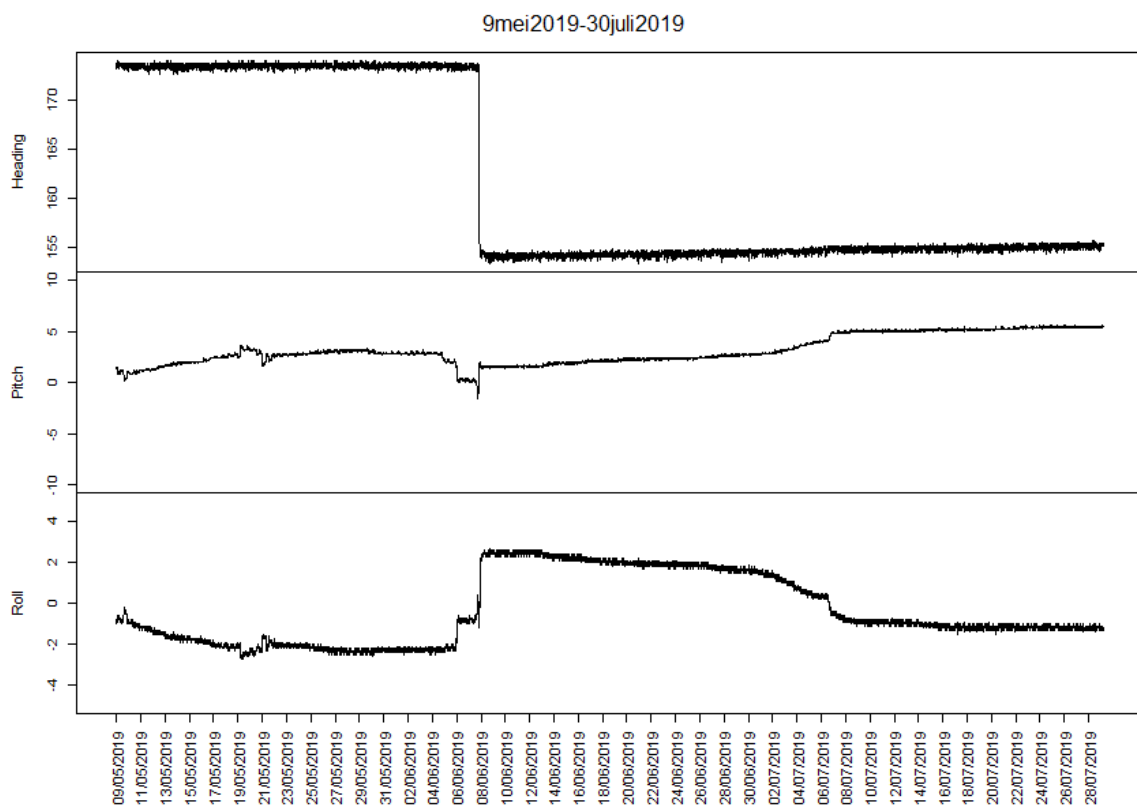
De Vektor stroommeter heeft stroomsnelheid vlak boven de bodem gemeten. Ook dit instrument heeft in burstmode gemeten, waarbij elke 10 minuten een burst van 16Hz gebruikt is (800 metingen). Door een installatiefout is de data niet met zekerheid te gebruiken (Beam-orientatie foutief). Verdere analyse is daarom achterwege gelaten.

De akoestische sensoren die hun pulsen met "full power" uitzonden bleken tot het eind van de deployment periode goed gewerkt te hebben. Analyse van "pitch" en "roll" data van de aquadop stroommeter laat zien dat direct na plaatsing, het meetframe zich in de 1^e 10 dagen van mei langzaam "settled" in de zandbodem. Op 8 juni 2019 verandert het meetframe abrupt van oriëntatie. Deze verplaatsing valt samen met hoge stroomsnelheden (0.8 m/s) die samenhangen met een storm waarin de windsnelheden opliepen tot 18 m/s (8 Bft). Tijdens die storm verandert de "heading" van de aquadop stroommeter van 174 naar 154 graden. De verandering van roll en pitch suggereren dat er een spoelgat bij een van de poten ontstaat (Figuur 6). Hoewel de Vektor stroommeter (die stroomsnelheden vlak boven de bodem meet) technisch gezien goed heeft gewerkt, laten de resultaten zien dat er problemen waren met de oriëntatie van de individuele "akoestische beams" waardoor ze niet met zekerheid aan een kompasrichting te koppelen zijn. Nadere analyse van deze gegevens is daarom achterwege gelaten omdat er geen 100% betrouwbaar beeld gevormd kan worden over stroomsterkte en richting vlak boven de bodem.

De meting van de saliniteit is gebaseerd op conductiviteit. Daardoor is deze meting zeer gevoelig voor aangroei. Vanaf 30 mei 2019 begint de saliniteit gestaag af te nemen, door overgroei van de conductiviteitscel. In tabel 2 zijn voor de individuele instrumenten de periodes aangegeven waarover betrouwbare data zijn verzameld.



Figuur 5. OBS sensor waarvan het ruitensissertje het eigenlijke sensor oppervlak heeft vrijgehouden van aangroei gedurende het grootste deel van de deployment periode.



Figuur 6. Data uit de Stroommeter die indicatief zijn voor de oriëntatie en beweging van het meetframe. De sterke verandering van de heading, pitch en roll op 8 juni valt samen met een 8 Bft storm.

RESULTATEN

Biodiversiteit zacht substraat

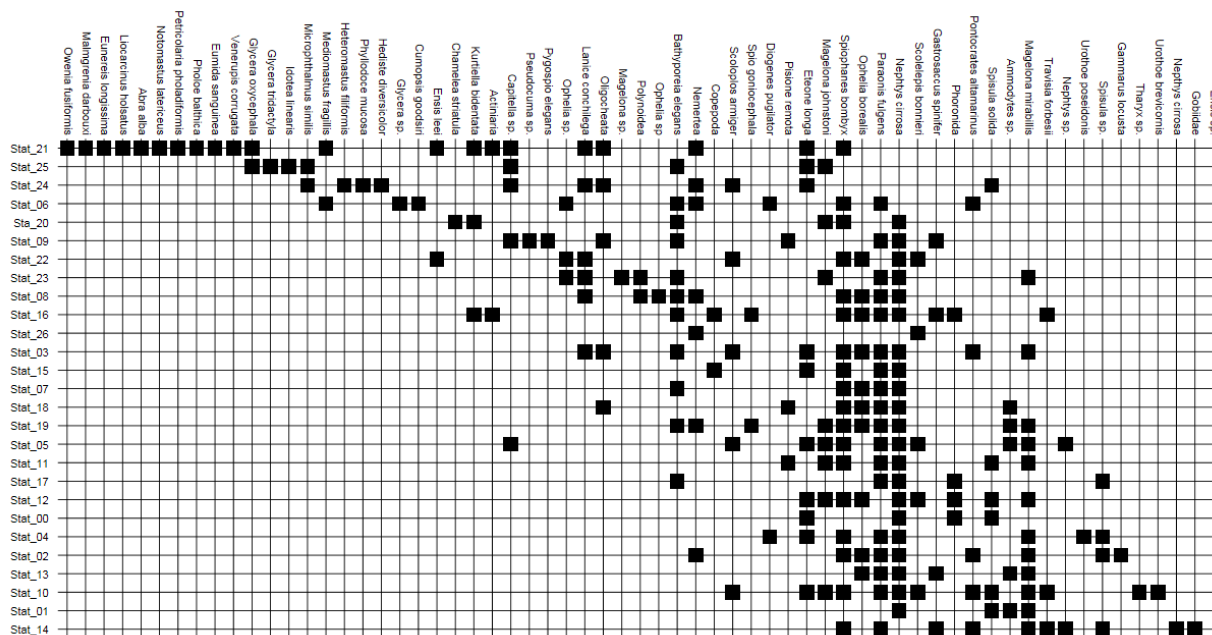
Februari bemonstering

In totaal zijn er 1751 individuen verdeeld over 61 soorten aangetroffen in de 26 boxcore monsters. In numerieke zin zijn de Polychaeten, Mollusca en Crustacea het sterkst vertegenwoordigd in de monsters met respectievelijk 63, 16 en 12 % van de individuen.

Het gemiddelde asvrij drooggewicht per vierkante meter was ruim 15 gram wanneer vis (zandspiering) wordt meegerekend. Indien zandspiering buiten beschouwing wordt gelaten (stations 19, 13, 01 en 05) dan is het gemiddeld asvrij drooggewicht per vierkante meter ~ 8 gram. In vergelijking met de Waddenzee is dit een lage waarde. In faunistische zin is het onderzoeksgebied niet bijzonder rijk.

Station 21 neemt een bijzondere plaats in. Hoewel hier geen zandspiering is aangetroffen werd hier een buitengewoon hoge biomassa aangetroffen, vooral veroorzaakt door het massale voorkomen van *Eunereis longissima*, *Lanice conchilega* en *Notomastus laterieus*.

In figuur 7 is een rangschikking gemaakt van de soorten en stations (seriation). Hieruit komt de grote diversiteit van station 21 duidelijk naar voren. Wat verder opvalt is dat er enige zonering in het voorkomen van de diverse soorten voorkomt. Het gros van de soorten wordt op alle stations gevonden. Er zijn 17 soorten die uniek op één station voorkomen. Het armste station was locatie 26 (~6 meter diep) dat op ongeveer 600 meter van het strand werd bemonsterd. Hier werden 2 soorten met ieder 1 individu aangetroffen.

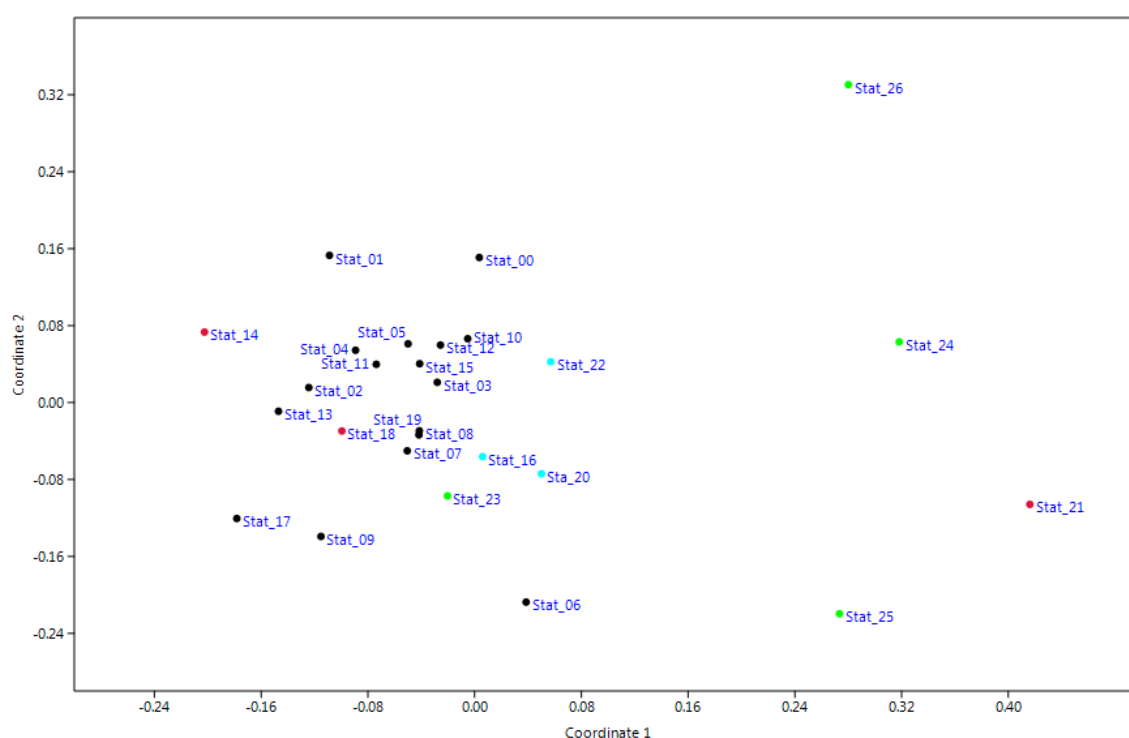


Figuur 7. Rangschikking van de soorten stations combinaties. Slechts een klein aantal soorten komt uniek op een klein aantal stations voor. Het gros van de soorten wordt overal aangetroffen. Stations die er uitspringen zijn de stations 21, 25 en 24. Stations 24 en 25 lagen zeer dicht bij de kust.

De locatie rondom het Slowmill anker (stations 00 t/m 12) wordt gekenmerkt door gemiddeld 283 individuen per vierkante meter verdeeld over 4 tot 13 soorten. Een kleine groep polychaeten (*Nephtys cirrosa*, *Spiophanes bombyx*, *Paraonis fulgens*, *Magelona mirabilis* en *Magelona johnstoni*) domineert de soortsaamenstelling op deze stations. Van de Crustacea is alleen *Bathyporeia elegans* op

meerdere stations gevonden. De overige soorten zijn verspreid als enkele individuen op de verschillende stations aangetroffen.

Op grond van de aantallen per soort en hun verdeling over de stations is de Bray Curtis similariteit op de log getransformeerde dichtheden gebruikt om de onderlinge gelijkenis van de stations in een twee dimensionale ruimte samen te vatten. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Figuur 8. Stations die dicht bij elkaar liggen lijken qua fauna samenstelling meer op elkaar dan stations die ver uit elkaar liggen. Het valt op dat vier stations (24, 25, 26 en station 21) buiten de puntenwolk vallen. Station 21 wordt gekenmerkt door de massale aanwezigheid van kokerwormen en de daarmee geassocieerde fauna. De andere stations worden gekenmerkt door hun ligging in de zone van de brekerbanken net voor het strand. Het zijn stations met de geringste waterdiepten. De analyse laat anderzijds zien dat de stations rondom de Slowmill (0-13) locatie redelijk homogeen zijn.

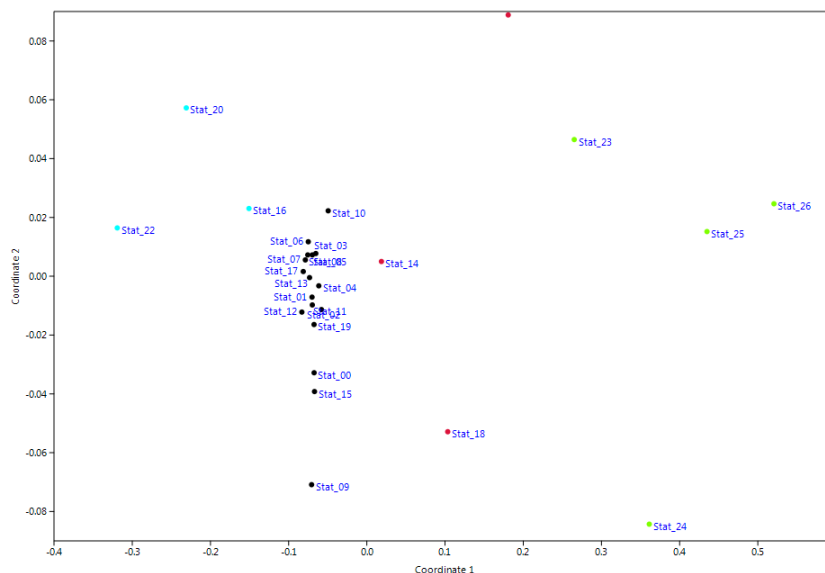


Figuur 8. MDS ordinatie van $\log(\text{density}+1)$ getransformeerde dichtheden en de berekende Bray Curtis similarity index (februari 2019). De stations rondom het Slow Mill anker (1-13) zijn weergegeven als zwarte puntjes. Stations ten westen (dieper) van het anker met licht blauwe punten ($>4200\text{m}$ vanaf strandvoet) en stations aan de kustzijde als rode en groene stippen ($<3600\text{m}$ vanaf strandvoet) waarbij de groene stippen stations vertegenwoordigen die in het gebied van de brekerbanken liggen.

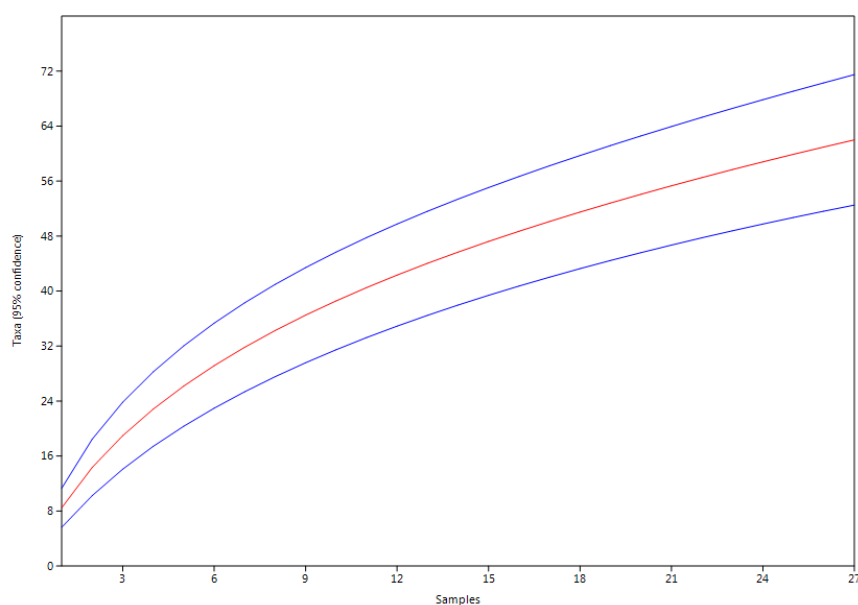
Een andere manier om de soortensamenstelling en abundantie weer te geven is door middel van diversiteit indices. Deze indices geven informatie over de verdeling van individuen over de verschillende soorten en vertellen in hoeverre bepaalde stations door 1 of enkele soorten gedomineerd worden. Deze diversiteit indices zijn tezamen met totaal aantal individuen, totale biomassa, afstand t.o.v. de kust en sedimentkarakteristieken ook gebruikt voor een ordinatie. Het resultaat (Figuur 9) is vergelijkbaar met de ordinatie op uitsluitend de abundantie per soort, maar de verschillen en similariteiten zijn wat extremer zichtbaar.

Op grond van het aantal soorten en hun verdeling over de stations kan met behulp van zogenaamde rarefaction curves geschat worden hoeveel procent van de soorten aangetroffen wordt als afhankelijke van het aantal monsters (Figuur 10). Wanneer deze analyse wordt uitgevoerd op de stations die buiten de brekerzone liggen dan blijkt dat met de stations direct om de Slowmill locatie

80% van de soorten gevonden wordt. Om in een later stadium met meer zekerheid uitspraken te kunnen doen over mogelijke veranderingen in de zacht substraat gemeenschap als gevolg van het plaatsen van het Slowmill anker zou het goed zijn om per locatie twee of meer boxcores te nemen (zie discussie).



Figuur 9. MDS ordinatie van station samenvattende grootheden ($\log(\text{density}+1)$, $\log(\text{AFDW})$, diversiteit en sedimentkarakteristieken (februari) en getransformeerde dichtheden en de daarop berekende Bray Curtis similariteits index. De stations rondom het Slow Mill anker (1-13) zijn weergegeven als zwarte puntjes. Stations ten westen (dieper) van het anker met licht blauwe punten (>4200m vanaf strandvoet) en stations aan de kustzijde als rode en groene stippen (<3600m vanaf strandvoet) waarbij de groene stippen stations vertegenwoordigen die in het gebied van de brekerbanken liggen.

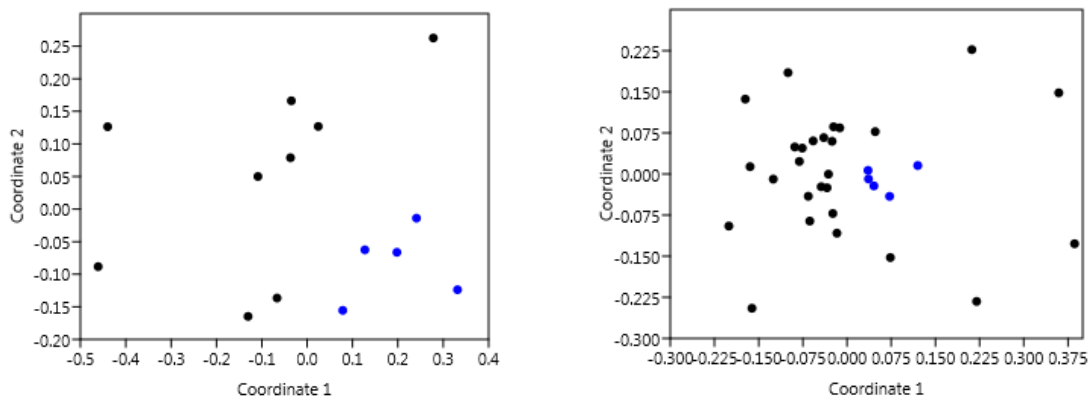


Figuur 10. Rarefaction curve gebaseerd op de monsters die in februari 2019 zijn verzameld. De rode lijn geeft het cumulatieve aantal aangetroffen soorten weer als afhankelijke van het aantal samples dat is geanalyseerd. De blauwe lijn geeft de 1σ bepaald door bootstrapping van de stations-soort abundantie tabel.

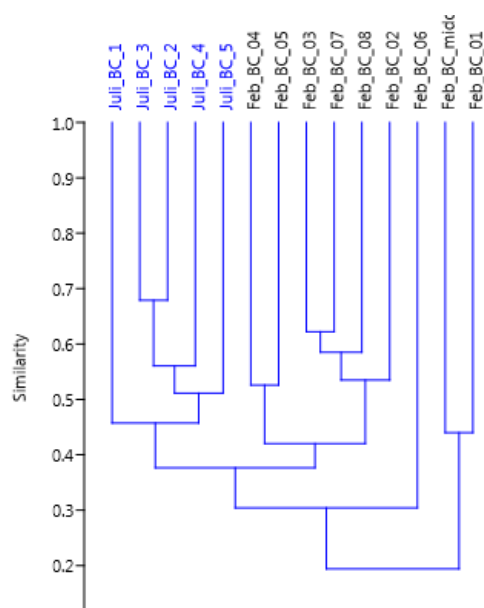
Juli bemonstering

In de 5 monsters die in juli werden genomen werd gemiddeld 15 verschillende soorten per monster gevonden. Dat is bijna het dubbele aantal ten opzichte van het gemiddeld aantal soorten dat in februari werd gevonden in de 12 samples die rondom de centrale (lander) locatie lagen. Het gemiddeld aantal individuen per station lag in juli een factor 2.5 hoger dan in februari.

In juli zijn in totaal 32 verschillende soorten aangetroffen in de boxcore monsters. Daarvan waren 14 soorten niet tijdens de bemonstering in februari. Multivariate vergelijking van de soortensamenstelling in juli t.o.v. de soortensamenstelling in februari laat zien dat t.o.v. het hele bemonsterde gebied de juli monsters wel tot dezelfde gemeenschap horen. Wanneer echter de vergelijking met uitsluitend de stations rondom de centrale (lander) locatie wordt gemaakt (Februari monsters 1 t/m 8) dan vormen de juli monsters min of meer een aparte groep (Figuur 11, Figuur 12). Waarschijnlijk is dit toe te schrijven aan het seizoenseffect waarbij "nieuwe" soorten de locatie koloniseren (of door groei in de monsters verschijnen, gezien het feit dat er gezeefd wordt over 1mm).



Figuur 11. MDS plot waarin de soortensamenstelling van de stations rondom de lander in februari (zwart) en juli (blauw) wordt vergeleken. Linker figuur is een vergelijking van alleen de stations rondom de centrale locatie (Slowmill ankersteen-lander). De rechter figuur maakt de vergelijking op grond van alle in februari bemonsterde locaties. Plot is gebaseerd op de Bray Curtis distance van de log+1 getransformeerde aantallen per soort.



Figuur 12. Cluster analyse van dichtheden en soortensamenstelling op grond van de Bray Curtis similarity waaruit duidelijk te zien is dat ondanks de geografische gelijkheid van de bemonsterde locaties de samples in juli (blauw) duidelijk onderscheidbaar zijn van de monsters die in Februari (zwart) zijn genomen.

Biodiversiteit hardsubstraat

Direct na de recovery van het meetframe (30 juli 2019) zijn van de aangroei een 4-tal schraapmonsters op vier verschillende hoogten verzameld (30, 80, 140 en 200cm). Ongelukkigerwijs is de labeling van de monsters door de war geraakt en kon achteraf niet meer achterhaald worden welk monster van welke hoogte kwam. Deze monsters zijn gefixeerd in 4 % formaline en later uitgezocht in het laboratorium. Hieronder een overzicht van de aangetroffen soorten per monster met een annotatie van het (geschatte) aantal individuen.

Sample 1

Bemonsterd oppervlak $\pm 8 \times 4.5$ cm

Basis van het bemonsterde materiaal bestaat uit meest dode zeepokken (*Balanus crenatus*), met daarop een laag van vele honderden jonge mossels (*Mytilus edulis*), schelpenlengte variërend van 1-11 mm. Op de mossels bevinden zich spaarzame toefjes Bryozoa (*Electra pilosa*) en enkele kleine takjes van de hydroïd *Ectopleura larynx*. Massaal aanwezig tussen de jonge mossels zijn kokertjes van de amphipode *Jassa herdmani*, een soort die op scheepswrakken voor de kust algemeen voorkomt. Andere soorten die werden aangetroffen waren 12 exemplaren van de anemoon, *Sagartia spec*, de polychaeten *Phyllodoce mucosa* (2×), *Eunereis longissima* (4X) en *Capitella capitata* (1×). Amphipoden soorten die werden aangetroffen waren *Microprotopus maculatus*, (3×), *Monocorophium insidiosum* (3×) en de zeer talrijke *Jassa herdmani* (>200 ×).

Sample 2

Bemonsterd oppervlak ca. 10×7 cm

Basis van het materiaal bestaat uit een ± 1.5 cm dikke laag van meest levende zeepokken (*Balanus crenatus*), met daarop kolonies *Electra pilosa* en kale takjes van de hydroïd *Ectopleura larynx*. Tussen de Bryozoa en hydroïden vele honderden jonge mossels (*Mytilus edulis*), schelpenlengte 0.5-12 mm. Overall kokertjes van de amphipode *Jassa herdmani*. Overige organismen die in dit monster werden aangetroffen waren de zeeanemonen *Metridium senile* (3×) en *Sagartia troglodytes* (2×). Tussen de aangroei was ook iets zand gesedimenteerd waartussen de tweekleppigen *Venerupis corrugata* (1×,

5.6mm) en *Abra alba* (1×, 2.6 mm) werd en gevonden. Er werden 5 soorten polychaeten gevonden. Dit waren *Harmothoe impar* (1×), *Phyllodoce mucosa* (1×), *Eumida sanguinea* (1×), *Eunereis longissima* (1×) en *Lanice conchilega* (2×). Van de amphipoden was *Jassa herdmani* met vele honderden vertegenwoordigd en verder werden er 15 exemplaren van *Microprotopus maculatus* gevonden. Er werden ook twee soorten krabben gevonden. Dit waren *Pisidia longicornis* (1×) en 2 exemplaren van de strandkrab (*Carcinus maenas* (6.5 mm en 3 mm groot).

Sample 3

Bemonsterd oppervlak ca. 8.5 × 6 cm

Basisbegroeiing bestaat uit ca. 30 levende zeepokken (*Balanus crenatus*), en vooral de hydroid *Ectopleura larynx*. Tussen de *Ectopleura* 20 jonge mossels *Mytilus edulis*, schelpenlengte ca. 6 mm. De *Ectopleura* is verder begroeid met de bryozoo *Electra pilosa*. Overal kokertjes van de amphipode *Jassa herdmani*. Deze hardsubstraat begroeiing gaf verder woonruimte aan *Eumida sanguinea* (polychaeta), een zeenaaktslak (*Gatriona gymnota* (4× + eisnoer) en *Facelina bostoniensis*, (1 ex + 2 eisnoeren). Er werden 3 soorten amphipoden gevonden. Meest talrijk was weer *Jassa herdmani* die met vele honderden voorkwam. *Microprotopus maculatus* (15 ex) en van *Monocorophium insidiosum* werd 1 exemplaar gevonden. Verder werd 1 kleine *Pisidia longicornis* gevonden.

Sample 4

Bemonsterd oppervlak ca 6 × 4.5 cm

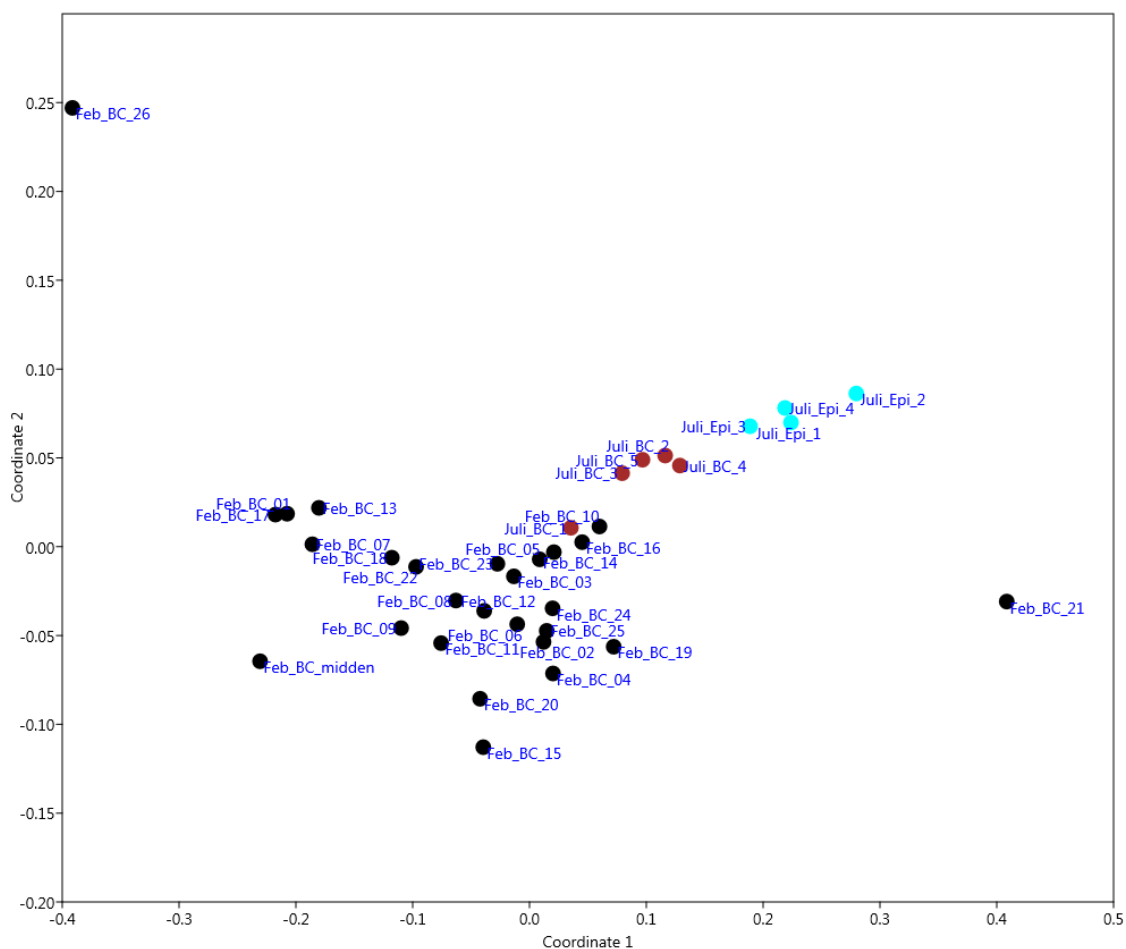
De basisbegroeiing van dit steekmonster bestaat uit een aaneengesloten laag van levende zeepokken (*Balanus crenatus*), van ca 1 cm dik. Daarop zitten 50-70 jonge *Mytilus edulis* (10 mm en kleiner), veel *Electra pilosa* en enkele kolonies van de hydroid *Ectopleura larynx*. Er waren veel kokertjes van de amphipode *Jassa herdmani* aanwezig. In het monster zaten enkele takken van de hydroid *Obelia bidentata*, waarvan niet duidelijk is, of deze daadwerkelijk op de lander gevestigd waren, dan wel als losse takjes waren ingevangen. Deze takjes waren tamelijk versleten en begroeid met *Electra pilosa*. Net als in de andere monsters werden er in de aangroei een aantal vrijlevende organismen gevonden, waaronder 2 exemplaren *Myrianida prolifera* (Polychaeta), 4 exemplaren van de zeenaaktslak *Catriona gymnota*. Van de Amphipoda was *Jassa herdmani* zeer sterk vertegenwoordigd met meer dan 300 exemplaren. Verder werd *Microprotopus maculatus* gevonden (10-20 ×).

Vergelijking hard-zacht substraat

Figuur 13 geeft een MDS plot waarbij de hard substraat samples zich duidelijk onderscheiden van de boxcore samples (dichtheden en soortsaamenstelling), maar dat een dergelijk verschil, ook zichtbaar is tussen de monsters uit februari en juli.

In totaal werden er op/in de aangroei op de lander 24 verschillende soorten aangetroffen waarvan 18 soorten uniek waren en niet voorkwamen in de zacht substraat monsters (februari + juli).

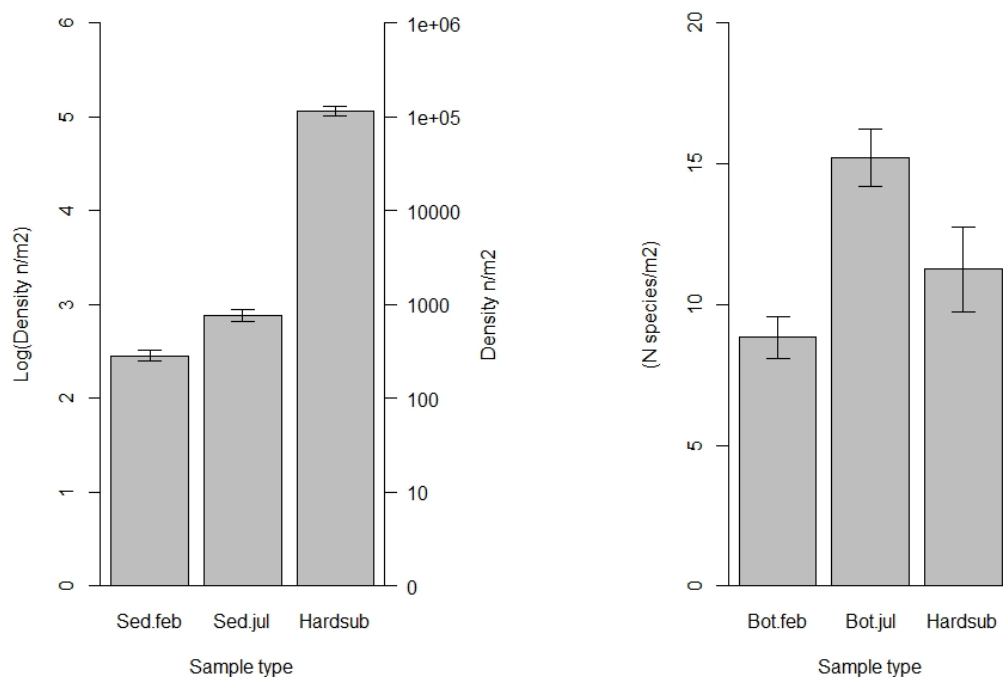
Het totaal aantal soorten dat in de kustzone nabij het (hard + zacht substraat) is aangetroffen stijgt daarmee van 76 naar 94. Ten opzichte van het totaal aantal soorten in de bemonsterde kustzone is dit een toename van ~25%. Eerdere analyse van de boxcore monsters (februari) liet echter zien dat de zeer nabije kustzone door zijn geringe diepte sterk afwijkt van de stations rondom de centrale locatie. De stations vlak bij het strand kenmerken zich door een aantal soorten die niet rondom de ankersteen (4 km uit de kust) voorkwamen. Daarom is bovenstaande vergelijking nogmaals gemaakt maar dan door alleen de monsters te analyseren die rondom de centrale locatie zijn bemonsterd. Dan blijkt dat de procentuele toename van het aantal soorten op de ankerlocatie door de aanwezigheid van hard substraat feitelijk hoger is en stijgt (afhankelijk van het seizoen feb-juli) van 35-50 soorten tot 53-68 soorten. Dit is een toename van 51-36 %.



Figuur 13. MDS plot van de Bray Curtis similariteit van de log getransformeerde dichtheden van boxcore monsters in Februari (zwart), juli (Bruin) en de aangroei monsters (Blauw). De stations feb_BC_26 en feb_BC_21 zijn afwijkend door respectievelijk hun ligging in de breker zone vlak bij het strand en de massale aanwezigheid van de rif vormende soort *Lanice conchilega*.

De dichtheden van de aangetroffen hard-substraat soorten zijn t.o.v. de zandige bodem buitengewoon hoog. Er zijn hard substraat oppervlakten bemonsterd van tussen de 27 en 70 cm² met daarin honderden organismen. Het aantal individuen per vierkante meter (313) dat is aangetroffen in de 12 boxcore monsters (februari) die direct rondom de locatie van de ankersteen liggen is vergeleken met het aantal individuen per vierkante meter aangroei (122624) zoals aanwezig op de lander, laag. Dus op en in de aangroei worden bijna 400 × zoveel individuen gevonden wanneer vergeleken met het natuurlijk zandig sediment.

Het waargenomen verschil suggereert dat de lokale secundaire productie door de aangroei enorm is toegenomen. Deze verschillen in aantal soorten en aantal individuen tussen zacht en hard substraat zijn samengevat in figuur 14. Rarefaction analyse laat zien dat met 1 schraapmonster van het harde-substraat (1/4) al bijna 50 % van de aanwezige soorten wordt gevonden. Voor het zacht substraat vind je met 1 monster tussen de 14 (hele gebied) en 25% (alleen rondom centrum locatie) van de soorten. Dit suggereert dat de hardsubstraat aangroei behoorlijk homogeen van samenstelling is.



Figuur 14 Vergelijking van het aantal individuen per vierkante meter in februari (Sed.feb) , juli (Sed.jul) op de natuurlijke zandbodem en hardsubstraat (Hardsub) (let op logaritmische schaal). Rechter panel geeft de vergelijking van het aantal soorten per sample in februari (Bot.feb), juli (Bot.jul) en op het hardsubstraat (Hardsub).

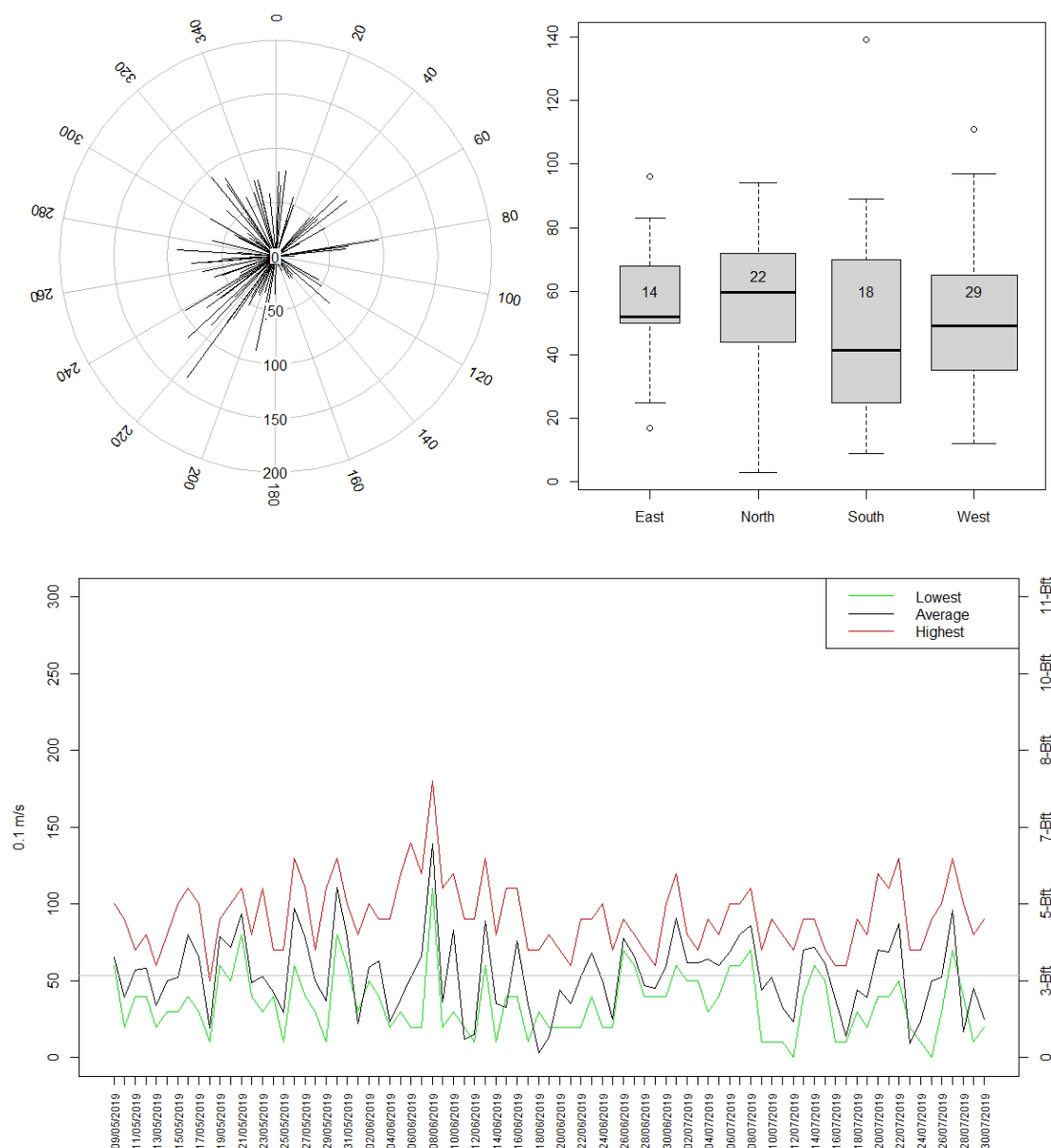
Abiotiek

Wind

Windsnelheid en richting bepalen golfhoogtes en -richting, maar heeft ook een sterke invloed op residuele stroomrichting en maximum stroomsnelheden. Dagelijks geaggregeerde winddata van het KNMI station Vlieland (4.921°E 53.241°N) is voor een analyse gedownload (<http://projects.knmi.nl/klimatologie/daggegevens/selectie.cgi>) om daarmee beter inzicht te kunnen krijgen in de verschillen in golf- en stroomcondities tijdens de deployment periode (9 mei-30 juli 2019). De resultaten zijn samengevat in figuur 15 wat laat zien dat de gemiddelde windsnelheid in de onderzoeksperiode 5.3 m/s (3Bft) was en dat de wind uit alle mogelijke richtingen heeft geblazen. De mediane richting was zuidwest (223 degrees). Het geregistreerde maximale uurgemiddelde was 18 m/s (7-8Bft) en werd gemeten op 8 juni. Voorafgaand aan de storm werd een pieksnelheid van 31 m/s gemeten (11Bft).

Temperatuur en Saliniteit

Figuur 16 laat het verloop van temperatuur en saliniteit zien. In de onderzoeksperiode loopt de temperatuur op van 10.6 graden begin mei, tot 20.8 graden eind juli. Voor de periode dat windsnelheden laag waren is een duidelijk getijcyclus aanwezig waarbinnen de saliniteit met enkele $\frac{1}{10}$ promille varieert (Figuur 17). De gemiddelde dagelijkse temperatuurvariatie is 0.4 graden. De gemiddelde saliniteitsvariatie is 0.43 PSU.

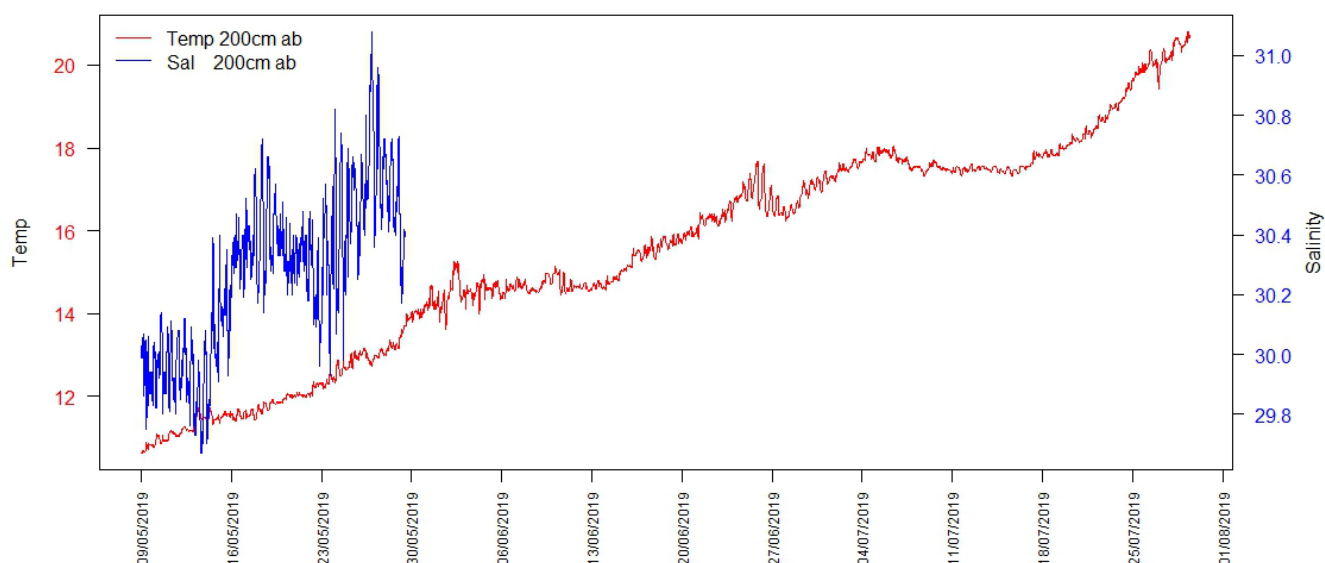


Figuur 15. Samenvatting van de windcondities tijdens de deployment periode. Winddata zijn verzameld door het KNMI op Vlieland. De radiaalplot (linksboven) laat zien dat de wind tijdens de onderzoeksperiode daadwerkelijk uit alle verschillende windrichtingen kwam. Hoogste dagelijks gemiddelde snelheden werden gemeten voor de zuidwestelijke windrichting. De boxplot (rechtsboven) geeft de windsterkte per kompas richting weer. De nummers in de plot geeft het aantal dagen dat de wind uit corresponderende richting kwam. De lijngrafiek geeft de tijdserie van dagelijks gemiddelde windsnelheid, laagste uurgemiddelde en hoogste uurgemiddelde weer. Piekwaarden (niet weergegeven) van 31 m/s (11 Bft) kwamen voor voorafgaand aan de storm op 8 juni.

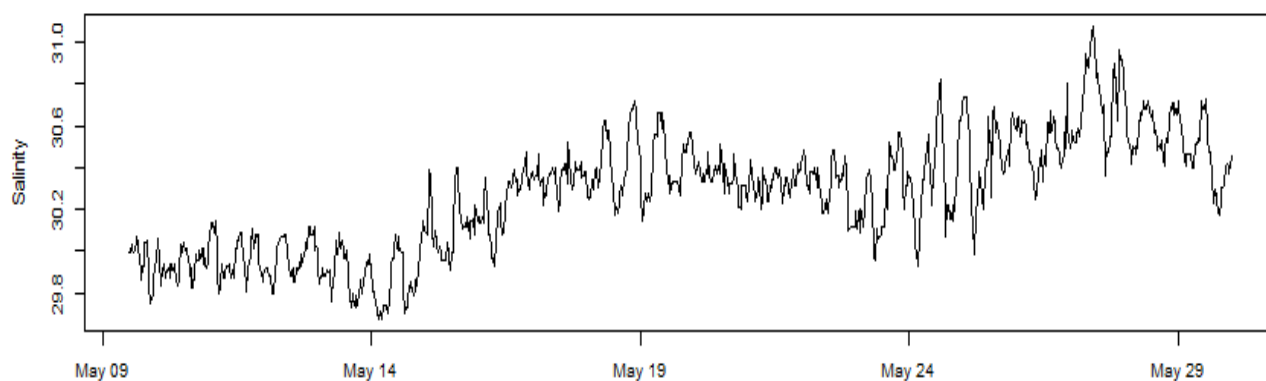
Stroomsnelheden

De aquadop stroommeter was dusdanig ingesteld dat elke 10 minuten de stroomrichting en sterkte op een afstand van 1 meter buiten het frame werd gemeten. In figuur 18 is voor 3 aparte weken de stroomsnelheid geplot. De windcondities in die 3 perioden verschillen van elkaar. In alle periodes is een duidelijk onderscheid te zien tussen de stroomsterkte tijdens eb en vloed. Daar waar de gemiddelde sterkte van de ebstroom in de drie verschillende periodes min of meer gelijk blijft (~ 0.2 m/s) is het vooral de vloedstroom die variaties laat zien. Tijdens de storm op 8 juni (8 Bft) verdwijnt de ebstroom zelfs helemaal en neemt de maximale stroomsnelheid toe tot bijna 100 cm/sec. Wat verder opvalt is dat eb en vloed zeer snel van richting veranderen. Een samenvatting van de totale dataset is gegeven in de vorm van een stroomroos in figuur 19. In Figuur 20 is voor 3 aparte getijcycli,

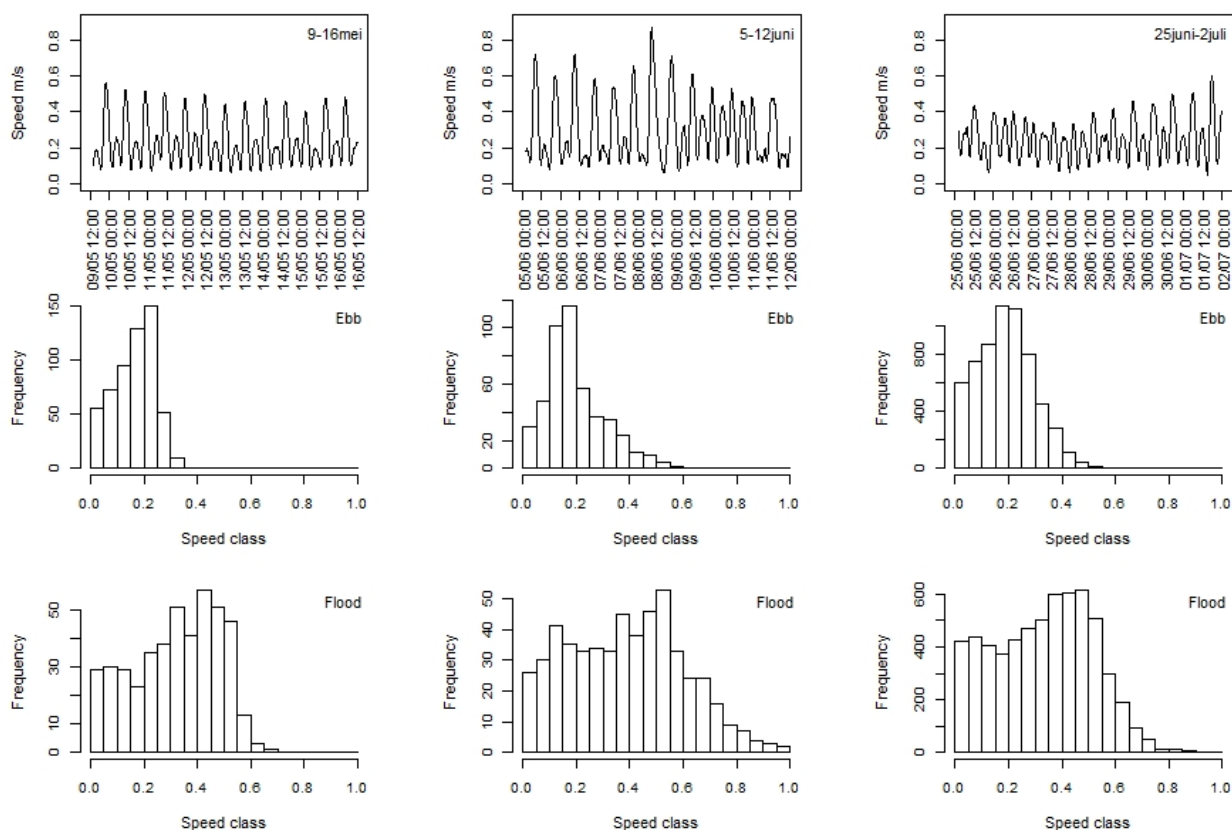
tijdens gemiddelde, stormachtige en kalme condities het virtuele partikel traject geplot. Duidelijk is dat tijdens de storm op 8 juni de noordelijke component van de stroomsnelheid uitsluitend positief is. Tijdens de hele rustige condities op 25 juni is er een duidelijke oost-west component.



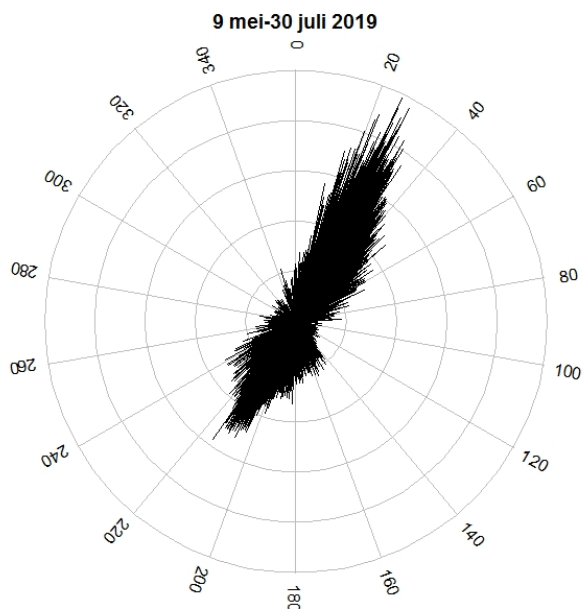
Figuur 16. Saliniteits- en temperatuurverloop gedurende de deployment periode van het meetframe. Door overgroei van de conductiviteitsensors zijn de saliniteitswaarden vanaf 30 mei onbetrouwbaar.



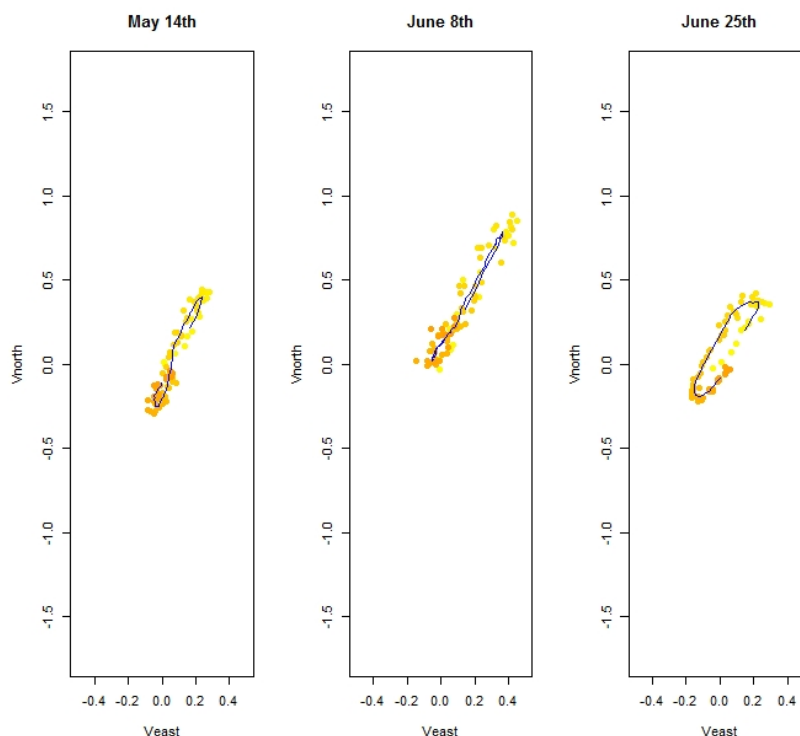
Figuur 17. Saliniteitswaarnemingen gedurende de 1^e 3 weken van de deployment periode. Duidelijk is het getijdeffect op de saliniteit waarneembaar.



Figuur 18. Stromingscondities in 3 verschillende periodes geselecteerd uit de hele deployment periode. De periode 9-16 mei wordt gekenmerkt door een gemiddelde windkracht van 3 Bft. De periode van 5-12 juni wordt gekenmerkt door een sterke zuidwesterstorm op 8 juni. De periode van 25 juni tot 2 juli is een hele rustige periode. Voor iedere periode zijn de frequentieverdeling van de gemeten stroomsnelheden tijdens eb en vloed gegeven. Duidelijk is dat de stroomsnelheden tijdens vloed hoger liggen dan tijdens eb.



Figuur 19. Stroomroos waarbij de richting van de vectoren overeenstemt met de stroomrichting t.o.v. het magnetisch noorden. De lengte van de vectoren geeft de gemeten stroomsnelheid in eenheden van 0.2m/s. De overheersende stroomrichting loopt in NNW richting (210-230 graden) parallel aan de Noordzeekust van Texel.



Figuur 20. Virtuele partikel trajecten door voor een individuele getijcyclus de noord en oost snelheidscomponent van de stroomsnelheid te plotten voor 3 uiteenlopende condities voor (14 mei) tijdens (8 juni) en na de storm in bijna windstille condities (25 juni) te plotten.

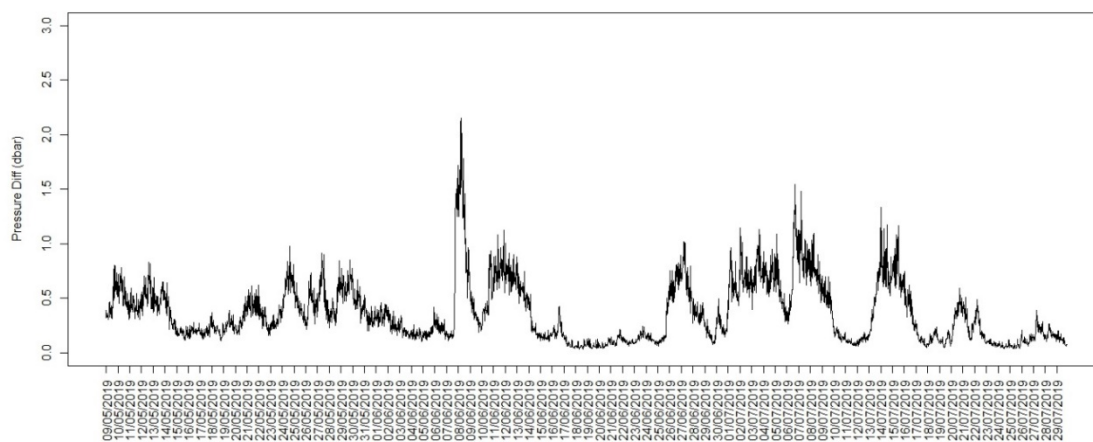
Golfhoogten en periode

Op het meetframe was een NORTEC AWAC-AST geplaatst waarmee met hoge frequentie golfmetingen uitgevoerd kunnen worden op basis van waterdruk en de bepaling van de water-lucht grens (Acoustic Surface Tracking) en een combinatie van waterdruk en snelheidsmetingen. Op grond van hydrostatische druk wordt de minimale golfhoogte die gemeten kan worden bepaald door de waterdiepte in combinatie met de gevoeligheid van de druksensor. De kleinste golven die nabij de bodem geen drukverandering veroorzaken worden bij deze methode onderschat. Meting van de locatie van het wateroppervlak door geluidsgolven is betrouwbaarder. Het instrument heeft in burst mode gemeten (zie materiaal en methode).

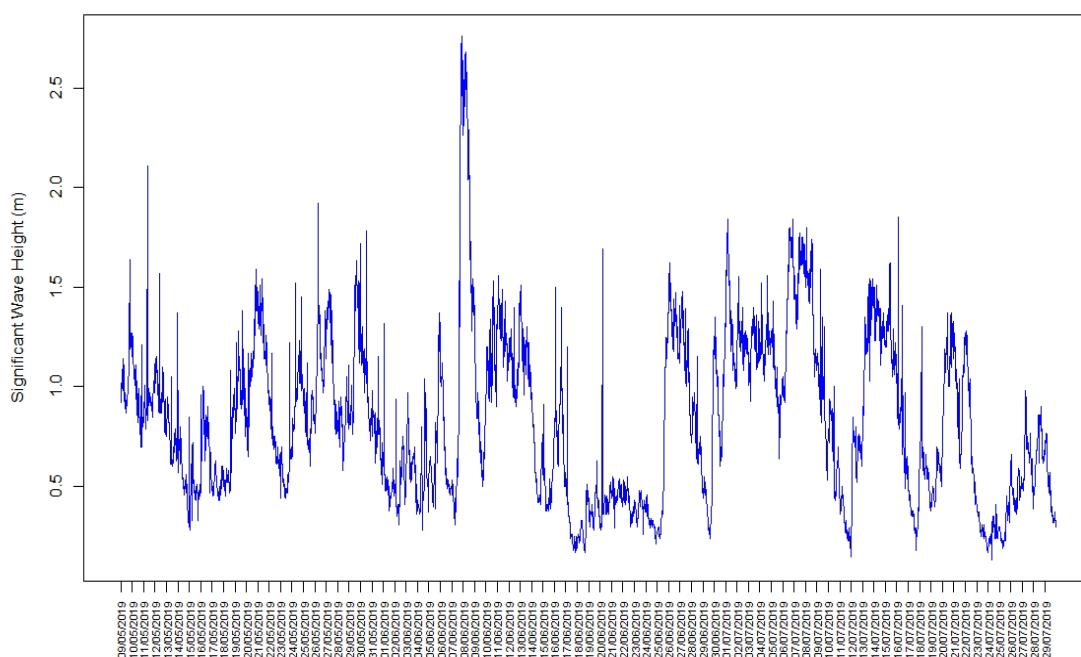
In figuur 21 is het maximale drukverschil per burst geplot langs een tijdas. De zomerstorm van 8 juni springt er als piek duidelijk uit. Geschatte golfhoogten op grond van de drukverschillen waren toen iets meer dan 2 meter. 17 tot 25 juni worden gekenmerkt als een zeer kalme periode met golfhoogten lager dan 0.5m veroorzaakt door een variabele zwakke wind uit oostelijke richtingen in het laatste deel van de periode. Op 25 juni was de windsnelheid 2.5 m/s. Hoewel door de relatief geringe waterdiepte de verschillen tussen beide meetmethoden (druk-surfacetracking) niet heel groot waren kan meer detail uit de laatste methode gehaald worden zoals golfrichting en de spreiding daarin omdat ook de bewegingsrichting van de golven geregistreerd wordt.

In figuur 22 is de significante golfhoogte op grond van surface tracking weergegeven. Significante golfhoogte is gedefinieerd als het gemiddelde van hoogste 1/3 deel (quantiel) van de (gerankte) gemeten golfhoogtes (per tijdseenheid=burst). In de grafiek is dit gemiddelde per burst uitgezet langs een tijdas. Over de meetperiode laat dit hetzelfde verloop zien als de golfhoogten bepaald op grond van maximale drukverschillen maar piekhoogten zijn iets groter (en betrouwbaarder) door het verschil in methodiek. Tijdens de storm van 8 juni worden significante golfhoogten (o.g.v. Surface Tracking) van meer dan 2.5 meter gemeten.

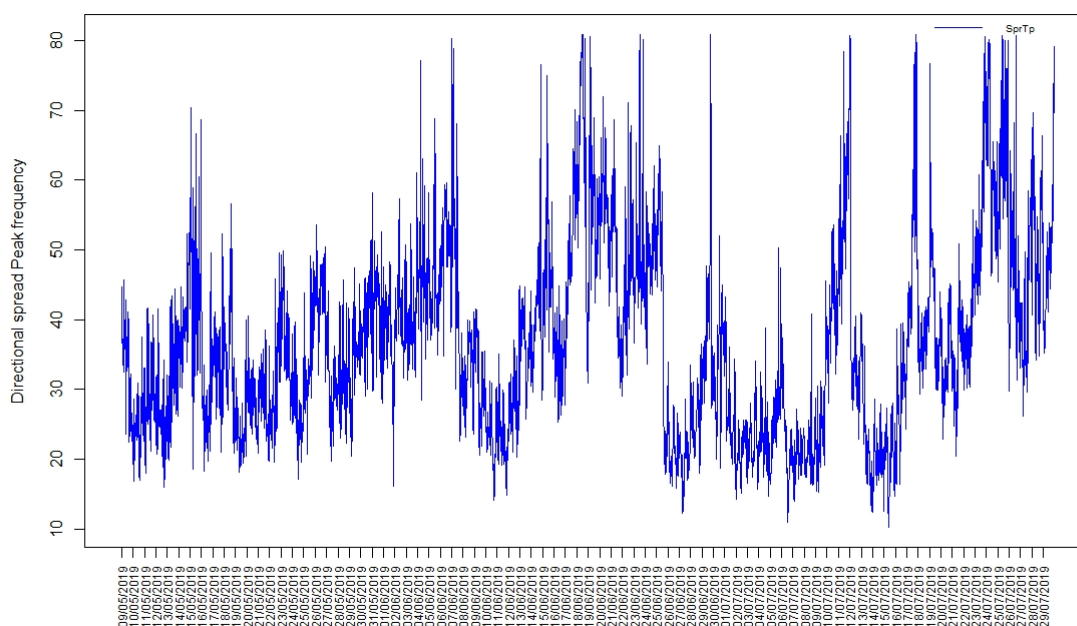
Voor kust engineering wordt ook gekeken naar de 10% hoogste golven (H10) en maximaal gemeten golfhoogte (Hmax) omdat deze extremen maatgevend kunnen zijn. De maximale golfhoogte die over de hele periode (alle bursts) werd gemeten bedroeg 4.87 meter en viel samen met de storm op 8 juni. Gemiddelde golfparameters voor de hele periode (mei-juli 2019) zijn samengevat in tabel 3. De richting van waaruit de golven komen is ook van belang. Vooral voor hun energie inhoud. Met de richting verandert ook de spreiding en die varieert tussen de 15° en 80° (figuur 23). Vergelijking van de twee figuren laat zien dat er een inverse verband bestaat tussen golfhoogte (windsterkte) en spreiding. Bij grote golfhoogten en veel wind is de golfrichting sterk gefocust terwijl bij zwakke wind de golven uit een brede range van richtingen komen. De spreiding van golven uit noordelijke richting is lager is dan bij golven uit andere richtingen. Golven uit noordelijke richtingen zijn qua richting veel nauwer gedefinieerd dan golven uit westelijke richting die veel meer richtingsvariatie laten zien (Figuur 24).



Figuur 21. Het maximaal gemeten drukverschil per burst als indicatie voor de golfhoogte. Dit geeft een minder volledig overzicht van het golfspectrum dan wanneer gebruikt wordt gemaakt van surface tracking. Dit komt door de ongevoeligheid van de druksensor voor de kleinste drukverschillen in combinatie met de waterdiepte van de meetlocatie.



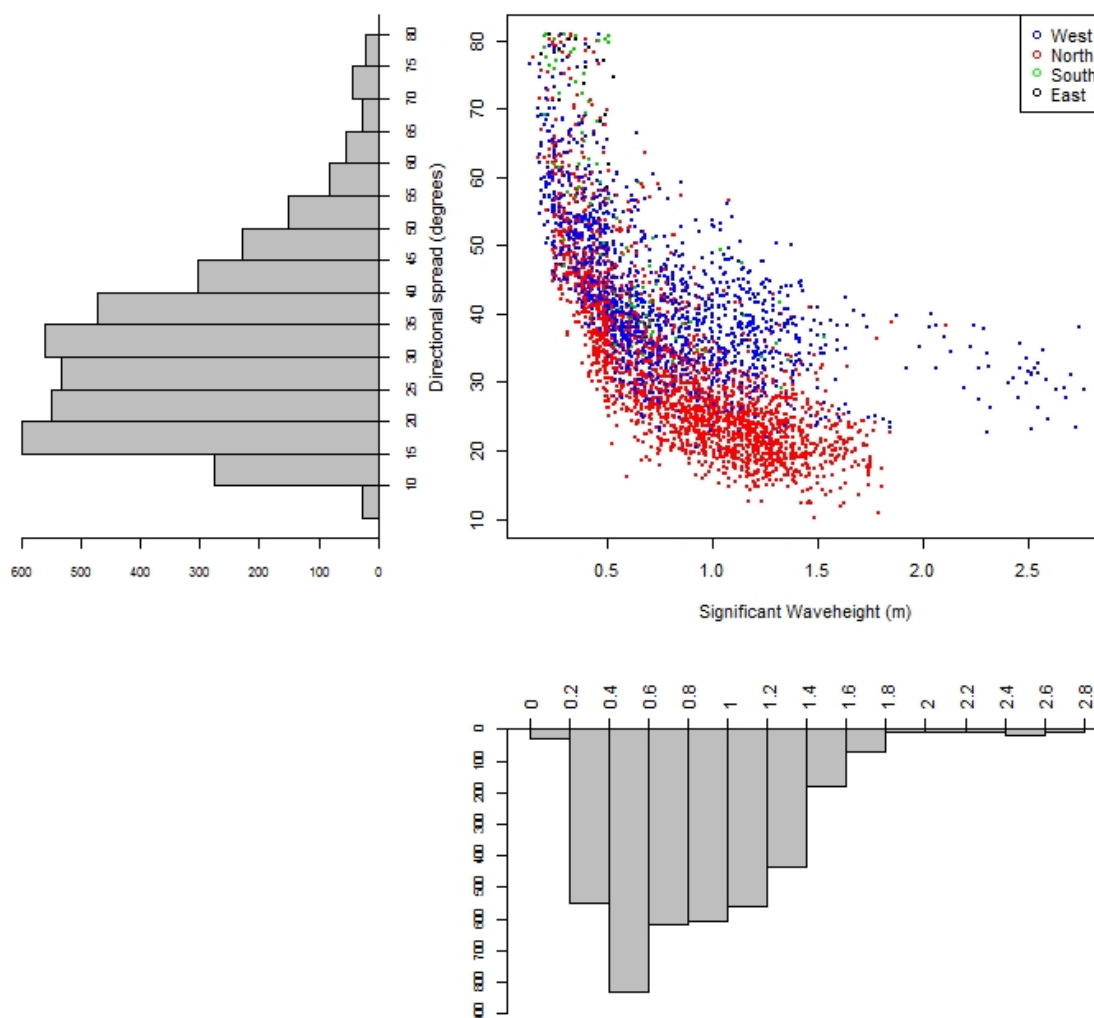
Figuur 22. Significante golfhoogte (per burst) op grond van surface tracking. Tijdens de storm op 8 juni worden golfhoogten gemeten van meer dan 2.5 meter. De figuur laat hetzelfde tijdsverloop zien als het verloop van golfhoogten gebaseerd op waterdruk (figuur 21), maar geeft wel een exacter beeld,



Figuur 23. Spreiding van golfrichting voor golven in de piekperiode. Spreiding in golfrichting neemt af naarmate de windsterkte toeneemt en de golven hoger worden.

Table 3. Overzicht van de gemiddelde golfparameters, periode and hoogte over de gehele onderzoeksperiode. De gemiddelden zijn gebaseerd op de gemiddelden over individuele bursts. De waarden zijn gegeven ongeacht golf richting en ook uitgesplitst per golfrichting. De kompasrichting is daarbij gedefinieerd als: North=315-45°; East=45-135°; South=135-225° and West=225-315°. T3 = gemiddelde periode geassocieerd met 33% grootste golven (significante golfhoogte, op basis van de tijdserie), T10=gemiddelde periode van de 10% grootste golven; Tmax=gemiddelde periode geassocieerd met de grootste golven per burst.; Tp=Periode geassocieerd met de energierijkste golven. Hmean=Gemiddelde golfhoogte, H3=Gemiddelde golfhoogte van de 30% hoogste golven(gebaseerd op de tijdserie); Hm10=golfhoogte van hoogste 10% van de gemeten golven; Hmax=gemiddelde van hoogst gemeten golven, Hm0=significante golfhoogte, gebaseerd op het energie spectrum. H3 en Hm0 kunnen 5% verschillen maar geven in principe dezelfde grootte weer.

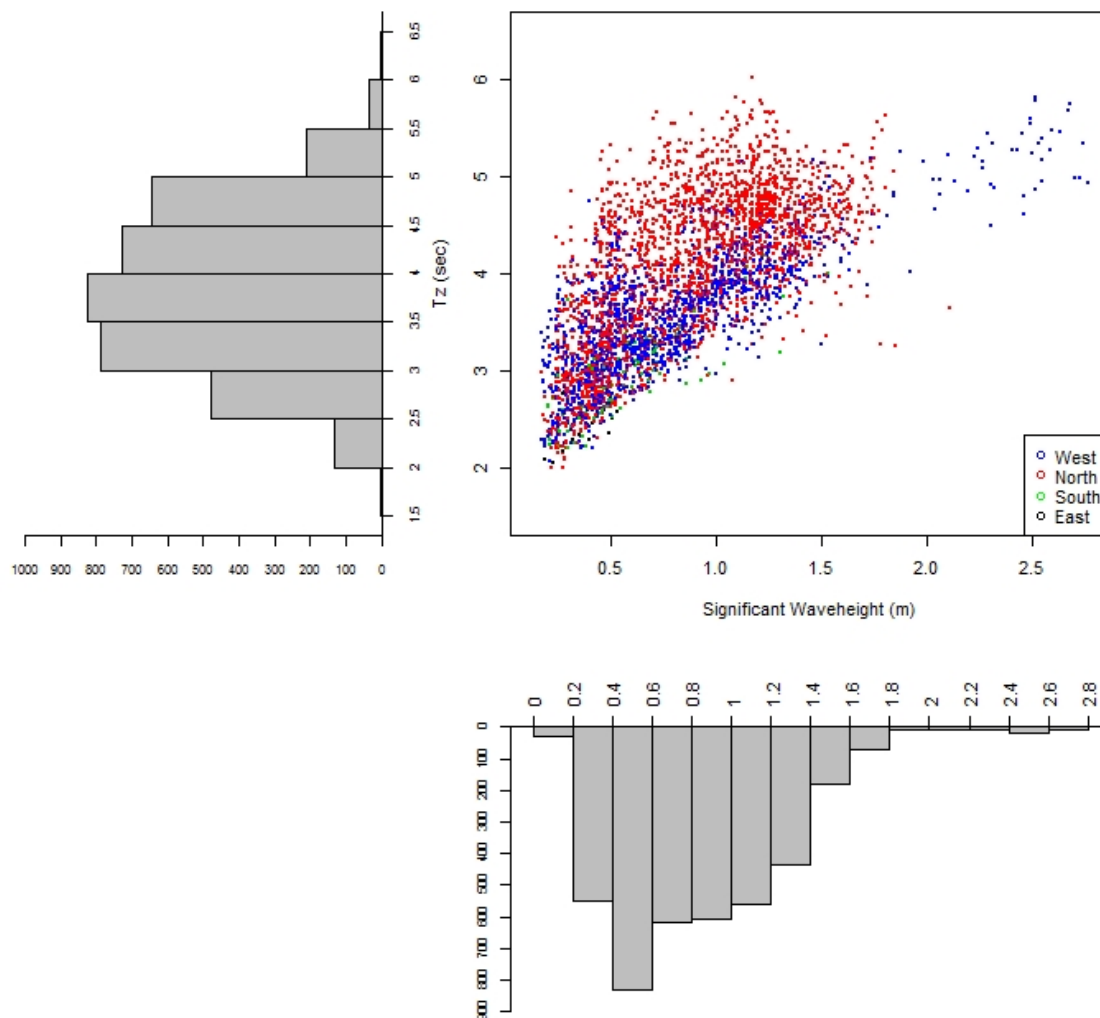
Gemiddeld over hele periode	All dir. gemiddeld	Range	North	East	South	West
mean Period (Tm02) (sec)	3.5	1.8-6.9	3.7	2.3	2.7	3.3
mean T3 (sec)	4.8	2.2-8.8	5.2	2.8	3.4	4.3
mean T10 (sec)	5	2.2-9.8	5.4	2.9	3.4	4.4
mean Tmax (sec)	5.0	1.5-16	5.5	3.0	3.4	4.4
mean Tp (sec)	5.8	1.7-12.1	6.5	2.4	3.3	4.8
mean Hmean (m)	0.48	0.1-1.7	0.50	0.21	0.33	0.47
mean H3 (m)	0.77	0.1-2.6	0.80	0.32	0.52	0.74
mean Hm10 (m)	0.93	0.2-3.1	0.96	0.40	0.65	0.91
mean Hmax (m)	1.24	0.2-4.8	1.26	0.57	0.88	1.21
mean Hm0 (m)	0.8	0.1-2.8	0.82	0.37	0.57	0.78



Figuur 24. Spreiding in golfrichting als afhankelijk van de Significante golfhoogte met bijbehorende frequentieverdelingen van richtingspreiding en significante golfhoogte. De kleuren in de scatterplot geven de golfrichting aan. Het is duidelijk dat golven uit noordelijke richting een veel kleiner richting spectrum hebben dan golven uit westelijke richting.

In tabel 3 zijn ook de golfperioden opgenomen en laat zien dat deze over de hele periode, ongeacht golfrichting 3.5 seconde (o.g.v. zerocrossing) is. De piekperiode is 5.8 seconden. In de onderzoeksperiode (9 mei-30 juli) wordt het golfregime gedomineerd door golven uit noordelijke richting (61%) gevolgd door golven uit westelijke richting (36%). Golven uit oostelijke en zuidelijke richting komen in slecht 3% van de gevallen voor. Dit is een redelijk afwijkende verdeling t.o.v. wat verwacht wordt op grond van de normalerwijze overheersende zuidwestelijke winden over een heel jaar. Op Vlieland werd in de onderzoeksperiode gedurende 26% van de dagen winden uit noordelijke richting gemeten. Dit illustreert dat een deel van de golven uit noordelijke richting door windvelden elders boven de Noordzee werden bepaald.

De data laten verder zien dat de golven uit noordelijke richting de langste perioden hebben en daardoor het meest energierijk zijn (Fig 25). Golven uit oostelijke richting hebben een gemiddelde hoogte van 20cm. Niet verwonderlijk omdat de Slowmill locatie 4 km uit de kust van Texel ligt en de locatie dus bij oostenwind in de luwte van het eiland ligt.



Figuur 25. Plot van golfperiode als afhankelijke van de significante golfhoogte uitgesplitst naar richting. De histogrammen geven de frequentieverdelingen van T_z en en significante golfhoogte weer. De golven uit noordelijke richting hebben bovengemiddelde periodes (zie ook tabel 2).

Turbiditeit, fluorescentie & licht

Turbiditeit, Chlorofyl en licht konden succesvol gemeten worden tot 30 juni. Daarna neemt de aangroei op het meetframe en instrumenten dusdanig toe dat, ondanks dat de instrumenten voorzien zijn van "wipers", het vrije zicht van de sensoren beperkt werd.

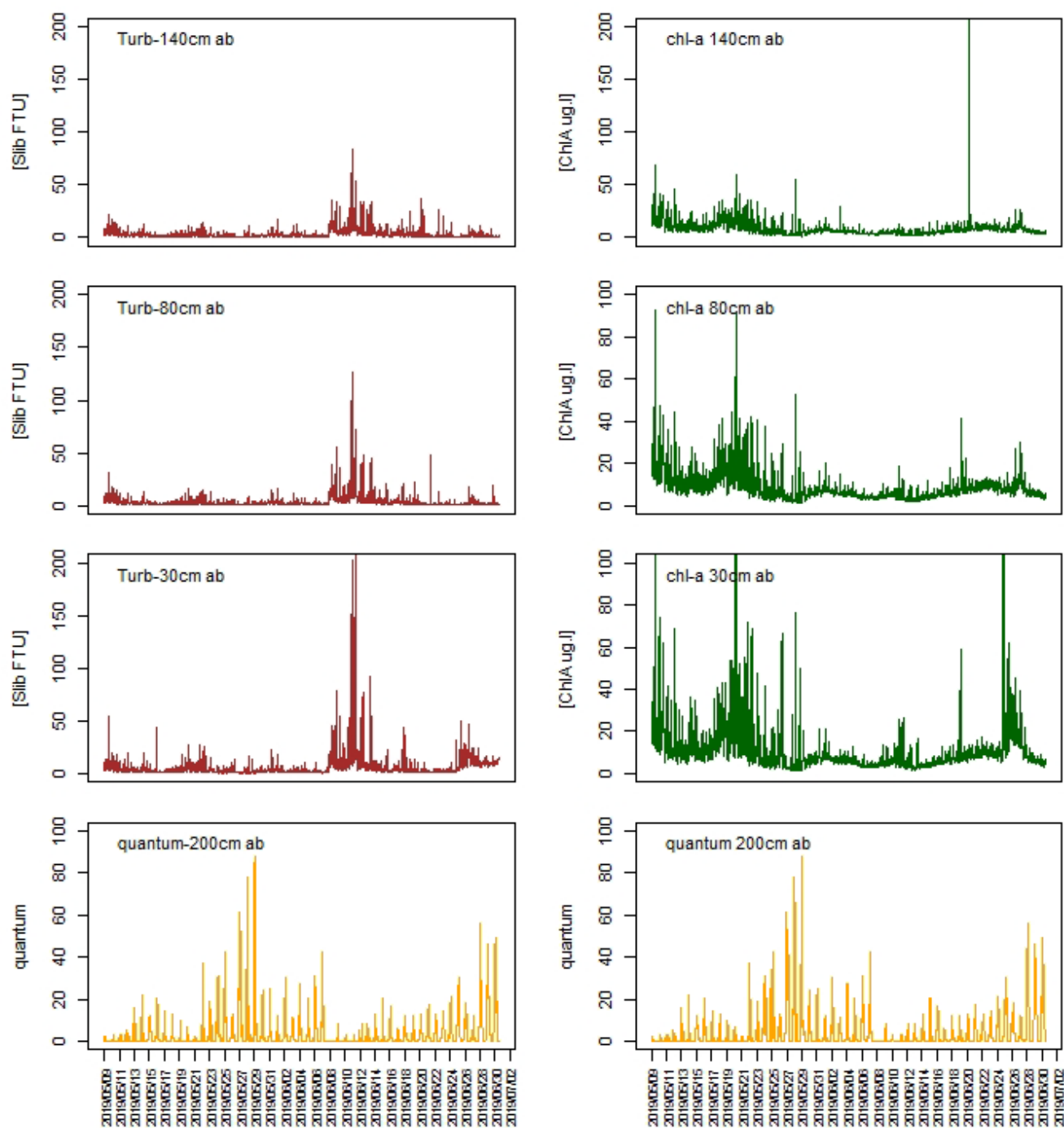
De tijdserie start aan het eind van de voorjaarsbloei, maar de data laat zien dat halverwege mei ook nog een bloei plaats had. Gemiddelde concentratie chlorofyl in de meetperiode was $\sim 9 \mu\text{g/l}$.

Concentratie op 30 cm boven de bodem was 25% hoger in vergelijking tot de concentraties op 80 en 140 cm boven de bodem. Hetzelfde patroon bestaat voor SPM (Suspended Particulate Matter) waarvan de gemiddelde concentratie op 30 cm boven de bodem 60% hoger was in vergelijking met de gemiddelde concentraties op 80 en 140 cm. Zowel de chlorofyl als SPM-concentratie op 30 cm

boven de bodem, is significant hoger dan de concentraties op de andere twee hoogtes (Figuur 26). Het verschil in concentraties op 30 cm hoogte en de andere hoogtes is significant. Er is een duidelijk effect van wind en golven op de gemeten concentraties. De zomerstorm van 8 juni leidt tot piek concentraties van > 200 mg/l op 30 cm boven de bodem. Tegelijkertijd neemt de licht doordringing af. Dit laat duidelijk zien dat ook hoger in de waterkolom de slibconcentraties toenemen. De piekconcentraties van SPM nabij de bodem wordt gemeten na de storm als windsnelheden en golfhoogtes afnemen en geresuspendeerd fijn materiaal weer uitzakt en daardoor de concentratie vlak boven de bodem toeneemt. Verder suggereert de verschuiving in de tijd dat het materiaal (gedeeltelijk) door advectief transport van elders is aangevoerd. Het tijdsverschil tussen het optreden van de SPM-piek en de gemeten piek-windsnelheden en golfhoogten is 3 dagen. In de Chlorofyl concentratie wordt daags na de storm geen extreme piek concentratie gemeten. Dit suggereert dat het materiaal dat in suspensie is gekomen vooral anorganisch (slib) is. Kernwaarden van Chlorofyl en Turbiditeit metingen zijn samengevat in tabel 4.

Tabel 4. Kernwaarden van de gemeten chlorofyl en SPM-concentraties op 30, 80 en 140 cm boven de bodem. De range van gemeten waarden is tussen haakjes weergegeven.

	30 cm boven bodem	80 cm boven bodem	140 cm boven bodem
Chl-a (µg/l)	10.5 (3.4-27.3)	8.6 (3.2-22.4)	8.3 (3.1-21.2)
SPM (FTU)	5.82 (0.8-42.7)	3.42 (0.8-21.2)	3.15 (0.7-15.9)



Figuur 26. Tijdseries van Turbiditeit, Chlorofyl en Licht, gemeten op verschillende hoogten boven de bodem. Opvallend is dat na de storm van 8 juni de Turbiditeit enorm toeneemt en daarmee de hoeveelheid licht die tot op 2 meter boven de bodem doordringt afneemt.

DISCUSSIE

Biodiversiteit

Zacht substraat.

In het kader van MWTL voert Rijkswaterstaat al sinds de begin jaren 90 van de vorige eeuw boxcore benthos bemonsteringen uit op 15 locaties in de kustzone (Daan en Mulder, 2009 en verwijzingen daarin). Het gebied strekt zich uit van de zuidelijke delta tot boven de waddeneilanden. Voorheen werden deze stations jaarlijks bemonsterd, tegenwoordig nog maar eens in de 3 jaar.

In recente jaren zijn er binnen dit RWS monitoringsprogramma extra stations bemonsterd, zo-ook in de kustzone. Eén van deze nieuwe stations ligt vlak voor de kust van Texel, 7 km ten noorden van de Slowmill en 2.5 km uit de kust. Hier werden in 2015 slechts 5 soorten aangetroffen. Op dit station is de faunadichtheid lager dan 500 individuen per vierkante meter maar de biomassa is met tussen de 40 en 80 gram AFDW (asvrijdrooggewicht) hoog (Leeuwis et al, 2017). Dit valt waarschijnlijk toe te schrijven aan het voorkomen van *Ensis leei*. De rapportage is hier niet duidelijk over.

Als de oudere (1994-2005) data (BIOMON) voor de kustzone (zie; Daan en Mulder, 2009) worden bestudeerd dan blijkt dat 17 soorten zeer algemeen voorkomen. Van deze algemene soorten ontbreken slechts 3 soorten op de Slowmill locatie. Qua dichtheid en biomassa is de Slowmill locatie (1751 ind/m²; 8-15 gr AFDW/m²) heel vergelijkbaar met gemiddelde waarden voor de hele kustzone (~2000 ind/m² en 8-13gr AFDW/m²). Dit illustreert dat rondom de Slowmill een typische kust gebonden benthos gemeenschap voorkomt die niet afwijkt van wat eerder of elders in de kustzone werd gevonden.

De boxcore bemonstering in februari en juli 2019 laat wel zien dat voor zowel de dichtheden als soortenrijkdom van de zachte bodem, het nogal wat uitmaakt wanneer er gemonsterd wordt. De juli monsters zijn qua abundantie 2.5 X zo rijk als de februari monsters en gemiddeld worden er in juli per monster 2 X zoveel soorten gevonden. Dit is een normaal patroon en deze verschillen zijn volledig terug te voeren op de seizoensdynamiek van het macrobenthos. Gedeeltelijk wordt dit veroorzaakt door vestiging van "nieuwe" soorten, later in het jaar onder meer gunstige condities, maar komt ook voort uit het feit dat juveniele stadia, door groei, pas later in het jaar in de monsters verschijnen. Ze waren in de winter nog te klein om op de zeef (1mm) achter te blijven en zijn daarom niet gevonden. Deze seizoensdynamiek is o.a. de reden dat voor benthosmonitoringsprogramma's bij voorkeur in het vroege voorjaar (Februari-April) gemonsterd wordt. Daarmee kunnen de lange termijn trends gebaseerd worden op residente adulte specimens en niet op de massale juveniele aanwas veroorzaakt door recente broedval, waardoor er van jaar tot jaar enorme fluctuaties op kunnen treden.

Door middel van een power analyse (Champely, 2020) is gekeken welke bemonsteringsinspanning nodig is om in de toekomst verschillen in het aantal zacht-substraat soorten te kunnen waarnemen. Het gaat daarbij niet om kwalitatieve data (soortveranderingen) maar uitsluitend om het aantal soorten. Deze analyse is uitgevoerd op de gegevens die verzameld zijn in februari op de stations die direct rondom de centrale locatie lagen (Stations 0-12, Fig. 2, Tabel 1). Wanneer in de toekomst eveneens 12 monsters verzameld worden dan kan met een power van 64 % een verandering in het aantal soorten van 33% aangetoond worden. Door 100 monsters te nemen kan de power toenemen tot 90%. Vergelijking van de soortensamenstelling met behulp van multivariate analysetechnieken lijkt een effectievere manier om eventuele veranderingen inzichtelijk te maken.

Een tweede power analyse laat zien dat veranderingen in de aantallen individuen (bijvoorbeeld een verdubbeling) met meer zekerheid zijn vast te stellen zolang de ruimtelijke spreiding van de stations beperkt blijft.

Er zijn niet veel studies waarin, voor de offshore Noordzee, is gekeken naar het effect van het plaatsen van een hard-substraat object op de soortensamenstelling van de bodem levensgemeenschap

vlak rondom het object. Coates et al (2011) is een van de weinige studies en daarom voor Slowmill hoogst relevant. De studie richt zich op het zowel het biotische als abiotische effect rondom een windmolenfundament op de Thornton Bank, in het Belgisch deel van de Noordzee.

Vlak rondom het fundament (1-7 meter) en in de stroomrichting waren de mediane korrelgrootte kleiner, total organic matter en de gemiddelde dichtheid van fauna veel hoger dan in andere richtingen.

De auteurs concluderen dat door het plaatsen van het fundament in een relatief soortarme omgeving, een meer diverse maar ook meer heterogene benthos levensgemeenschap is ontstaan. Ze dragen verschillende redenen aan voor deze verandering waaronder de veranderende hydrodynamica, veranderende sedimentsamenstelling door een hogere depositie van organisch materiaal (veroorzaakt door de fouling gemeenschap op het windmolenfundament), maar ook door spill-over effecten van het hard substraat waardoor er verhoogde aantallen typische hardsubstraat soorten op het zachte substraat worden gevonden. Een secundair effect lijkt de promotie van settlement door sleutelsoorten, die vervolgens voor stabilisatie van het sediment zorgen en daarmee de omgeving voor andere soorten geschikt maken. Het is dus aannemelijk dat de plaatsing van het Slowmill anker in principe eenzelfde uitstralend effect heeft op het omliggende zacht substraat en daarmee haar fauna.

Hard substraat

Het Slowmill anker heeft een direct biodiversiteitseffect doordat het oppervlak begroeit raakt met typische sessiele soorten. Hierover is in de literatuur veel informatie te vinden. Voor de Noordzee heeft onderzoek aan dit type fauna een "boost" gekregen door de aanleg van off-shore windmolenparken.

Kerckhof et al (2010) bestudeerden de vroege seizoenale ontwikkeling van zo een sessiele gemeenschap op een betonnen off-shore windmolenfundament. In totaal vonden zij over de hele diepterange van 0 tot 25 meter 63 soorten. Op een diepte van ongeveer 10 meter liep het aantal soorten op van ongeveer 10 soorten in februari tot iets meer dan 20 soorten in juli. Het door hen gevonden aantal soorten op deze diepte is dus goed vergelijkbaar met het aantal soorten dat in de aangroei op het lander frame is aangetroffen en welk op een diepte van ~12 meter stond. Een andere Belgische studie (Zintzen & Massin, 2010) bekeek de soortenrijkdom op een 10-tal scheepswrakken voor de Vlaamse kust. Een van de scheepswrakken lag op relatief ondiep water (9 meter) dicht onder de kust sinds 1942. De locatie lijkt qua omgevingscondities (dicht bij de kust, ondiep water) vergelijkbaar met de Slowmill locatie. Op dit wrak werden 21 soorten aangetroffen ondanks de zeer lange periode dat dit wrak gekoloniseerd kon worden. Op scheepswrakken of windmolenfundamenten die verder uit de kust liggen is het aantal gevonden soorten aanmerkelijk hoger (Zintzen et al 2010; Kerckhof et al, 2010). Dit suggereert dat het beperkt aantal soorten in de aangroei op een locatie dicht bij de kust met geringe waterdiepte, beperkt wordt door de abiotische condities. Michaelis et al (2019) geeft hier een plausibel mechanisme hiervoor. De schurende werking van door de stroming meegevoerd zand kan het onderste deel van het harde substraat kaal houden. Periodiek langs "wandelende" zandgolven of ribbels kunnen afwisselend hard substraat oppervlakten bedekken en bloot leggen. Deze twee processen houden de hardsubstraat gemeenschap daarmee in een pioniersstadium en beperkt daarmee het aantal soorten dat op een dergelijk geëxposeerd substraat kan overleven. Sedimentatie van geresuspendeerd sediment (na een storm) heeft soortgelijk effect. Langhammer et al (2009) vond dat de totale abundantie en de diversiteit op verticale oppervlakken significant hoger waren dan op horizontale oppervlakken wat volgens hen te maken heeft met sedimentatie en verhoogde concurrentie op voedsel. De observatie dat tot op 2 meter hoogte op het meetframe zand is gevonden (zie foto op titelpagina) in de aangroei suggereert dat geresuspendeerd zand in de turbulente ondiepe kustzone, waarin de Slowmill locatie

ligt, waarschijnlijk een sterk sturende factor is voor de samenstelling van de epifauna. De studie van Kerckhof et al (2010) laat verder zien dat er een sterke seizoenstrend is in de abundantie. Tussen februari en juli steeg het aantal individuen op hard substraat van 1000 individuen/m² tot meer dan 100000 individuen/m². Kerckhof et al concludeert dat de zomerdichtheden een factor 10-20 hoger liggen dan de winterdichtheden. De zomerdichtheden op hard substraat die Kerckhof vond zijn goed vergelijkbaar met de dichtheden van de hard substraat fauna monsters die in juli op de Slowmill locatie zijn aangetroffen.

Hoewel het de bedoeling was om hard substraat bemonstering van het betonnen Slowmill anker te doen is dit niet gelukt. Als alternatief hebben we daarom de aangroei op het meetframe bestudeerd. Dit frame is van aluminium gemaakt en ten opzichte van beton een vrij glad oppervlak. Eerdere studies hebben laten zien dat type substraat ook invloed heeft op het soort aangroei dat zich vestigt (Wilhelmsson & Malm, 2008; Anderson et al, 2009). Ook het moment in het jaar dat het hard substraat beschikbaar komt heeft effect op de samenstelling van de hard substraat gemeenschap doordat daarmee bepaald is welke larven beschikbaar zijn voor een eerste kolonisatie en daarmee sturend is voor de verdere ontwikkeling van de gemeenschap die een ecologische successie volgt (Schröder et al, 2006). Hierbij vestigen zich eerst opportunistische kortlevende soorten die langzaam vervangen worden door meer langlevende-meer permanente soorten. De pionierssoorten maken het substraat geleidelijk geschikt voor deze andere soorten.

Op grond van de analyse van de hardsubstraat samples blijkt dat eerst hydroid poliepen en zeepokken zich gevestigd hebben en de bryozoa *Electra pilosa* zich later daarop heeft gevestigd. De "harige" 3D structuur op de horizontale delen heeft gesuspenderd sediment ingevangen en daarmee de complexiteit van het nieuwe substraat verder laten toenemen. Hierdoor is het mogelijk geworden dat in de aangroei ook een aantal typisch vrijlevende zacht substraat soorten werden gevonden, bijvoorbeeld de tweekleppigen *Abra alba* en *Venerupis corrugata*. Andere auteurs (Langhammer et al, 2009) hebben eerder al laten zien dat verticale en horizontale vlakken qua aangroeisamenstelling kunnen verschillen. Dit proces van invangen van sediment ligt hieraan ten grondslag doordat niet alle sessiele soorten zich onder die condities kunnen handhaven, maar langzaam begraven raken. Ook voedselbeschikbaarheid en kwaliteit kan hierbij een rol spelen (Wilhelmsson & Malm, 2008).

Aangroei op harde ondergronden kunnen ook in verticale richting sterk gezoned zijn. Dit is in detail onderzocht door de aangroei op de verschillende typen windmolenfundamenten te onderzoeken. In dat geval is er echter sprake van hard substraat dat vanaf de zeebodem doorloopt tot boven in de waterkolom. Over de hoogte van de waterkolom wordt de voornaamste zonering veroorzaakt door het verschil in licht regime, waarbij in het bovenste deel macro-algen en tweekleppige filterfeeders dominant zijn. Op grotere diepte, daar waar geen licht meer is, verandert de aangroei en verdwijnen de macrofyten. Zowel het Slowmill anker als het meetframe steken slechts enkele meters boven de bodem uit en staan in een zeer turbulente kustzone. Lichtdoordringing tot de diepte waarop het frame of anker staan is gezien de hoge turbiditeit afwezig of slecht incidenteel aanwezig tijdens rustig weer en de kentering. In de aangroeimonsters hebben we ook geen wieren aangetroffen. Dat kan direct te maken hebben met de beperkte lichtdoordringing of de relatief korte periode dat het oppervlak beschikbaar was voor settlement. Het totale frame was voor 100 % begroeid, dus ook concurrentie voor ruimte kan aan het ontbreken van macroalgen ten grondslag liggen.

Op grond van de resultaten in bovengenoemde andere studies is het dan ook de vraag of in deze ondiepe kustzone zich ooit een epifauna associatie kan ontwikkelen die zich onderscheidt van een pioniersgemeenschap. Wel is duidelijk dat er een groot biodiversiteitseffect is en dat dichtheden dieren per oppervlak substraat aanmerkelijk toenemen bij plaatsing van harde substraten. Hierdoor is het aannemelijk dat ook ecosysteemfuncties (productie) en opbrengsten daarvan kunnen toenemen.

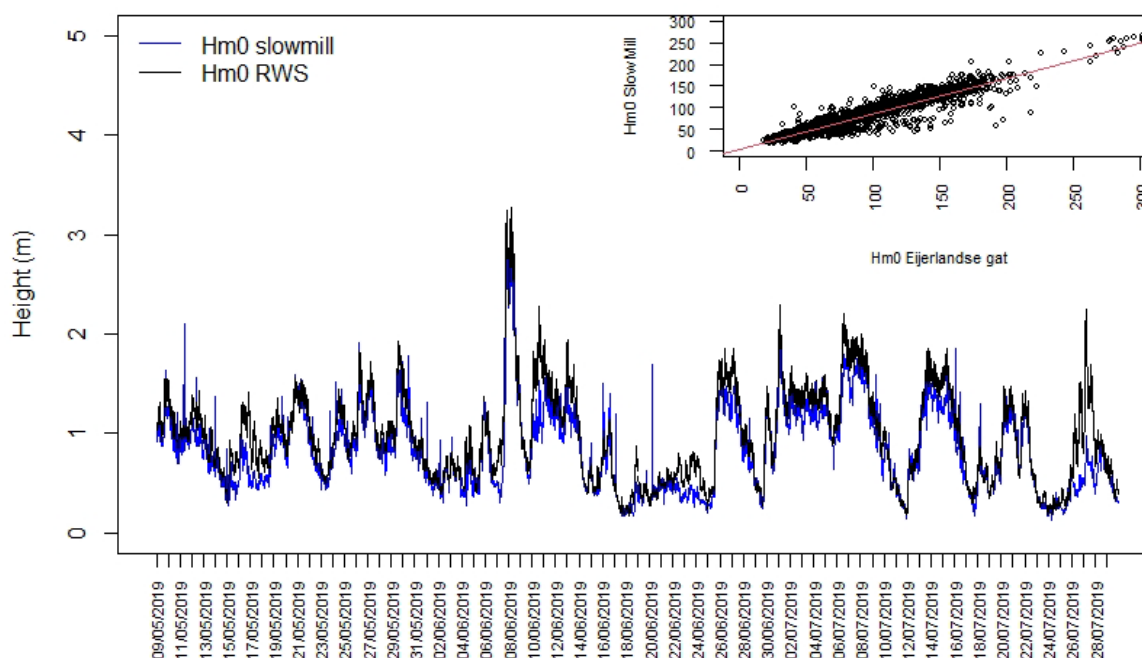
Abiotiek

Sinds ca. 25 jaar wordt er op een beperkt aantal stations op het NCP (Nederlands Continentaal Plat) op relatief diep water golven gemeten (zie den Heijer et al, 2005). De daaruit voortvloeiende resultaten worden gebruikt in simulatiemodellen om golfcondities vlak voor de kust te schatten (Hordijk, 2004). Fysieke golfmetingen dicht onder de kust zijn slechts beperkt beschikbaar (Lavidas & Polinder, 2019).

Voorbeelden van studies waar wel dicht bij de kust werd gemeten zijn weergegeven in de rapportage van (Meene & van Rijn, 2000) die tussen 1989 en 1991 met drukmeters ten zuiden van IJmuiden de hydrodynamica en het sedimenttransport in relatie tot de ligging van "shore face connected ridges" in beeld brachten.

Sinds 1994 wordt er voor de Pettemer kust gemeten maar alleen de meer recente meetseries zijn systematisch gedocumenteerd, bijvoorbeeld die voor het stormseizoen 2003-2004 (Hordijk, 2004). Iets ten zuiden van Petten werd in 2011 en 2012 door het NIOZ vlak voor de kust (1km) van Egmond gemeten. Hoewel in deze laatste studie niet expliciet golfcondities werden gemeten, ontstond er wel een beeld van het golfregime op grond van de geregistreerde druk (NORTEK Vektor) vlak boven de bodem (zie figuur 40 in Witbaard et al, 2013).

In het Eierlandse gat, meer offshore en ten noorden van de Slowmill locatie, wordt door RWS met behulp van een golfboei golfhoogte gemeten. Vergelijking van deze dataset met de door ons verzamelde data laat zien dat de golven in het Eierlandse gat over dezelfde meetperiode ongeveer 20% hoger zijn. De trend over de tijd is exact gelijk (Figuur 27). Het verschil in hoogte valt terug te voeren op de grotere diepte (20meter) en de meer off shore locatie waar gemeten wordt. Een andere factor die hierbij een rol kan spelen is het verschil in meetfrequentie binnen de burst.



Figuur 27. Vergelijking van de significante golfhoogte bij de Slowmill en in metingen over exact dezelfde periode in het Eierlandse gat (53°16.9116'N, 004°39.66'E) uitgevoerd door Rijkswaterstaat.

De directe golfmetingen t.b.v. het Slowmill project op 4 km uit de kust zijn een mooie aanvulling op de beschikbare golfdata, juist op een locatie zo vlak voor de Nederlandse kust. Hoewel er slechts gemeten is gedurende een klein deel van het jaar geeft de dataserie toch een indruk van stromings-

en golfcondities doordat in juni een zomerstorm met een sterkte van 8 bft langs kwam. Daarnaast waren er ook periodes waarin het praktisch windstil was en ook de wind tijdens de meetperiode uit alle mogelijke richtingen kwam.

Significante golfhoogte tijdens de 8bft storm lag iets boven de 2.5 meter. Wanneer echter binnen de burstmetingen, individuele piek-golfhoogten worden bepaald dan komen er uitschieters van boven de 4 meter voor. Het valt te verwachten dat bij langdurige winterstormen van meer dan 8 bft, de golfhoogten nog veel hoger zijn. Dit wordt ook gesuggereerd door data uit de meetcampagne in 2011-2012 voor de kust van Egmond (Witbaard et al, 2013). Daar werd tijdens een winterstorm van 10-11 bft golfhoogten geregistreerd die opliepen tot meer dan 6 meter hetgeen 2/3 van de waterdiepte was. In de praktijk betekent dit dat er individuele golven zijn die daadwerkelijk de bodem raken. Het valt te verwachten dat dit tijdens dergelijke condities ook het geval is op de Slowmill locatie. Niet alleen de golfhoogten nemen toe, maar ook stroomsnelheden vlak boven de bodem. Ook de residuele stroom neemt toe of leidt zelfs tot het achterwege blijven van de omkering van de stroomrichting tijdens de storm (zie figuur 20).

De meetresultaten illustreren de hoge dynamiek van deze locatie waar de relatief lage biodiversiteit een weerslag van is.

SAMENVATTING & CONCLUSIES

De Slowmill locatie ten westen van Texel wordt gekenmerkt door een fauna die van nature arm aan soorten is die in lage dichtheden voorkomen. De dichtheden en het aantal aangetroffen soorten in de natuurlijke zandbodem is sterk seizoensafhankelijk. De analyse van de faunagemeenschap liet zien dat het aantal soorten in het vroege voorjaar laag was in vergelijking met de bemonstering in juli. De faunasamenstelling, abundantie en biomassa zijn echter goed vergelijkbaar met andere stations in de kustzone.

De relatief lage biodiversiteit komt voort uit het feit dat het een zeer energierijke locatie is, zelfs in de zomer tijdens stormen. Daarnaast zijn de getijstroom vrij sterk.

Het kortstondig (3 maanden) plaatsen van een hard substraat object in deze ondiepe kustzone leidt tot vestiging van 18 soorten die niet in de zandbodem werden gevonden. Afhankelijk van het seizoen (februari resp. juli) leidt dat tot een verhoging van de lokale biodiversiteit van tussen de 36% resp. 51%.

De dichtheden organismen zijn op het hardsubstraat 400 X hoger dan in de natuurlijke zandbodem.

Het valt te verwachten dat ook de ontwikkeling en het eindstadium van de hardsubstraat gemeenschap sterk door deze abiotische condities beïnvloed wordt. Mede op grond van de resultaten uit eerdere studies valt te verwachten dat de aangroei relatief arm aan soorten zal blijven ten opzichte van diepere (offshore) locaties op de Noordzee. Wel bleek dat door het "toevoegen" van hard substraat zo vlak voor de kust de totale biodiversiteit (zacht + hardsubstraat) aanmerkelijk toenam. Bij grootschalige plaatsing van hardsubstraat in deze ondiepe kustzone valt daarom te verwachten dat op lokale schaal biodiversiteit en secundaire productie toenemen.

Bij de gemiddelde weercondities liggen de maximaal gemeten (getij)stroomsnelheden rondom de 0.5 m/s. Eb en vloed zijn zeer duidelijk van elkaar gescheiden met slechts een hele korte periode waarbij de stroming van richting verandert. De vloedstroom is iets sterker dan de ebstroom, hetgeen leidt tot

een noordwaartse residuele stroom. De data laat verder zien dat de stroomsnelheid een duidelijke windcomponent heeft.

Het optreden van een kleine zomerstorm op 8 juni gaf een doorkijk naar wintercondities. Tijdens die zuidwesterstorm (8Bft) werden er stroomsnelheden tot meer dan 1 meter per seconde gemeten en gemiddeld significante golfhoogten (per burst) die boven de 2.5 meter uitkwamen.

De gemiddelde significante golfhoogte over de hele meetperiode was 0.5 meter. Gemiddelde maximale golfhoogte was 1.26 meter. Maximaal gemeten golfhoogte was 4.8 meter. Gemiddelde golfperiode tussen mei en juli bedroeg 3.5 seconden. De piekperiode was 5.8 seconde en is vooral gekoppeld aan golven uit noordelijke richting. De periodes van golven uit de andere richtingen zijn beduidend lager.

Zowel temperatuur, saliniteit, SPM als Chlorofyl laten een zwakke getijcyclus zien. Een goed beeld van een complete seizoenscyclus kan niet verkregen worden op grond van deze nieuwe data. Het verloop van de Chlorofyl concentratie laat het optreden van korte heftige bloeiperiodes zien. De turbiditeitsdata (SPM) vlak boven de bodem laat zien dat deze sterk wordt bepaald door wind en golfcondities. Piekconcentraties SPM werden gemeten na de storm. Dit illustreert enerzijds dat het materiaal pas gaat uitzakken als de golf- en stromingscondities rustiger worden maar kan ook suggereren dat er mogelijk materiaal door lateraal transport van elders wordt aangevoerd. Op grond van deze eenpuntsmeting is dit niet helemaal duidelijk. De variaties in saliniteit suggereren dat er invloed van Waddenzee water aanwezig is en dus lateraal transport goed mogelijk lijkt.

Door de uiteenlopende weercondities tijdens de meetperiode lijken de data goed bruikbaar om een extrapolatie naar (golf)condities in alle seizoenen te maken. In de toekomst als de Slowmill volledig operationeel is, kan het nuttig zijn om de abiotiek metingen te herhalen om die te kunnen koppelen aan de energieopbrengst van het systeem.

GERAADPLEEGDE LITERATUUR

- Andersson, M.H., M. Berggren, D. Wilhelmsson, M. C. Öhman, 2009. Epibenthic colonization of concrete and steel pilings in a cold-temperate embayment: a field experiment. *Helgol. Mar. Res.* 63:249-260.
- Callaway, R., Bertelli, C. R. Unsworth, G. Lock, T. Carter, E. Friis-Madsen,, H.C. Soerensen and F. Neumann, 2017. Wave and tidal range energy devices offer environmental opportunities as Artificial reefs. Proceedings of the 12th european wave and tidal energy conference, August 27th-Sept 1st, Cork, Ireland. 9pp.
- Champely, S., 2020. pwr: Basic Functions for Power Analysis. R package version 1.3-0. <https://CRAN.R-project.org/package=pwr>
- Coates, D. , J. Vanaverbeke, M. Rabaut & M. Vincx, 2011. Soft-sediment macrobenthos around offshore wind turbines in the Belgian Part of the North Sea reveals a clear shift in species composition. *In*: Editors:
- Coates, D.A., Y. Deschutter, M. Vincx & J. Vanaverbeke, 2014. Enrichment and shifts in macrobenthic assemblages in a offshore wind farm area in the Belgian part of the North Sea. *Marine Environmental Research* 95:1-12.
- Compton, T.J., J.van der Meer, S.Holthuijsen, A. Koolhaas, A. Dekinga, J. ten Horn, L. Klunder, N. McSweeney, M. Brugge, H. van der Veer and T. Piersma. Synoptic intertidal benthic surveys across the Dutch Wadden Sea 2008-2011. NIOZ rapport 2013-1:51pp.
- Daan, R.; Mulder, M. (2009). Monitoring the invertebrate benthic fauna in the Dutch sector of the North Sea 1991 - 2005: an overview. NIOZ-rapport, 2009-5. NIOZ: The Netherlands. 20 pp.
- Heijer den, F., F.L.M. Diermanse and P.H.A.J.M. van Gelder, 2005. Extreme wave statistics using Regional Frequency Analyses. ISSH - Stochastic Hydraulics 2005 - 23 and 24 May 2005 - Nijmegen - The Netherlands.
- Hordijk, D en A.P. Roskam, 2004. Rapportage veldmetingen Pettemer Zeewering Stormseizoen 2003-2004. Project: SBW-Veldmetingen Rapport: RIKZ/2004.032, 116pp.
- Kerckhof, F. B. Rumes, T. Jacques, S. Degraer & A. Norro, 2010. Early development of the subtidal marine biofouling on a concrete offshore windmill foundation on the Thornton Bank (southern North Sea): first monitoring results.
- Kerckhof, F., B. Rumes, A. Norro, J.-S. Houziaux, & S. Degraer, 2012. A comparison of the first stages of biofouling in two offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea. In: Degraer, S., Brabant, R. & Rumes, B., (Eds.). Offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea: Heading for an understanding of environmental impacts. Royal Belgian Institute of Natural Sciences, 155pp.
- Kovalenko, K.E., Thomaz, S.M. & Warfe, D.M. Habitat complexity: approaches and future directions. *Hydrobiologia* 685, 1–17 (2012). <https://doi.org/10.1007/s10750-011-0974-z>

Krone, R. G. Dederer, P. Kanstinger, P. Krämer, C. Schneider, I. Schmalenbach, 2017. Mobile demersal megafauna at common offshore wind turbine foundations in the German Bight (North Sea) two years after deployment - increased production rate of *Cancer pagurus*. Marine environmental research 123:53-61

Langhammer, O., D. Wilhelmsson & J. Engström, 2009. Artificial reef effect and fouling impacts on offshore wave power foundations and buoys- a pilot study. Estuarine Coastal and shelf science 82:426-432.

Lavidas, G. and H. Polinder, 2019. North Sea Wave Database (NSWD) and the Need for Reliable Resource Data: A 38 Year Database for Metocean and Wave Energy Assessments. Atmosphere 2019, 10, 551; Doi:10.3390/atmos10090551

Leewis L., E.C. Verduin, R. Stolk, 2017. Macrozoobenthosonderzoek in de Rijkswateren met Boxcorer, Jaarrapportage MWTL 2015. Zaaknummer RWS 3 1072166.0004; Projectnummer Eurofins AquaSense :J00002105. Eurofins-Aquasense rapportage 75pp.

Meene, van de, J.W.H. and L.C. van Rijn, 2000. The shoreface-connected ridges along the central Dutch coast part 1: field observations. Continental Shelf Research 20: 2295-2323.

Michaelis, R., H.C. Hass, F. Mielck, S. Papenmeier, L. Sander, B. Ebbe, L. Gutow, K.H. Wiltshire, 2019. Hard-substrate habitats in the German Bight (South-Eastern North Sea) observed using drift videos. Journal of Sea research 144: 78-84.

Wilhelmsson, D. & T. Malm, 2008. Fouling assemblages on offshore wind power plants and adjacent substrata. Estuarine, Coastal and shelf science 79: 459-466.

Schröder A., Orejas C., Joschko T. (2006) "Benthos in the vicinity of the piles: FINO 1 (North Sea)". In: Offshore Wind Energy. Research on Environmental Impacts (Köller J, Köppel P, eds). Springer Verlag Berlin pp 185-198.

Witbaard, R. G.C.A. Duineveld & M.J.N. Bergman, 2013. The final report on the growth and dynamics of *Ensis directus* in the near coastal zone off Egmond, in relation to environmental conditions in 2011-2012. NIOZ report 2013-2: 79 pp.

Zintzen, V. & C. Massin, 2010. Artificial hard substrata from the Belgian part of the North Sea and their influence on the distributional range of species. Belg. J Zool. 140(1): 20-29.

Het Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee, doet als nationaal oceanografisch onderzoeksinstituut multidisciplinair fundamenteel zeegaand onderzoek naar wetenschappelijk en maatschappelijk belangrijke vraagstukken over het functioneren van delta- en kustgebieden, zeeën en oceanen. Daarnaast beheert het NIOZ de nationale onderzoeksschepen en de apparatuur voor de Nederlandse onderzoeksgemeenschap. Ook stimuleert en ondersteunt het NIOZ het mariene onderzoek, onderwijs en beleidsontwikkeling op nationaal en internationaal niveau.

NIOZ is onderdeel van de institutenorganisatie van NWO



www.nioz.nl

