

3. Het effect van zandwinning op het bodemleven in het Belgisch deel van de Noordzee

Wyns Liam*, Hostens Kris¹, De Backer Annelies^{1*}

*Spreker: annelies.debacker@ilvo.vlaanderen.be

¹ Instituut voor landbouw- en visserijonderzoek (ILVO), Ankerstraat 1, 8400 Oostende, Belgium

3.1. Inleiding

In recente jaren wordt er 3 tot 4 miljoen m³ zand ontgonnen per jaar in het Belgisch deel van de Noordzee (BNZ) (<https://economie.fgov.be>), waarbij het merendeel van het gewonnen zand benut wordt in de bouwindustrie. Daarnaast wordt een belangrijk deel van het zand aangewend voor kustbescherming in de vorm van strandsuppleties om overstromingsgevaar bij stormen en het stijgende zeespiegelniveau op te vangen. Zandwinning kan echter het mariene ecosysteem beïnvloeden (Froján et al., 2011; Waye-Barker et al., 2015). Het kan leiden tot veranderingen in sedimentsamenstelling van de zeebodem, wat een directe invloed kan hebben op het ecosysteem en de geassocieerde fauna (Waye-Barker et al., 2015). Daarnaast heeft zandwinning ook een indirecte invloed door afzetting van sedimentpluimen die ontstaan tijdens ontginning (Tillin et al., 2011). Het is belangrijk menselijke activiteiten als deze en hun effect op het ecosysteem te monitoren. Macrobenthos gemeenschappen zijn daarbij goede indicatoren, aangezien ze heel snel reageren op veranderingen in het sediment (Van Hoey et al., 2010). Om echter een meer holistisch beeld te krijgen van de invloed van zandwinning op het mariene ecosysteem is het belangrijk om ook de hogere trofische niveaus, epibenthos (organismen levend op de zeebodem) en demersale vis (vissen die in associatie met de zeebodem leven) te monitoren (Callaway et al., 2002).

In dit rapport worden de resultaten van de biologische monitoring (2010 – 2019) in het kader van zandwinning voor macrobenthos, epibenthos en demersale vis voorgesteld en dit voor de meest ontgonnen zones in het BNZ.

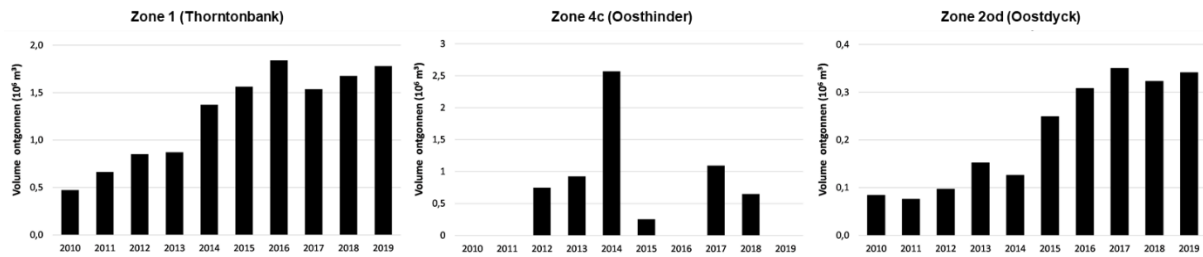
3.2. Methodologie

3.2.1. Staalnames

Studiezones en hun ontginningsregimes

De bestudeerde ontginningszones in dit rapport zijn: zone 1 (Thorntonbank, afgekort TB), zone 4c (Oosthinder, afgekort OH) en zone 2od (Oostdyck, afgekort OD). Elk van deze zones is onderhevig aan een verschillend ontginningsregime (Figuur 1). TB en OD worden beiden voornamelijk door de industrie ontgonnen. Na de sluiting van de centrale zone op de Buiten Ratel in januari 2015 werd TB het nieuwe epicentrum van industriële ontginning in België. Dit is in 2019 nog steeds het geval met 1.781 miljoen m³ ontgonnen zand op TB. De OD kent een minder intens regime. Hier werd tot en met 2019 jaarlijks niet meer dan 0.4 miljoen m³ zand ontgonnen. Zowel TB als OD worden op regelmatige basis ontgonnen met min of meer continue hoeveelheden. Hierin verschilt de Oosthinder (OH), waarvan het gewonnen zand voornamelijk benut wordt voor kustbescherming. Het regime hier wordt gekenmerkt door zeer intense ontginningsperiodes gedurende een kort periode (3 à 4 maanden) met daaropvolgend een (al dan niet lange) periode zonder ontginning (Degrendele et al., 2014). De OH wordt ontgonnen sinds 2012 en is altijd aan een periodiek ontginningsregime onderhevig geweest. Piek extractie op deze zandbank vond plaats in 2014, waarbij 2.6 miljoen m³ zand ontgonnen werd, waarvan het meeste binnen een periode van 2 maanden.

Figuur 1: Jaarlijks ontgonnen volumes (in 10^6 m^3) in zone 1 (Thorntonbank), zone 4c (Oosthinder) en zone 2 od (Oostdyck).

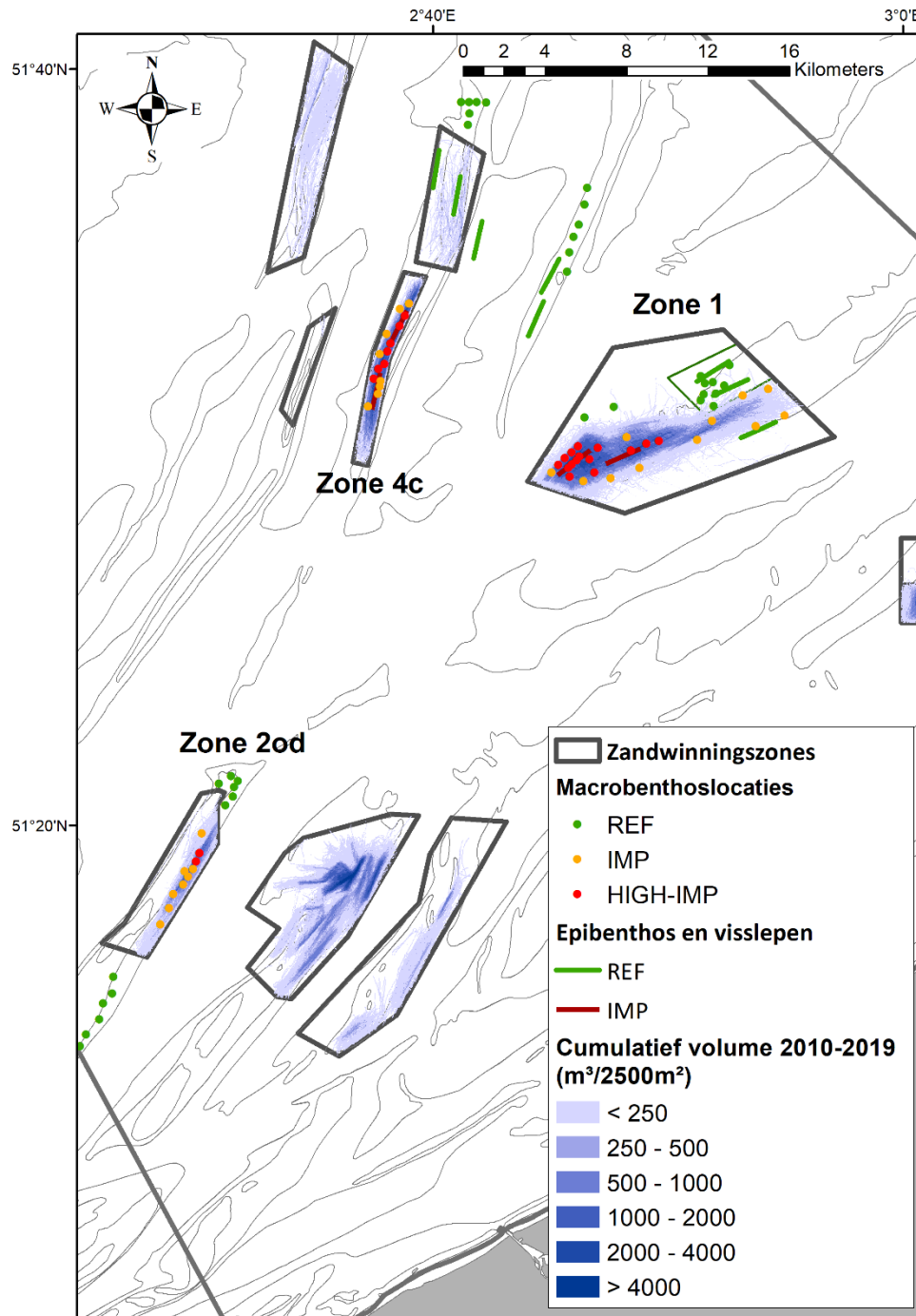


Staalname strategie en beschikbare data

De sedimentsamenstelling en daarmee geassocieerde macrobenthos gemeenschap werden gemonitord in de zones 1 (TB), 4c (OH) en 2od (OD). In zone 1 en 4c werd ook het epibenthos en de demersale visgemeenschap bemonsterd. Met behulp van de Electronic Monitoring System (EMS) data, die een overzicht geeft van waar de ontginningsactiviteit precies plaatsvindt, werden de staalnamelocaties voor impact en referentie bepaald (Figuur 2). Om seizoenale variatie in de stalen uit te sluiten, werd er elk jaar enkel in september en/of oktober bemonsterd. Alle beschikbare stalen in de periode 2010 – 2019 werden geanalyseerd. Voor epibenthos en vis op de TB konden extra 'baseline' stalen van 2004 (voordat ontginning plaatsvond) gebruikt worden. Tabel 1 biedt een overzicht van de jaren die voor elke zandbank in de analyses meegenomen werden.

Figuur 2: Overzichtskaart van de ontginningszones in het BNZ met weergave van de biologische staalnamelocaties en de impact groep waartoe ze behoren.

Legende: zone 1, ontginningszone op de Thorntonbank; zone 4c, ontginningszone op de Oosthinder; zone 2od, ontginningszone op de Oostdyck. Zowel macrobenthos staalnamelocaties als de locatie van de slepen werden gekozen op basis van de beschikbare EMS data. Oostdyck. Zowel macrobenthos staalnamelocaties als de locatie van de slepen werden gekozen op basis van de beschikbare EMS data.



Tabel 1: Overzicht van de jaren waarin stalen geanalyseerd werden voor macrobenthos (inclusief sediment) en epibenthos- en demersale vis in elke zone.

Legende: +, inbegrepen; -, niet inbegrepen; *, 'baseline' staalname voor epibenthos en vis; zone 1, ontginningszone op de Thorntonbank; zone 4c, ontginningszone op de Oosthinder; zone 2od, ontginningszone op de Oostdyck. *in 2015 konden door logistieke problemen met het onderzoeksschip geen stalen genomen worden.

	Zone	2004	2010	2011	2012	2013	2014	2015*	2016	2017	2018	2019
MACRO	1	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+
	4c	-	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+
	2od	-	+	+	-	+	-	-	-	+	-	+
EPI & VIS	1	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+
	4c	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+

Macrobenthos en sediment

Jaarlijks werd op elke locatie één macrobenthosstaal genomen met een Van Veengrijper (oppervlakte 0,1m²). De fauna werd gezeefd (1mm zeef), gekleurd (eosine) en op formaldehyde (8%) bewaard. Alle organismen werden, indien mogelijk, tot op soort gedetermineerd, geteld en gewogen (blotted wet weight). Uit elke Van Veen werd een sedimentstaal (3,6 cm Ø steekbuis) genomen waarvan na het drogen de korrelgroottefracties bepaald werden met een Malvern Mastersizer (2000G hydro version 5.40). De sedimentfracties werden uitgedrukt in volume percentages en benoemd volgens de Wentworth classificatie: 0 – 63 µm = klei/slib, 63 – 125 µm = zeer fijn zand, 125 – 250 µm = fijn zand, 250 – 500 µm = medium zand, 500 – 1000 µm = grof zand, 1000 – 2000 µm = zeer grof zand en > 2000 µm = grind. Voor elk staal werd de totale mediane korrelgrootte (alle fracties inbegrepen) berekend.

Epibenthos en demersale vis

Epibenthos en demersale vis werd bemonsterd met een 8m brede boomkor met een fijnmazig garnalennet (22 mm maaswijdte in de kuil en bollenpees). Het net werd gedurende een 15-tal minuten gesleept (over ca. 1 zeemijl). Alle gevangen individuen werden aan boord geïdentificeerd tot op soortniveau, geteld en gemeten en het epibenthos werd eveneens gewogen. Stalen die niet volledig aan boord verwerkt konden worden, werden ingevroren en later in het labo verwerkt.

3.2.2. Data analyses

Verscheidene statistische analyses werden uitgevoerd op de data in Primer 7 en R 4.0.3. De bevindingen die besproken worden in dit rapport zijn voornamelijk gebaseerd op variantieanalyses (ANOVA), permutatiele multivariate variantie analyses (PERMANOVA) en 'principal coordinate analyses' (PCO).

Macrobenthos en sedimentanalyse

De mate van ontginning werd op elke Van Veen staalnamelocatie berekend. Een cirkel met een straal van 50m (= een oppervlakte van ±2000m²) werd als buffer gelegd rond alle 'real time' staalnamecoördinaten in Arcmap. Een cumulatief ontginningsvolume werd voor elk staal bekomen door de geëxtraheerde hoeveelheid binnen deze oppervlakte op te tellen vanaf januari 2009 t.e.m. moment van staalname. Hiervoor werd gebruik gemaakt van Arcmap en R. Om grenswaarden voor impactstalen te bekomen werd het cumulatief ontginningsvolume uitgezet t.o.v. de soortenrijkdom (S), totale densiteit (N) en biomassa (W) van alle ontginningszones. Hierbij werd, vanaf een cumulatief ontginningsvolume van ± 7000 m³/2000m², een toename van S, N en W zichtbaar, alsook een veel grotere variatie tussen stalen. Daarom werd deze grenswaarde gebruikt om impact stalen van elke zone in IMP (impact, <7000 m³ cumulatief ontgonnen volume op een oppervlakte van 2000m²) en HIGH-IMP (hoge impact, > 7000 m³ cumulatief ontgonnen volume op een oppervlakte van 2000m²) op te splitsen. We onderscheiden

bijgevolg drie 'impact groepen': REF, IMP, HIGH-IMP. Aangezien de drie zones verschillen in ontginningsregime, werden deze apart geanalyseerd. In zone 1 (TB) kwamen HIGH-IMP stalen vóór 2016 niet voor, hier werden de jaren 2010 – 2014 (verder benoemd als 'lage impact periode') en 2016 – 2019 (verder benoemd als 'hoge impact periode') apart geanalyseerd. Voor zone 4c (OH) waren stalen van twee jaren voor de start van ontginning beschikbaar, hier werden impact groepen vergeleken tussen de periode vóór (2010 – 2011) en na ontginning (2012 – 2014, 2017 – 2019) i.e. een BACI (Before After Control Impact) design. In zone 2od (OD) werden referentie stalen genomen op de rug van de zandbank zowel ten noorden (benoemd als 'Noord REF') als ten zuiden (benoemd als 'Zuid REF') van de ontginningszone. Slechts 2 impact stalen werden als HIGH-IMP toegewezen ($> 7000 \text{ m}^3$ ontgonnen op 2000m^2) in 2019, deze werden bijgevolg niet meegenomen in de statistische analyses.

Epibenthos en demersale visanalyse

Impact slepen kregen hier geen extra opsplitsing op basis van een cumulatieve ontginningswaarde zoals gebeurde voor Van Veen stalen. Wel werd een categorische onderverdeling gemaakt gebaseerd op de jaarlijks ontgonnen volumes die voor elke ontginningszone vrijgegeven zijn (<https://economie.fgov.be>). In zone 1 (TB) vergelijken we REF en IMP stalen uit de 'baseline'- (geen ontginning; 2004), lage impact periode (jaarlijkse ontgonnen volume < 1 miljoen m^3 zand; 2010 – 2014) en hoge impact periode (jaarlijkse ontgonnen volume $> 1,5$ miljoen m^3 zand; 2016 – 2019) met elkaar. In zone 4c (OH) werd net als voor macrobenthos een BACI design toegepast, maar hier werden de jaren vóór (2011 – 2013) en na (2017 – 2019) de piek-extractie events in 2014 vergeleken.

3.3. Resultaten en discussie

3.3.1. Zone 1 (Thorntonbank)

Sedimentsamenstelling en de macrobenthosgemeenschap

In de lage impact periode (2010 – 2014) vertonen impact en referentie stalen een gelijkaardige sedimentsamenstelling. Beiden werden gedomineerd door medium zand (Fractie $\pm$ Standaard deviatie; REF = $54,37 \pm 11,31\%$; IMP = $64,04 \pm 9,82\%$). Geen van de sedimentfracties verschilde significant van elkaar. Tijdens de hoge impact periode (2016 – 2019) nam binnen de HIGH-IMP stalen zeer fijn zand en klei/slib toe, met een piek in 2017 en een afname vanaf 2018 en verder (Figuur 3a). De aanwezigheid van dit fijn materiaal was waarschijnlijk een gevolg van zowel 'overflow' als opwoeling door bodem verstoring van de baggerkop (Nichols et al., 1990). Daarnaast nam de grind fractie significant toe in de HIGH-IMP stalen ($2,69 \pm 1,02\%$ in HIGH-IMP versus $1,29 \pm 0,70\%$ in IMP en $1,29 \pm 0,90\%$ in REF) ($P_{\text{Anova}} < 0,0001$). Dit is vermoedelijk te wijten aan het blootleggen van een nieuwe geologische laag in combinatie met screening tijdens de intensieve ontginningsactiviteiten.

Figuur 3: Relatieve sedimentsamenstelling (%) voor de drie ontginningszones (Zone 1 (Thorntonbank); Zone 4c (Oosthinder); Zone 2od (Oostdyck)).

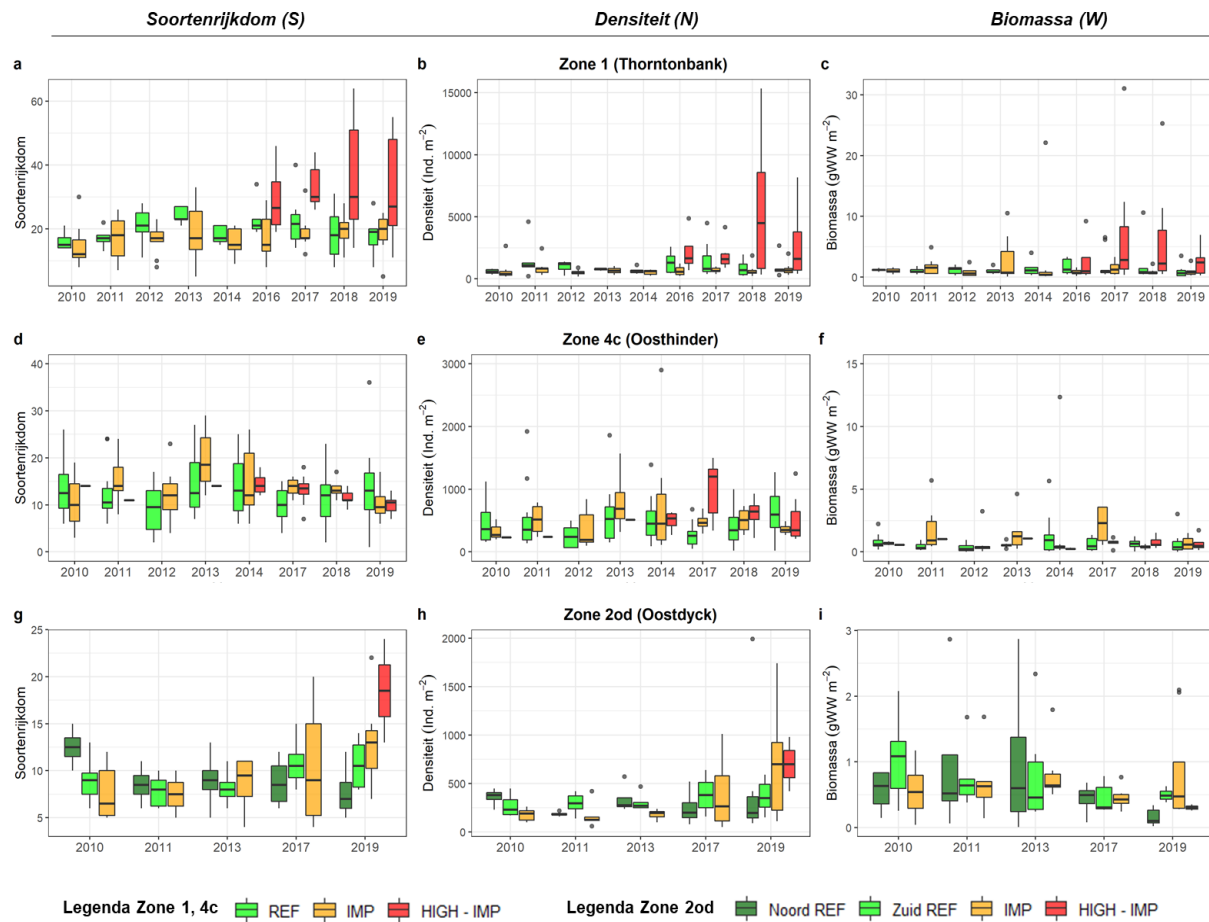
REF = referentie; IMP = impact; HIGH-IMP = hoge impact; Noord REF = referentie stalen genomen op het noordelijk deel van de zandbank; Zuid REF = referentie stalen genomen op het zuidelijk deel van de zandbank; Voor Zone 1 en 2od wordt de sedimentsamenstelling voor alle gebruikte jaren weergegeven, voor zone 4c wordt het verschil tussen 'voor' en 'na' ontginning weergegeven.



REF en IMP stalen verschilden niet in totale densiteit (N) en biomassa (W) in de lage impact periode op de TB, wel was de soortenrijkdom (S) van REF stalen net hoger ($P_{\text{Anova}} = 0,03145$). In de hoge impact periode werden significant hogere S, N en W waarden bekomen in de HIGH-IMP stalen vergeleken met REF en IMP stalen (resp. $P_{\text{Anova}} = <0,0001$; $P_{\text{Anova}} = <0,0001$; $P_{\text{Anova}} = 0,001$) (resp. Figuur 4 a, b, c). REF en IMP stalen verschilden niet van elkaar voor deze 3 parameters ($P_{\text{Anova}} > 0,05$). Naast hogere waarden namen we binnen HIGH-IMP ook een hogere spreiding waar in vergelijking met REF en IMP stalen, mogelijks het gevolg van een verhoogde heterogeniteit door intensievere verstoring.

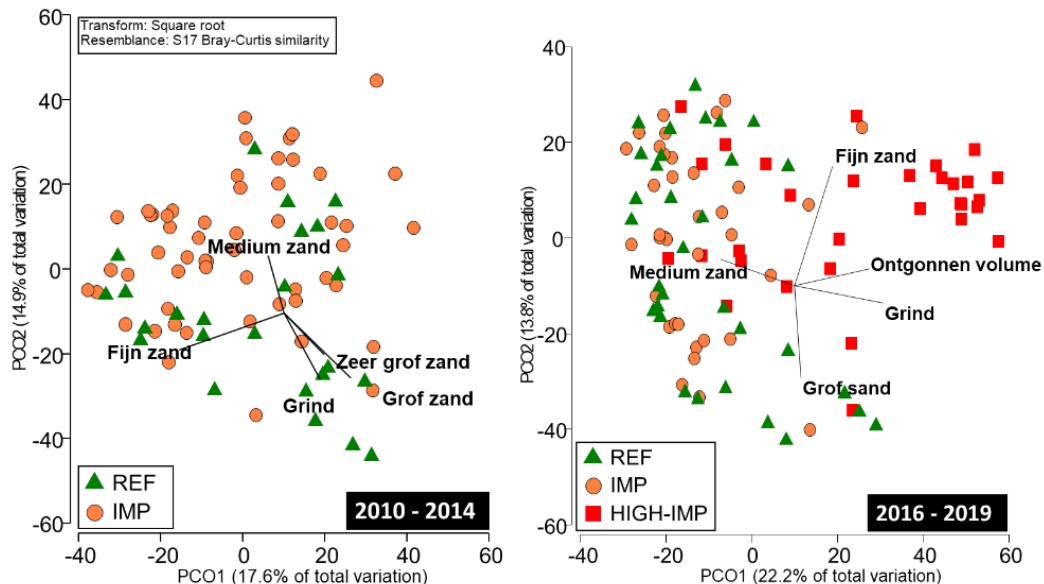
Figuur 4: Boxplots voor de macrobenthosparameters densiteit, soortenrijkdom en biomassa per ontginningszone (Thorntonbank, Oosthinder; Oostdyck).

Legende: REF = referentie; IMP = impact; HIGH - IMP = hoge impact; Noord REF = referentie stalen genomen op het noordelijk deel van de Oostdyck; Zuid REF = referentie stalen genomen op het zuidelijk deel van de Oostdyck.



De gemeenschapssamenstelling van de impactgroepen verschilde licht significant in de lage impact periode op de TB ($P_{\text{Perm}} = 0,011$) (Figuur 5, links). Dit verschil was vooral te verklaren door natuurlijke variatie in sedimentsamenstelling (27,5%), slechts 2,6% werd verklaard door extractie parameters ('grouped DISTLM' resultaten). Zowel IMP als REF behoren allebei tot de *Hesionura elongata* gemeenschap (Breine et al. 2018) gekenmerkt door *Nephtys cirrosa* en *Hesionura elongata*. In de hoge impact periode op de TB werd de variatie tussen stalen naast verschillen in sedimentsamenstelling, voor 12,6% verklaard door extractieparameters ('grouped DISTLM' resultaten). Zandwinning heeft in de hoge impact periode dus een duidelijke invloed op de macrobenthosgemeenschap. De verhoogde aanwezigheid van zeer fijn zand en klei/slib als gevolg van ontginning zorgde voor de aanwezigheid van fijn zand minnende soorten als de schelpkokerworm (*Lanice conchilega*) en de kokerworm *Spiophanes bombyx*, samen met hoge dichtheden van opportunistische soorten als juveniele slangsterren (*Ophiura ophiura*) en de borstelworm *Pisone remota* in de HIGH-IMP stalen, waardoor deze afsplitsten van de overige impactgroepen (Figuur 5, rechts). De typische medium en grof zand soorten zijn nog steeds aanwezig in de HIGH-IMP stalen maar in lagere dichtheden.

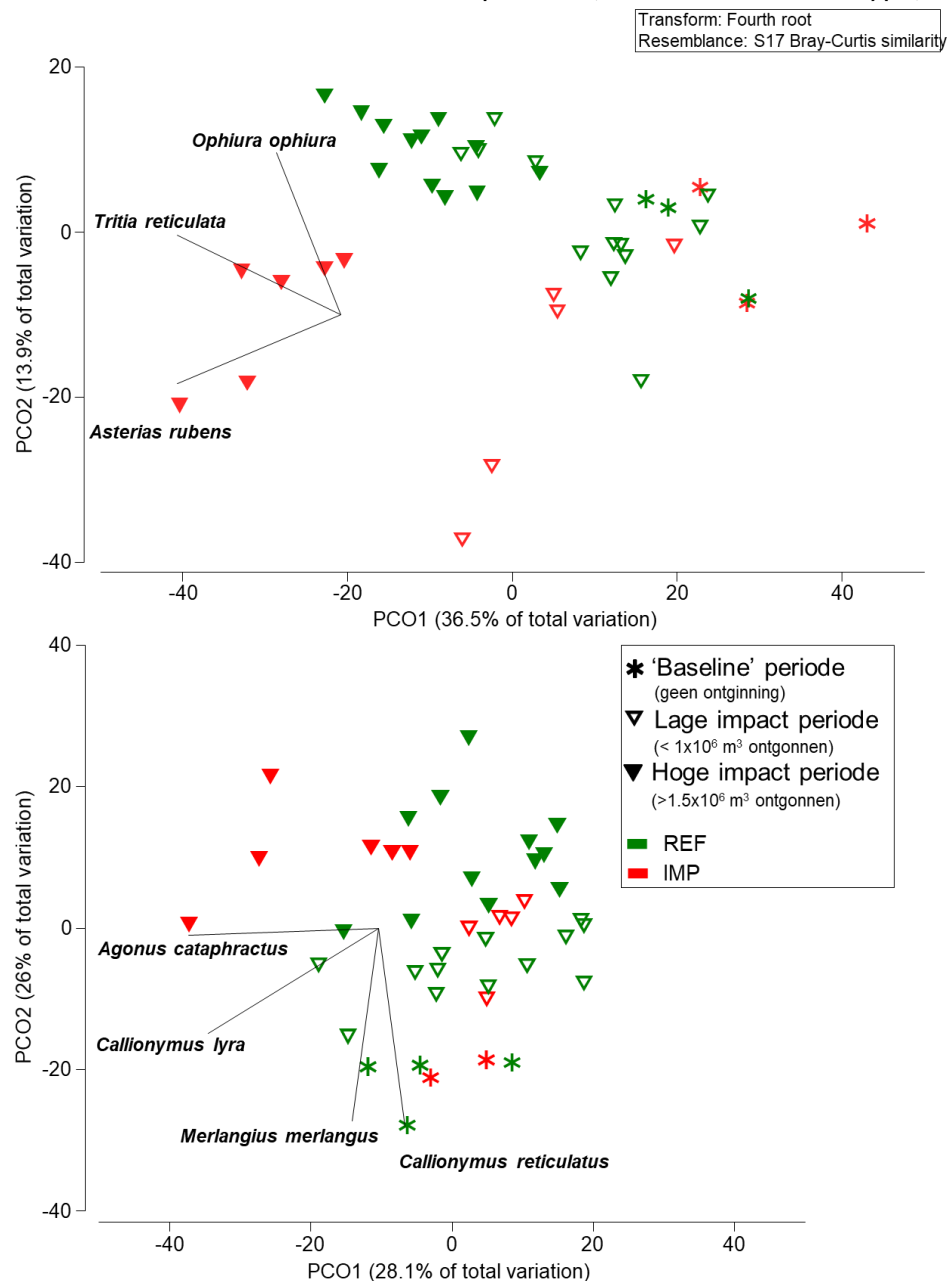
Figuur 5: PCO plot gebaseerd op densiteit van macrobenthossoorten met indicatie van de verschillende impact groepen voor de 2010 – 2014 lage impact periode (links) en 2016 – 2019 hoge impact periode op de TB. Vectors tonen de omgevingsvariabelen die voor minstens $r > 0.3$ correleren met het multivariate patroon (multiple correlation type).



De epibenthos en demersale visgemeenschap

Temporele variatie was duidelijk een structurerende factor voor zowel de epibenthos als de demersale visgemeenschap. Zowel REF als IMP stalen volgden een gelijkaardig patroon door de jaren heen, hier voornamelijk weergegeven op de x-as voor epibenthos en de y as voor demersale vis (Figuur 6). Het jaar 2018 onderscheidde zich van de overige jaren door zeer hoge densiteiten van zeester (*Asterias rubens*) en kleine slangster (*Ophiura albida*), terwijl in 2019 steenbolken (*Trisopterus luscus*) in opvallend hoge densiteiten aanwezig waren in de stalen. Deze jaarlijkse variatie is mogelijks een gevolg van grotere temporele processen die zich in de Noordzee afspelen. Desalniettemin werd naast deze variatie ook een duidelijk effect van zandwinning op beide gemeenschappen waargenomen. Zowel tijdens de lage als de hoge impact periode verschilden epibenthos IMP en REF stalen significant van elkaar, terwijl dit niet het geval was tijdens de 'baseline' periode (2004). Vooral in de hoge impact periode is er een duidelijke verandering waar te nemen door verhoogde densiteiten van opportunisten als slangsterren (*O. ophiura*, *O. albida*), zeesterren (*A. rubens*) en heremietkreeften (*Pagurus bernhardus*) (Figuur 6, boven). Deze worden vermoedelijk aangetrokken door het verhoogde aanbod aan organisch materiaal dat ontstaat tijdens zandwinning en een aantrekkelijke voedselbron is voor deze soorten (Ramsay, 1996). De demersale vis gemeenschap vertoonde een gelijkaardige respons op ontginningsactiviteiten als beschreven voor epibenthos, maar minder duidelijk. De gemeenschapsstructuur verschilde significant tussen IMP en REF in de hoge ($p_{\text{perm TB}} = 0.0005$), maar niet in de lage impact periode. Ook hier werd het verschil veroorzaakt door verhoogde densiteiten van soorten als harnasmannetje (*Agonus cataphractus*), schar (*Limanda limanda*) en pitvis (*Callionymus lyra*), die baat hebben bij de verhoogde voedselbeschikbaarheid op de bodem (organisch materiaal en/of verhoogde epibenthos en macrobenthos densiteiten) (Wyche & Shackley 1986, Klimpel et al. 2003, Griffin et al. 2012).

Figuur 6: : PCO plot gebaseerd op densiteit van epibenthos (boven) en demersale vis (onder) met indicatie van de 'baseline periode' (2004), lage impact periode (2010 – 2014) en hoge impact periode (2016 – 2019) op de TB. Vectors tonen de omgevingsvariabelen die voor minstens $r > 0.8$ correleren met het multivariate patroon (Pearson correlation type).



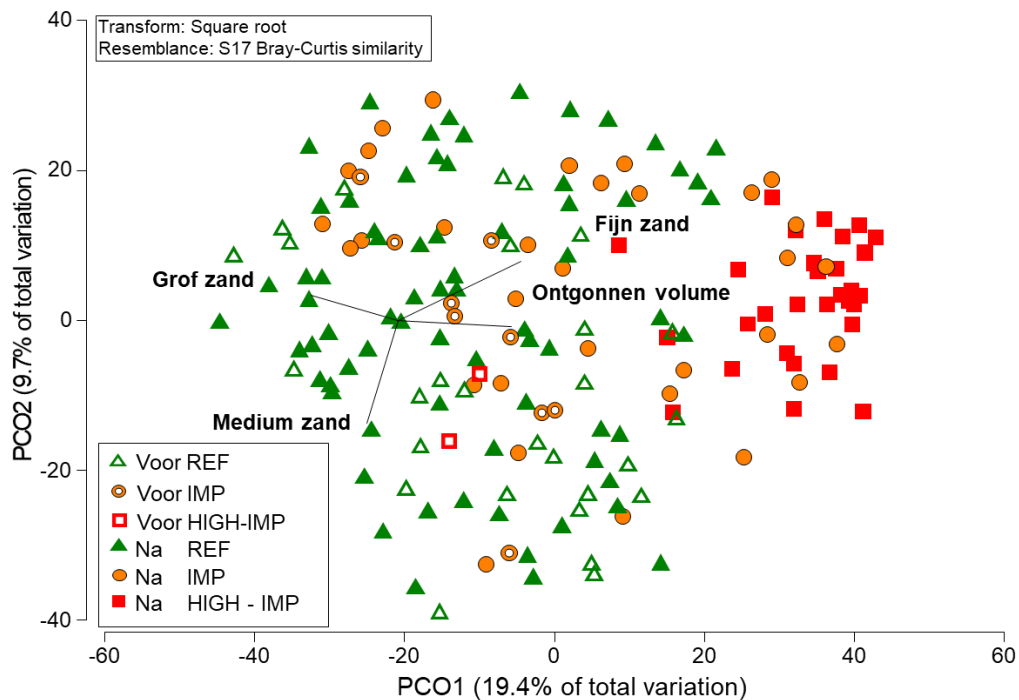
3.3.2. Zone 4c (Oosthinder)

Sedimentsamenstelling en de macrobenthosgemeenschap

Er werd een duidelijk effect waargenomen van zandwinning op de mediane korrelgootte voor de OH ($P_{\text{periode} \times \text{impact}}$, Anova = 0,005). Het sediment in de impact zone (vooral dan in de hoge impact HIGH-IMP) vertoonde een significante afname in mediane korrelgrootte nadat ontginning plaatsvond. Dit was voornamelijk te wijten aan een afname van de grof zand fractie en een toename van fijn zand (Figuur 3b).

Soortenrijkdom (S), totale densiteit (N) en biomassa (W) van de macrobenthos gemeenschap werden, in tegenstelling tot op TB, niet beïnvloed door het ontginningsregime op de OH (resp. figuur 4 d, e, f). De gemeenschapssamenstelling daarentegen wijzigde wel als respons op de veranderende sedimentsamenstelling ten gevolge van zandwinning (Figuur 7). De stalen die genomen werden vóór de ontginningsevents ('voor', open symbolen in figuur 7) kennen een brede en willekeurige spreiding op de PCO plot (geen significante verschillen tussen impactgroepen) en deze werden allen gekenmerkt door een typische grof zand gemeenschap *Hesionura elongata* (Breine et al. 2018). Na de start van ontginning in 2012 ('Na', gesloten symbolen in figuur 7), werden significante verschillen waargenomen tussen alle impact groepen ($P_{\text{Perm}} = 0,0001$ voor allen). Vooral de HIGH-IMP stalen vertonen een duidelijke shift richting de medium zand gemeenschap *Nephtys cirrosa* (Breine et al. 2018) met verhoogde densiteiten van o.a. *Urothoe brevicornis*, *N. cirrosa* en *Bathyporeia elegans*. Ook in de IMP-groep is er al een gedeeltelijke verschuiving waarneembaar richting de *N. cirrosa* gemeenschap maar in een ander deel van de stalen is nog steeds de oorspronkelijke grof zand *Hesionura* gemeenschap aanwezig.

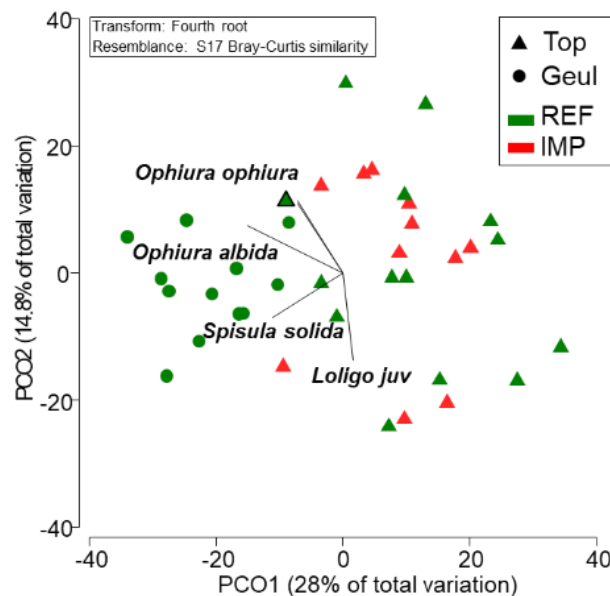
Figuur 7: PCO plot gebaseerd op densiteit van macrobenthossoorten met indicatie van de verschillende impact groepen voor de OH. 'Voor' (open symbolen) duidt op de periode voor 2012 waarin nog geen ontginning plaatsvond, 'na' (gesloten symbolen) is de periode na de start van ontginning. Vectoren tonen de omgevingsvariabelen die voor minstens $r > 0.3$ correleren met het multivariate patroon (multiple correlation type).



De epibenthos en demersale visgemeenschap

Er werd geen impact van ontginning waargenomen voor epibenthos en vis op de OH. De gemeenschapsstructuur van stalen genomen op de top van de zandbank verschilde sterk met die van flank stalen ($p_{\text{perm}} = 0.0001$ voor zowel epibenthos als demersale vis). Impactstalen werden enkel op de top van de zandbank (waar ontginning plaatsvindt) bemonsterd, en die vertoonden geen significante verschillen met de referentiestalen (Figuur 8). Er zijn verschillende verklaringen mogelijk voor het ontbreken van een ontginningseffect. Ten eerste zijn ontgonnen volumes hier hoog maar de ontginningsfrequentie is laag vergeleken met continu ontgonnen gebieden als de TB. Hierbij wordt op de OH voornamelijk in de lente ontgonnen, terwijl staalnames in september en/of oktober plaatsvonden, mogelijks is dit genoeg tijd voor herstel van mobielere ecosysteemcomponenten als epibenthos en demersale visgemeenschappen. Ten tweede is zone 4c de meest offshore gelegen zone hier bestudeerd. Lokaal verschillende condities (diepte, sedimenttype, hydrografische condities) kunnen een effect hebben op de ecologische respons ten gevolge van verstoring. Bovendien bestaat de OH uit een relatief jonge, homogene zandlaag (Van Lancker et al., 2019), wat mogelijks als buffer tegen verstoring kan dienen.

Figuur 8: PCO plot gebaseerd op de densiteit van epibenthos soorten met indicatie van impact groep op de OH. Top stalen zijn genomen op de rug van de zandbank, flank stalen net naast de zandbank.



3.3.3. Zone 2od (Oostdyck)

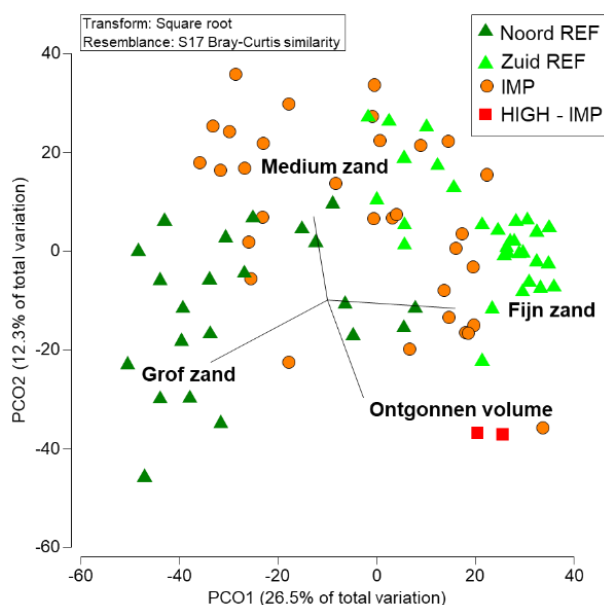
Sedimentsamenstelling en de macrobenthosgemeenschap

Om zoveel mogelijk variatie te verklaren, werd op de Oostdyck een onderscheid gemaakt tussen noordelijke en zuidelijke referentiestalen (resp. Noord REF en Zuid REF). Zeer grof, grof en fijn zand fracties verschilden significant tussen Noord REF, Zuid REF en IMP. Een duidelijke noord-zuid gradiënt in sedimentsamenstelling werd waargenomen, waarbij het sediment verfijnt van Noord naar Zuid over de rug van de OD (figuur 3c). Hierbij daalde de mediane korrelgrootte significant van $452,04 \pm 116,07 \mu\text{m}$ in Noord REF naar $342,98 \pm 17,81 \mu\text{m}$ in IMP en $310,71 \pm 11,72 \mu\text{m}$ in Zuid REF. Medium zand was de dominante fractie in alle drie de impactgroepen, maar Noord REF stalen bevatten de hoogste fractie grof zand ($29,31 \pm 14,39\%$) en Zuid REF stalen de hoogste fractie fijn zand ($27,85 \pm 5,33\%$). Tot nu toe werd er in zone 2od geen impact van zandwinning op de sedimentsamenstelling vastgesteld.

Op de OD was er geen significant effect van zandwinning op soortenrijkdom, totale densiteit en biomassa van de macrobenthosgemeenschap (resp. figuur 4 g, h, i). In 2019 echter, het eerste jaar waarin 2 locaties op de OD een cumulatief ontginningsvolume van $>7000\text{m}^3$ bereikten, werd in deze HIGH-IMP stalen

een hoger aantal soorten aangetroffen (Figuur 4g). Op de gemeenschapssamenstelling was er evenmin een significante invloed van zandwinning. Het multivariate patroon op OD is een vertaling van de waargenomen sedimentgradiënt gaande van een grof zand gemeenschap *Hesionura elongata* in de Noord REF naar een medium zand *Nephtys cirrosa* gemeenschap in de Zuid REF. De IMP stalen vertonen diezelfde natuurlijk overgang. Hier springen de 2 HIGH-IMP stalen er ook uit, voornamelijk door sterk verhoogde densiteiten van juveniele *U. brevicornis* en *N. cirrosa* (Figuur 9), wat kan wijzen op een rekruteringsgevent na verstoring. Verdere monitoring is vereist om de evolutie van deze HIGH-IMP stalen op te volgen in de tijd om te bevestigen of het hier inderdaad om een éénmalig rekruteringsgevent dan wel om beginnende veranderingen in de macrobenthos- gemeenschap door ontginningsactiviteiten gaat.

Figuur 9: PCO plot gebaseerd op densiteit van macrobenthossoorten met indicatie van de verschillende impact groepen voor de OD. Vectors tonen de omgevingsvariabelen die voor minstens $r > 0.3$ correleren met het multivariate patroon (multiple correlation type).



3.4. Conclusies

Op basis van bovenstaande resultaten kan geconcludeerd worden dat ontginningsactiviteiten het bodemleven beïnvloeden. De invloed is echter verschillend voor de bestudeerde ontginningszones en ook voor de verschillende bestudeerde ecosysteem componenten:

In zone 1 (Thorntonbank) bleef de sedimentsamenstelling in de periode met continue lage ontginning (< 1 miljoen m^3 zand/jaar) ongewijzigd. Er werd dan ook geen effect waargenomen voor het macrobenthos en ook demersale vis was gelijkaardig aan de referentiezone. Enkel voor epibenthos werd een licht effect waargenomen, vermoedelijk door verhoogde influx van organisch materiaal dat opportunistische soorten aantrekt. Echter, in de periode dat zone 1 het epicentrum wordt van de zandwinning op het BNZ is er een duidelijke effect op sedimentsamenstelling door zandwinning. Enerzijds zien we een duidelijke toename van fijn materiaal te wijten aan 'overflow' en voortdurend opwoelen van sediment tijdens zandwinning. Anderzijds observeren we een vergroving (toename in fractie $> 1600 \mu m$) door het blootleggen van een nieuwe geologische laag in combinatie met screening. Dit leidde tot een verhoogde soortenrijkdom, biomassa en densiteit voor macrobenthos in de meest intensief ($> 7000 m^3/2000m^2$) ontgonnen locaties, waarbij medium en grof zand soorten plaats maakten voor hoge densiteiten van onder meer fijn zand minnende soorten als de schelpkokerworm (*Lanice conchilega*) en opportunistische soorten als slangsterren (*Ophiura ophiura*) en de borstelworm (*P. remota*). Ook voor de epibenthos en visgemeenschap vinden we een gewijzigde gemeenschapssamenstelling met verhoogde densiteiten van opportunisten als zeesterren (*A. rubens*), slangsterren (*Ophiura sp.*), zwemkrabben (*L. holsatus*), heremietkreeften (*P. bernhardus*), pitvis (*C. Lyra*) en schar (*L. limanda*). Dit wijst op een aantrekkings door

verhoogde voedselbeschikbaarheid, waarschijnlijk door meer organisch materiaal vrijgekomen door zandwinning in combinatie met verhoogde macrobenthos (en epibenthos) dichtheden.

In zone 4c (Oosthinder) waar ontginning gekenmerkt wordt door hoge ontginningspieken gevolgd door periodes zonder ontginning wijzigde de sedimentsamenstelling eveneens. Hier observeerden we een algemene daling in mediane korrelgrootte wijzend op een verfijning in het sediment door zandwinning. Deze verfijning leidde tot een shift in macrobenthosgemeenschap van een typische grof zand naar een medium zand gemeenschap. Geen effect werd waargenomen voor de epibenthos en demersale visgemeenschap. De verfijning beïnvloedt deze meer offshore gemeenschappen niet en daarnaast was er ook voldoende tijd voor herstel tussen moment van ontginning in het voorjaar en de staalname in het najaar voor deze mobiele ecosystemen componenten.

In zone 2od (Oostdyck) had de continue lage ontginning (< 0.3 miljoen m³/jaar) tot nu toe geen effect op het bodemleven. De verschillende gemeenschappen worden gestructureerd door natuurlijke variatie in het sediment en zandwinning heeft nog niet geleid tot wijzigingen in sedimentsamenstelling.

Deze monitoringsresultaten tonen dus duidelijk aan dat de biologische respons in gebieden waar zandwinning plaatsvindt, op zijn minst afhankelijk is van (1) de lokale geologische context van de zandbank, (2) de frequentie en intensiteit van ontginning en (3) de veerkracht van de aanwezige soorten.

Kwaliteitsgarantie:

Alle analyses werden uitgevoerd in een NBN EN ISO/IEC 17025 gereguleerde omgeving. ILVO (ANIMALAB) is geaccrediteerd voor de identificatie van macrobenthos met NBN EN ISO/IEC 17025 (BELAC T-315-certificaat).

Dankwoord:

Veel dank gaat uit naar de bemanning van RV Belgica, RV Simon Stevin en Last Freedom en alle mensen die hebben geholpen tijdens de bemonsteringscampagnes. Ook grote dank aan alle ILVO collega's (Jan Wittoeck, Charles Lefranc, Stephanie Seghers, Hans Hillewaert, Felien Festjens, Kevin Vanhalst) die hielpen met het analyseren van de stalen. De collega's van FOD Economie en OD Natuur/MUMM worden bedankt voor de 'opgeschoonde' black box gegevens en de goede samenwerking.

Referenties:

Callaway, R., Alsvåg, J., De Boois, I., Cotter, J., Ford, A., Hinz, H., ... & Prince, P. (2002). Diversity and community structure of epibenthic invertebrates and fish in the North Sea. *ICES Journal of Marine Science*, 59(6), 1199-1214.

Froján, C. R. B., Cooper, K. M., Bremner, J., Defew, E. C., Hussin, W. M. W., & Paterson, D. M. (2011). Assessing the recovery of functional diversity after sustained sediment screening at an aggregate dredging site in the North Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 92(3), 358-366.

Griffin, R., Pearce, B., & Handy, R. D. (2012). Dietary preference and feeding selectivity of common dragonet *Callionymus lyra* in UK. *Journal of fish biology*, 81(3), 1019-1031.

Klimpel, S., Seehagen, A., & Palm, H. W. (2003). Metazoan parasites and feeding behaviour of four small-sized fish species from the central North Sea. *Parasitology Research*, 91(4), 290-297.

Degrendele, K., Roche, M., De Mol, L., Schotte, P., & Vandenreyken, H. (2014). Synthesis of the monitoring of the aggregate extraction on the Belgian Continental Shelf from 2011 till 2014. 'Which future for the sand extraction in the Belgian part of the North Sea?', 3 – 28.

Nichols, M., Diaz, R. J., & Schaffner, L. C. (1990). Effects of hopper dredging and sediment dispersion, Chesapeake Bay. *Environmental Geology and Water Sciences*, 15(1), 31-43.

Tillin, H. M., Houghton, A. J., Saunders, J. E., & Hull, S. C. (2011). Direct and indirect impacts of marine aggregate dredging. *Marine ALSF Science Monograph Series*, 1.

Van Hoey, G., Borja, A., Birchenough, S., Buhl-Mortensen, L., Degraer, S., Fleischer, D., ... & Schröder, A. (2010). The use of benthic indicators in Europe: from the Water Framework Directive to the Marine Strategy Framework Directive. *Marine Pollution Bulletin*, 60(12), 2187-2196.

Van Lancker V, Francken F, Kapel M, Kint L, Terseleer N, Van den Eynde D, Hademenos V, Missiaen T, De Mol R, De Tré G, Appleton R, van Heteren S, van Maanen PP, Stafleu J, Stam J, Degrendele K, Roche M. Transnational and Integrated Long-term Marine Exploitation Strategies (TILES). *Brussels: Belgian Science Policy* 2019 – 75 p.

Waye-Barker, G. A., McIlwaine, P., Lozach, S., & Cooper, K. M. (2015). The effects of marine sand and gravel extraction on the sediment composition and macrofaunal community of a commercial dredging site (15 years post-dredging). *Marine pollution bulletin*, 99(1-2), 207-215.

Wyche, C. J., & Shackley, S. E. (1986). The feeding ecology of *Pleuronectes platessa*, *Limanda limanda* and *Scophthalmus rhombus* in Carmarthen Bay, South Wales, UK. *Journal of fish biology*, 29(3),