

De resultaten van het continue onderzoek uitgevoerd
door de Dienst Continentaal Plat, het Instituut voor
Landbouw-, Visserij- en Voedingsonderzoek en
OD Natuur in de periode 2017-2020:
Rapport voor de Raadgevende Commissie

Redacteur: Helga Vandenreyken

Inhoud

1.	Monitoring van de zandwinning en de impact op de zeebodem	4
1.1.	Inleiding.....	4
1.2.	Methodologie.....	6
1.2.1.	EMS.....	6
1.2.2.	MBES-acquisitie.....	6
1.2.3.	MBES-verwerking	7
1.3.	Resultaten.....	9
1.3.1.	Actieve monitoringszones	9
1.3.2.	Gesloten monitoringszones.....	15
1.3.3.	DECCA.....	16
1.4.	Conclusies.....	18
1.5.	Aanbevelingen	18
1.6.	Dankwoord.....	18
2.	Effecten van mariene aggregaatextractie op zeebodemintegriteit en hydrografische condities. Nieuwe inzichten en ontwikkelingen	20
2.1.	Introductie	20
2.2.	Methodologie.....	21
2.2.1.	Kwantificeren van natuurlijke en door de mens-gestuurde veranderingen in sedimentkarakteristieken en -processen.....	21
2.2.2.	Proces- en systeemmodellering voor een beter begrip van de keten activiteit-druk en effecten.....	23
2.2.3.	Naar een meer duurzaam gebruik van mariene grondstoffen	24
2.3.	Resultaten.....	24
2.3.1.	Kwantificeren van natuurlijke en door de mens-gestuurde veranderingen in sedimentkarakteristieken en -processen.....	24
2.3.2.	Proces- en systeemmodellering voor een beter begrip van de keten activiteit-druk en effecten.....	27
2.3.3.	Naar een meer duurzaam gebruik van mariene grondstoffen	28
2.4.	Conclusies.....	30
2.5.	Aanbevelingen	31
3.	Het effect van zandwinning op het bodemleven in het Belgisch deel van de Noordzee	35
3.1.	Inleiding.....	35
3.2.	Methodologie.....	35
3.2.1.	Staalnames.....	35
3.2.2.	Data analyses	38
3.3.	Resultaten en discussie	39
3.3.1.	Zone 1 (Thorntonbank)	39

3.3.2. Zone 4c (Oosthinder).....	43
3.3.3. Zone 2od (Oostdyck).....	45
3.4. Conclusies.....	46

1. Monitoring van de zandwinning en de impact op de zeebodem

Barette Florian^{*1}, Degrendele Koen^{*1}, Roche Marc¹

^{*}Spreker: florian.barette@economie.fgov.be en koen.degrendele@economie.fgov.be

¹ FOD Economie, K.M.O., Middenstand en Energie, Algemene Directie Kwaliteit en Veiligheid, Dienst Continentaal Plat, Koning Albert II-laan 16, 1000 Brussel

1.1. Inleiding

Omwille van het coronavirus werd de studiedag 'Zeezand in een 360°-perspectief', die op 20 november 2020 zou doorgaan, uitgesteld naar 19 november 2021. In overeenstemming met artikel 3, § 5 van de wet van 13 juni 1969 inzake de exploratie en de exploitatie van de niet-levende rijkdommen van de territoriale zee en het continentaal plat wordt in dit rapport een overzicht gegeven van de belangrijkste monitoringresultaten van de voorbije drie jaren. Dit rapport is een vervolg op en actualisatie van de vorige rapportering:

Roche, M., Degrendele, K., Vandenreyken, H., Schotte, P., 2017. Multi time and space scale monitoring of the sand extraction and its impact on the seabed by coupling EMS data and MBES measurements. In: Degrendele, K. and Vandenreyken, H. (Ed.). *Belgian marine sand: a scarce resource?* Study day, 9 June 2017, Hotel Andromeda - Ostend. pp. 5 - 37.

Samen met onderstaande rapporten van de andere betrokken instellingen, vormt dit het driejaarlijkse overzicht van de monitoringsactiviteiten:

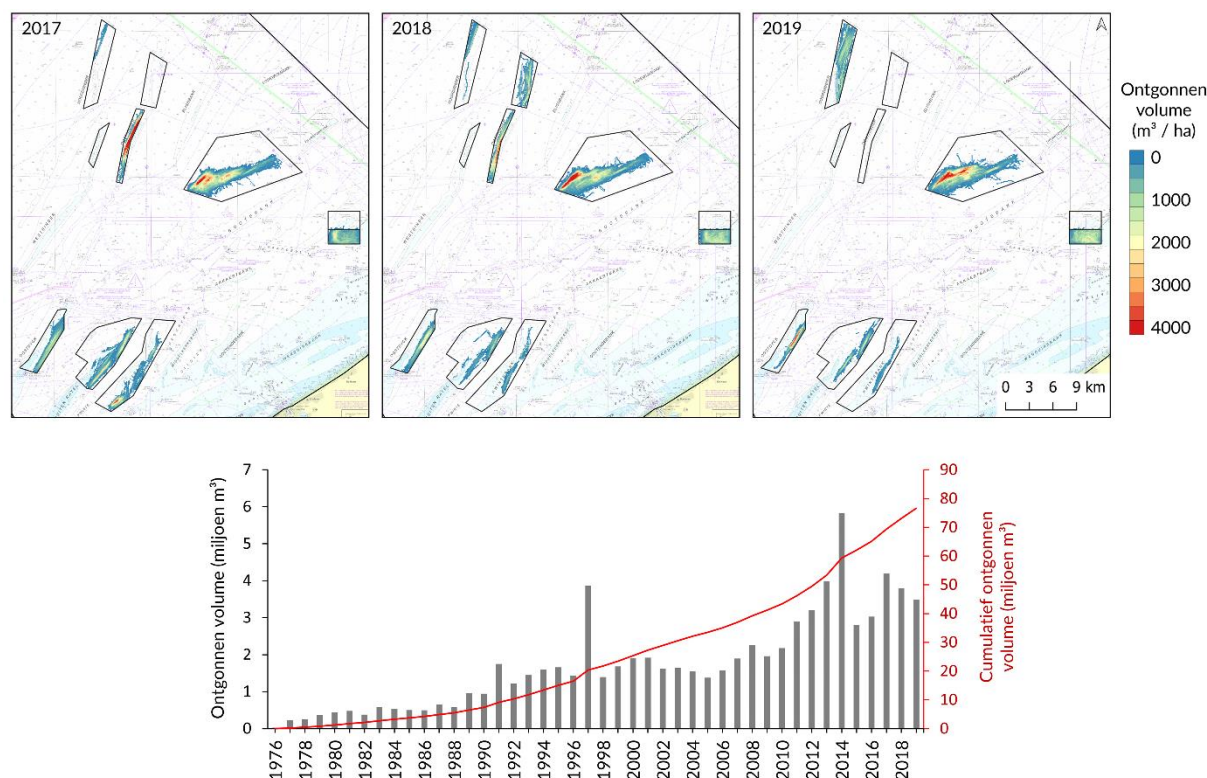
- Wyns L., Hostens K., De Backer A., 2020. Het effect van zandwinning op het bodemleven in het Belgisch deel van de Noordzee. In: *Resultaten monitoring: 2017-2020*.
- Van Lancker, V., Baeye, M., Francken F., Kint, L., Montereale Gavazzi, G., Terseleer, N., & Van den Eynde, D., (2020). Effecten van mariene aggregaatextractie op zeebodemintegriteit en hydrografische condities. Nieuwe inzichten en ontwikkelingen. In: *Resultaten monitoring: 2017-2020*.

De impact van zand- en grindwinning op het mariene milieu wordt door de Dienst Continentaal Plat van de FOD Economie gemonitord op basis van de analyse en interpretatie van Electronic Monitoring System (EMS) en Multibeam Echosounder (MBES) gegevens. EMS (ook gekend als 'black box') is een automatisch registreersysteem dat aan boord is van elk ontginningsvaartuig dat actief is in het Belgische deel van de Noordzee (BNZ). De EMS registreert informatie met betrekking tot de locatie en ontginningsactiviteiten van het vaartuig (vb. status van de pompen en ontgonnen volume). Aan de hand van de EMS-gegevens kunnen ontginningsactiviteiten gemonitord en de ontgonnen volumes en dieptes in detail gekarteerd worden (figuur 1).

Een MBES is een akoestisch instrument waarmee onder andere de bathymetrie (hoogteligging van de zeebodem) en informatie over de aard van het sediment op de zeebodem (aan de hand van de backscatter) in kaart wordt gebracht. Door gebruik te maken van de MBES aan boord van de RV Belgica en RV Simon Stevin, wordt op een bepaald tijdstip de bathymetrie en de aard van het sediment van een bepaalde monitoringszone of referentielijn in kaart gebracht (figuur 2).

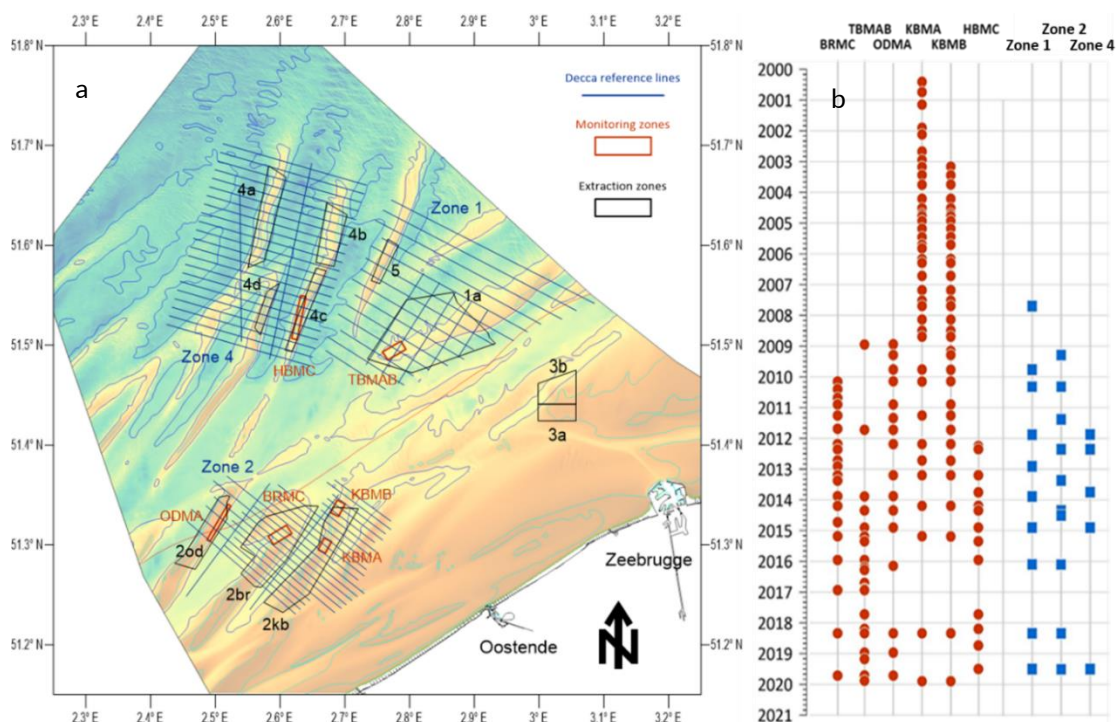
Figuur 1. Ontgonnen volume op basis van EMS-gegevens voor 2017, 2018 en 2019 en jaarlijks (cumulatief) ontgonnen volume over de periode 1976 – 2019 op basis van de registers.

Achtergrond: hydrografische kaart D11 – Vlaamse Hydrografie.



Figuur 2. (a) Locatie van de monitoringszones (rood) en decca-referentielijnen (blauw). (b) Tijdlijn van de verschillende MBES-surveys van de monitoringszones en decca-referentielijnen, die in dit rapport besproken worden.

De controlezones worden weergegeven in het zwart.



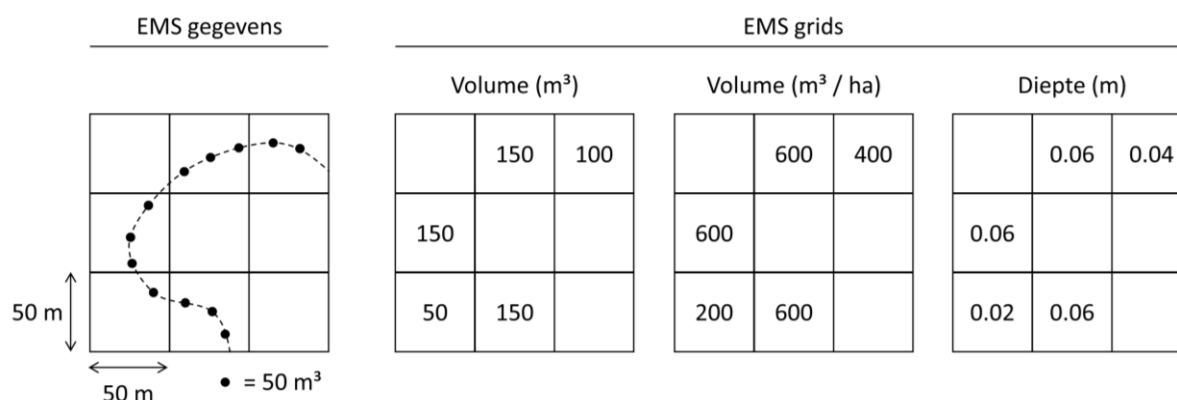
Door regelmatig op dezelfde monitoringszone of langs een vaste deccalijn MBES-metingen uit te voeren, kan de evolutie van de bathymetrie en de aard van het sediment geanalyseerd worden op die locatie. De EMS- en MBES-gegevens zijn complementair: MBES-gegevens zijn gedetailleerde momentopnames en EMS-data geven continu informatie over zandontginning in tijd en ruimte. De EMS- en MBES-gegevens laten toe om (1) de impact van zand- en grindwinning op de zeebodem te analyseren op een lokale (monitoringzone) en globale schaal (decca-referentielijn en BNZ) en (2) te controleren of de impact van zandwinning binnen de wettelijke toegestane limieten blijft.

1.2. Methodologie

1.2.1. EMS

EMS-gegevens bestaan uit puntobservaties met informatie over onder andere locatie, tijdstip en ontgonnen volume van ontginningsvaartuigen die actief zijn op het BNZ. Door een grid met een bepaalde resolutie te definiëren op de locaties van deze puntobservaties, kan het ontgonnen volume (in m^3 of m^3/ha) en de ontgonnen diepte (in m) afgeleid worden voor een bepaalde periode (figuur 3) en vergeleken worden met de op basis van MBES berekende volumes en dieptes.

Figuur 3. Schematische weergave van de omzetting van EMS gegevens naar volume en diepte grids.



1.2.2. MBES-acquisitie

De MBES-metingen vinden plaats aan boord van de onderzoeksschepen RV Belgica en RV Simon Stevin. Beide schepen beschikken over een specifiek MBES-systeem voor het uitvoeren van surveys in ondiep water op het continentaal plat. Op de RV Belgica maken we gebruik van de Kongsberg EM3002D, die in 2008 in samenwerking met de beherende overheidsdienst van de Belgica, het Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen (KBIN) – Operationele Directie Natuurlijk Milieu (OD Natuur), aan boord geïnstalleerd werd en door de Dienst Continentaal Plat beheerd wordt. Op de RV Simon Stevin gebruiken we de Kongsberg EM2040D van het Vlaams Instituut voor de Zee (VLIZ), waarvan de Dienst Continentaal Plat en het VLIZ samen de goede werking garanderen. Met beide systemen worden simultaan bathymetrische en backscattergegevens opgenomen die de monitoring van de impact van de zandwinning op respectievelijk de morfologie en samenstelling van de zeebodem mogelijk maken. De hydrografische kwaliteit van de data wordt verzekerd door systematische referentiemetingen op de akoestische referentiezone Kwinte. Deze zone is in het lopende Marien Ruimtelijk Plan beschermd, zodat de stabiliteit van de zeebodem niet door menselijke activiteiten aangetast kan worden.

1.2.3. MBES-verwerking

Bathymetrie

De bathymetrische gegevens worden na de acquisitie aan boord verder verwerkt in het softwareprogramma Qimera. Na een aantal handelingen om tot een correcte verticale positionering (diepte ten opzichte van een vast referentieniveau - LAT) te komen en het wegfilteren van foute waarnemingen, wordt een gedetailleerd terreinmodel van de zeebodem berekend. Deze terreinmodellen vormen de basis van de tijdsreeksen en maken de verdere analyse en evaluatie van de impact van de ontginning op de zeebodemitopografie mogelijk.

Backscatter

Het gebruik van de backscatter als een proxy voor de aard van het sediment op de zeebodem in het kader van een monitoringsprogramma vereist een stabilisatie van de acquisitieparameters van de MBES aan boord van het schip (in het bijzonder de pulslengte) en een standaardisatie van de gegevensverwerking. De volgende benadering wordt gebruikt voor de verwerking van de backscattergegevens: voor elke survey wordt het gemiddelde en standaarddeviatie van de backscatter berekend op basis van het niet-gecompenseerde ruwe signaal, dat gecorrigeerd wordt voor verlies aan signaalsterkte en het geïsonificeerde oppervlak, berekend op de basis van de werkelijke invalshoek. Alleen backscatterwaarden met een invalshoek van $\pm [30^\circ - 50^\circ]$ worden in aanmerking genomen. Deze benadering wordt uitgevoerd door gebruik te maken van de MBES SonarScope-verwerkingssoftware van IFREMER. Naast deze gecontroleerde kwantitatieve benadering wordt voor elke survey een backscattermodel berekend met de QPS FMGT-software.

Overzicht MBES-data

De monitoring van de impact van zandwinning op de zeebodem is traditioneel gebaseerd op het vergelijken van opeenvolgende MBES-metingen in de controlezones. De tijdsreeksen bestaan enerzijds uit terreinmodellen van monitoringszones, waar de lokale impact in een klein gebied in detail bestudeerd wordt, en anderzijds uit reeksen metingen langs decca-referentielijnen over de zandbanken, om op lange termijn en over een groter gebied de impact van zandwinning op de zeebodem te kunnen bestuderen (figuur 2a). De afbakening van de monitoringszones is gebaseerd op de ontginningsvolumes op basis van EMS, zodat geconcentreerd wordt op de evolutie van de meest ontgonnen zones.

De decca-referentielijnen, die dwars op de zandbanken over de hele controlezones liggen, laten toe de impact van zandwinning in zones met verschillende ontginningsintensiteiten te vergelijken. Figuur 2a toont de locatie van de monitoringszones en decca-referentielijnen op het BNZ, besproken in dit rapport. De tijdlijn in figuur 2b geeft een overzicht van alle MBES-surveys die op deze monitoringzones en decca-referentielijnen uitgevoerd werden. Het aantal monitoringszones neemt gestaag toe omwille van de voortdurende aanpassing van de monitoringstrategie aan de wijzigingen in de ruimtelijke spreiding van de ontginning. De onderbrekingen in de tijdsreeksen in 2016 en 2017 zijn het gevolg van de langdurige onbeschikbaarheid van de RV Belgica in deze periode.

In de periode 2018-2020 karteerde de Dienst Continentaal Plat een aantal volledige controlezones met MBES. De nieuwe controlezone 5 op de Blighbank werd in 2018 voor het eerst gekarteerd. In 2019 en 2020 werd een nieuwe volledige kartering uitgevoerd van controlezone 3, volgens de nieuwe begrenzing van het Marien Ruimtelijk Plan (MRP) 2020 - 2026. Figuur 4 toont van beide zones de nieuwe bathymetrische en backscatterkaarten. Met de volledige herwerking van alle MBES-gegevens van controlezone 2, beschikken alle controlezones nu over een gedetailleerd en optimaal verwerkt bathymetrisch referentiemodel.

1.3. Resultaten

1.3.1. Actieve monitoringszones

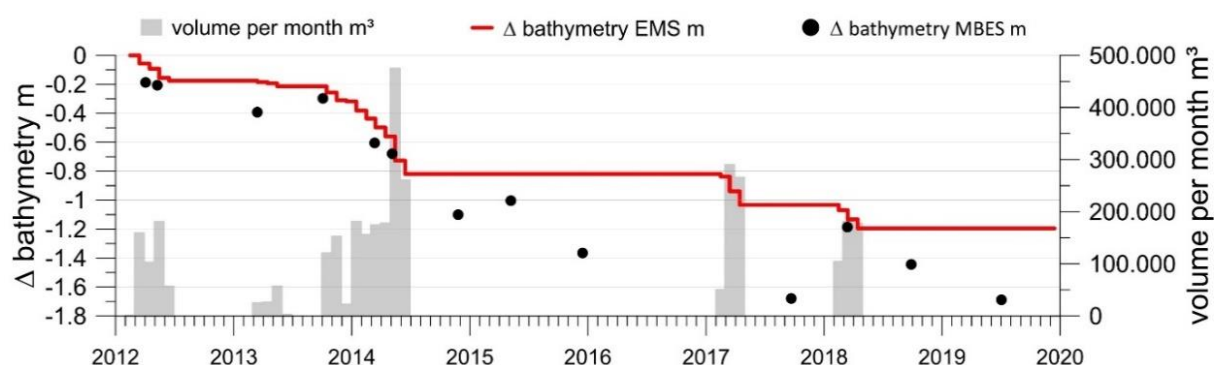
In dit rapport worden de resultaten van drie monitoringszones voorgesteld die door een zeer verschillende periodiciteit en intensiteit van ontginning gekenmerkt worden. Deze monitoringsresultaten laten toe om duidelijke conclusies te trekken over de impact van zandwinning in actieve ontginningszones.

HBMC

Monitoringszone HBMC heeft een oppervlakte van 2.8 km² en werd in 2012 vastgelegd op de Oosthinder, in het centrale gedeelte van controlezone 4c (figuur 2a). Het ontgonnen zand van deze zone wordt uitsluitend gebruikt voor strandsuppleties. Zandontginning is hier bijzonder intensief (het ontgonnen volume overschreed 200.000 m³ per maand in 2014, 2017 en 2018) en vindt doorgaans enkel tijdens het eerste kwartaal van het jaar plaats (figuur 5). Van 2012 tot 2019 werd over een effectieve periode van 24 maanden in totaal 3.4 10⁶ m³ zand ontgonnen in monitoringszone HBMC (ca. 60% van het totaal ontgonnen volume van controlezone 4c voor dezelfde periode).

Van 2012 tot 2019 vertoont de gemiddelde bathymetrie van monitoringszone HBMC een daling van ongeveer 2 m. Na de intense ontginningsfases van eind 2013 – begin 2014, 2017 en 2018 werd een significante verlaging van de bathymetrie opgemerkt (figuur 5).

Figuur 5. Maandelijks ontgonnen volume (grijze balken) en bathymetrisch verschil berekend op basis van (1) het verschil tussen het bathymetrisch referentiemodel (2004 – 2006) en de verschillende bathymetrische modellen afgeleid van MBES-metingen (zwarte punten) en (2) de EMS-gegevens (rode lijn) voor HBMC.



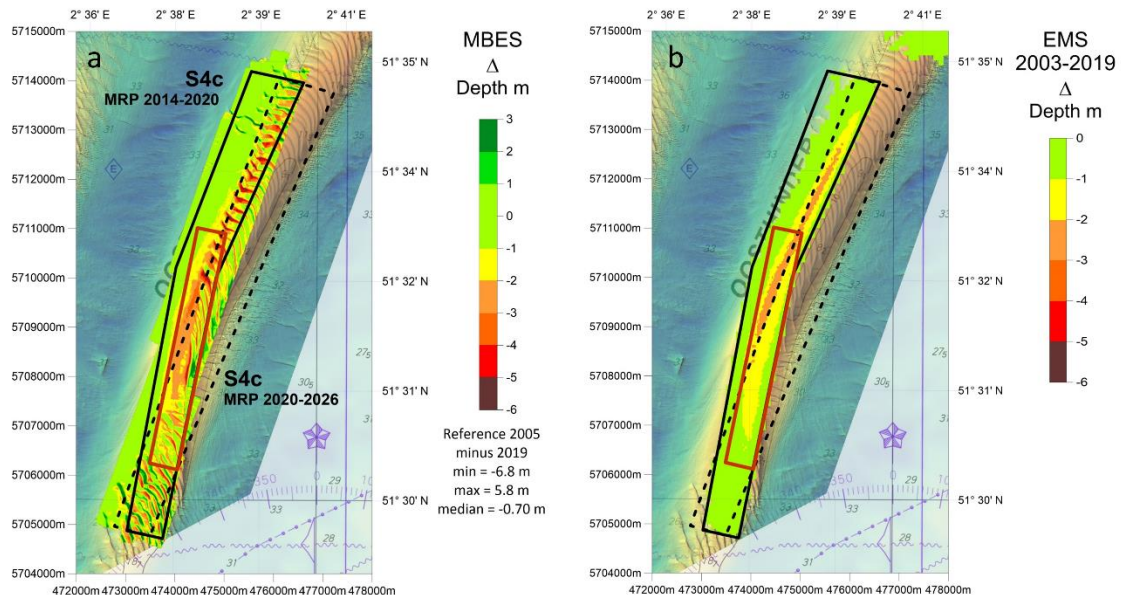
Het verschil in diepte tussen de laatste MBES-meting (eind 2019) en het referentiemodel van controlezone 4c (vastgelegd tussen 2004 en 2006) toont een langwerpige zone op de westelijke flank van de bank, waar de zandontginning geconcentreerd was en een significante afname van de bathymetrie van 2 tot 3 m veroorzaakte (figuur 6a). Figuur 6b toont het bathymetrisch verschil over de periode 2003 – 2019 op basis van de EMS-gegevens. De ruimtelijke correlatie tussen beide kaarten is opmerkelijk, en benadrukt het verband tussen het ontgonnen volume en de daling van de bathymetrie.

De evolutie van het gemiddelde backscatterniveau voor monitoringszone HBMC vertoont een progressieve daling van ongeveer -25 dB in 2012 naar -29 dB in 2019 (figuur 7a). Het verwijderen van een oppervlaktelaag met een overvloed aan schelpfragmenten op de westelijke flank van de bank en het geleidelijk blootleggen van een onderliggende laag fijner zand, door zandwinning, kan deze evolutie verklaren (figuur 7b).

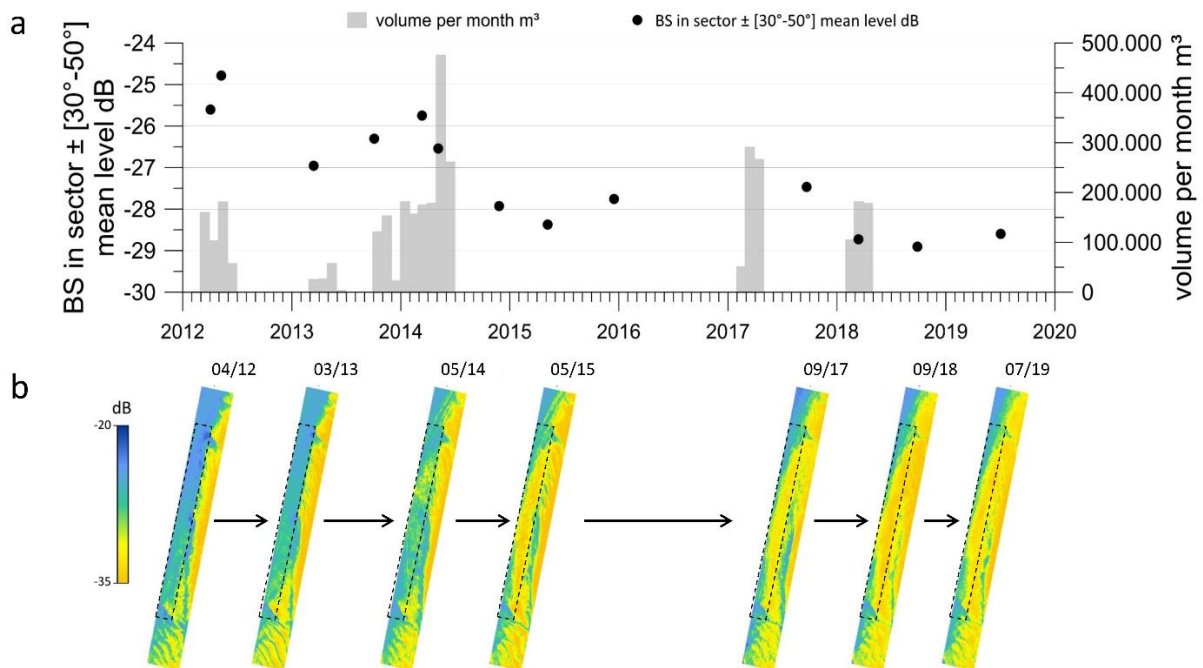
Figuur 6. (a) Verschil tussen het meest recente bathymetrisch model (RV Belgica EM3002d c1918 - 03/07/2019) en het bathymetrisch referentiemodel van controlezone 4c (2004 - 2006). (b) Bathymetrisch verschil over de periode 2003 - 2019 op basis van de EMS-gegevens.

De locatie van controlezone 4c wordt aangegeven met een zwarte volle lijn (MRP 2014 - 2020) en een zwarte onderbroken lijn (MRP 2020 - 2026). Monitoringszone HBMC wordt aangegeven met een rode lijn.

Achtergrond: hydrografische kaart D11 - Vlaamse Hydrografie.



Figuur 7. (a) Maandelijks ontgonnen volume (grijze balken) en evolutie van het gemiddelde backscatterniveau (zwarte punten) in monitoringszone HBMC. (b) Opeenvolgende backscattermodellen (grid van 10 x 10 m met gemiddelde backscatterwaarde) van monitoringszone HBMC per MBES-campagne uitgevoerd met de RV Belgica (maand/jaar).

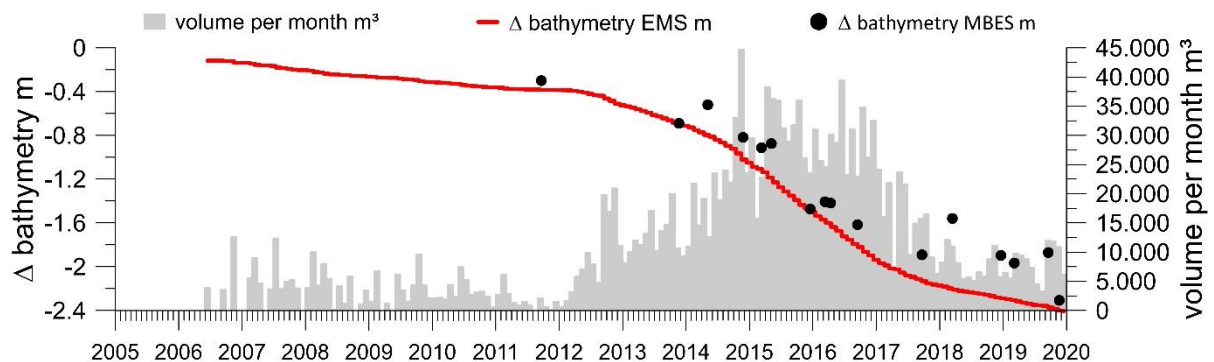


TBMAB

Monitoringszone TBMAB heeft een oppervlakte van 0.8 km² en werd in 2008 vastgelegd op het westelijke deel van de Thorntonbank, in controlezone 1a (figuur 2). Zandontginning in deze zone was aanvankelijk gering over de periode 2006 – 2012. Vanaf 2012 zijn de ontgonnen volumes progressief toegenomen tot meer dan 25000 m³ per maand over de periode 2015 – 2017 (figuur 8). Sinds 2018 zijn de ontgonnen volumes progressief afgenomen omwille van de oostwaartse migratie van de ontginning op de Thorntonbank. Van 2006 tot 2019 werd in totaal 1.9 10⁶ m³ zand ontgonnen in deze zone, hoofdzakelijk voor industriële doeleinden.

Omwille van de oostwaartse migratie van de ontginning op de Thorntonbank werden de MBES-metingen eveneens uitgebreid naar het oosten. In dit verslag worden de monitoringsresultaten voorgesteld voor de TBMAB-monitoringszone zoals gedefinieerd in 2008.

Figuur 8. Maandelijks ontgonnen volume (grijze balken) en bathymetrisch verschil berekend op basis van (1) het verschil tussen het bathymetrisch referentiemodel (2000) en de verschillende bathymetrische modellen afgeleid van MBES metingen (zwarte punten) en (2) de EMS gegevens (rode lijn) voor TBMAB.



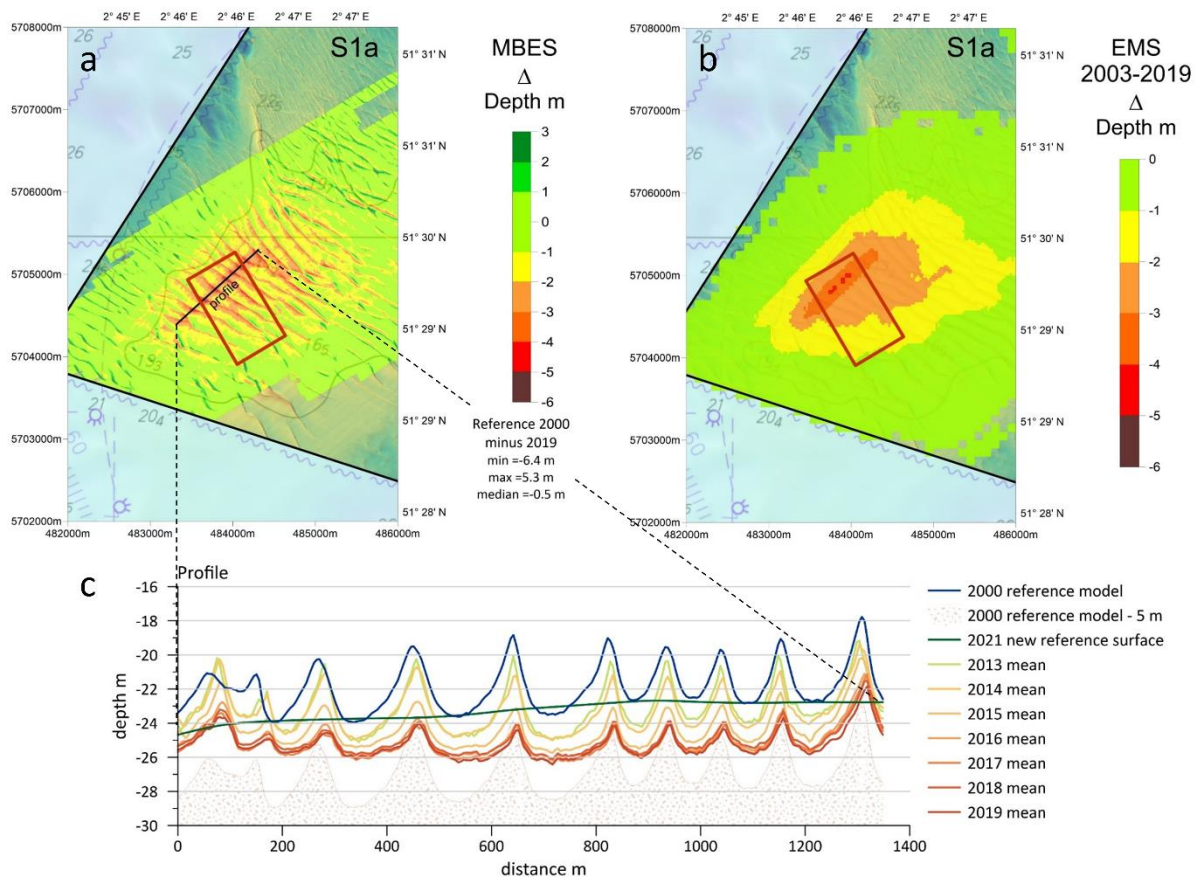
Het verschil in diepte tussen de laatste MBES-survey (eind 2019) en het referentiemodel van controlezone 1a (vastgelegd in 2000) toont een duidelijke ZW – NO georiënteerde depressie waar zandontginning geconcentreerd was en lokaal een diepteverschil tot 5 m ontstond (figuur 9a). Rond deze depressie neemt het diepteverschil geleidelijk af. De dynamiek van de grote zandgolven die aanwezig zijn op de Thorntonbank - waarvan de verschuivingen verticale variaties tot 3 m in amplitude kunnen genereren - is duidelijk zichtbaar in figuur 9a. Het diepteverschil over de periode 2003 – 2019 op basis van de EMS-gegevens, dat afgebeeld wordt in figuur 9b, illustreert de sterke ruimtelijke correlatie met de evolutie op basis van MBES (figuur 9a). Figuur 9c toont de evolutie van de bathymetrie van 2000 tot 2019 doorheen de ZW – NE georiënteerde depressie. De limiet van 5 m werd in 2016 bereikt op de toppen van enkele zandgolven. De bathymetrie bleef vervolgens stabiel en toont aan dat de ontginning sterk afnam rond het profiel. Met uitzondering van de toppen van de twee grote zandgolven die zich aan het uiteinde van het profiel bevinden, ligt de huidige bathymetrie volledig onder het nieuwe referentieniveau.

De evolutie van het gemiddelde backscatterniveau voor monitoringszone TBMAB toont een stijging van ongeveer -22 dB in 2014 naar -20 dB in 2016 (figuur 10a). Na 2017 stabiliseert het gemiddelde backscatterniveau rond -19 dB. Deze evolutie reflecteert een evolutie naar een ruwere zeebodem en kan mogelijk verklaard worden door (1) het grote aantal groeven (baggersporen) op de zeebodem die een invloed hebben op de backscatter (2) het zeven van het sediment tijdens het ontginnen dat de grovere fracties en schelpen achterlaat.

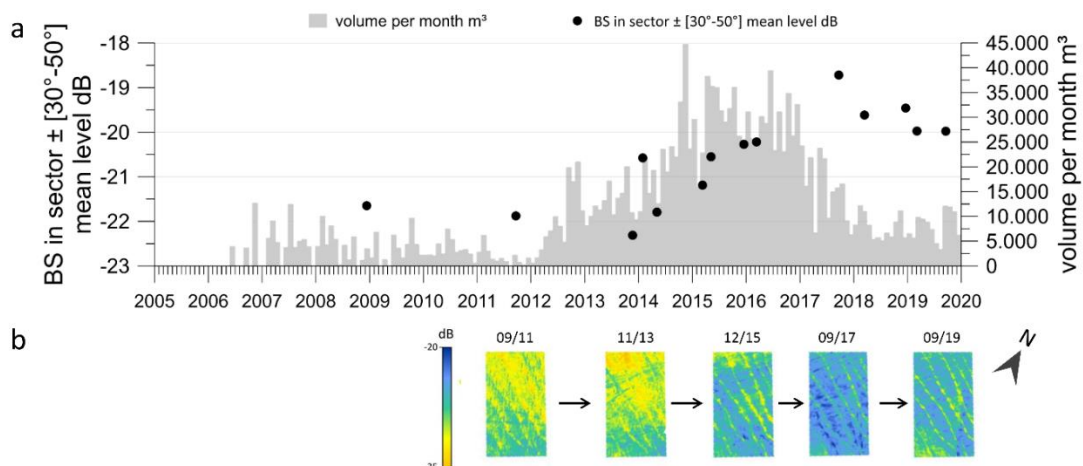
Figuur 9. (a) Verschil tussen het meest recente bathymetrisch model (RV Simon Stevin EM2040d 19-800 – 20/11/2019) en het bathymetrisch referentiemodel van controlezone 1a (2000). (b) Bathymetrisch verschil over de periode 2003 – 2019 op basis van de EMS-gegevens. (c) Bathymetrisch profiel (locatie aangeduid op (a)).

De afbakening van controlezone 1a en monitoringszone TBMA worden respectievelijk weergegeven in zwart en rood.

Achtergrond: hydrografische kaart D11 – Vlaamse Hydrografie.



Figuur 10. (a) Maandelijks ontgonnen volume (grijze balken) en evolutie van het gemiddelde backscatterniveau (zwarte punten) in monitoringszone TBMA. (b) Opeenvolgende backscattermodellen (gemiddelde waarde over een grid van 10 x 10 m) van monitoringszone TBMA per MBES-campagne uitgevoerd met de RV Belgica (maand/jaar).

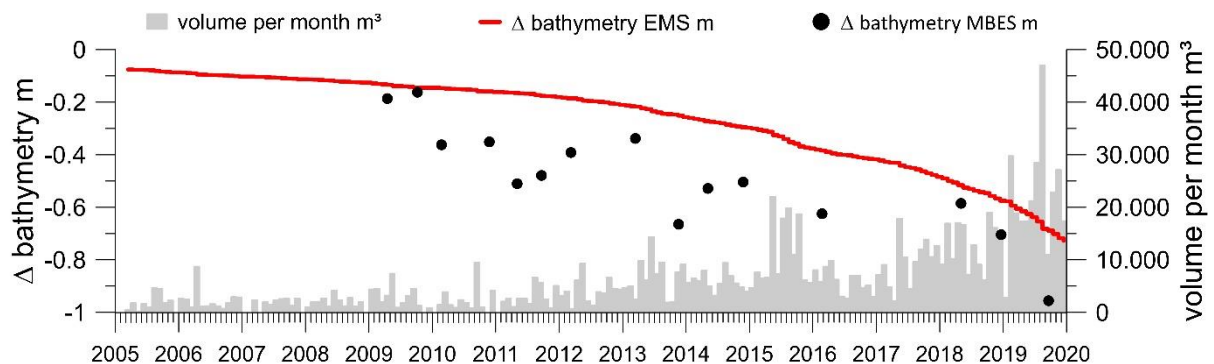


ODMA

Monitoringszone ODMA heeft een oppervlakte van 1.7 km² en werd in 2007 vastgelegd op de oostelijke flank van de Oostdyck, in controlezone 2od (figuur 2a). Van 2005 tot 2015 was zandontginning hier beperkt in intensiteit met gemiddeld minder dan 5000 m³ per maand. Sinds 2015 is de ontginning progressief toegenomen tot ongeveer 20000 m³ per maand in 2019 (figuur 11). In totaal werd 1.2 10⁶ m³ zand ontgonnen in monitoringszone ODMA sinds 2005 (ca. 47% van het totaal ontgonnen volume van controlezone 2od voor dezelfde periode).

De bathymetrische variaties berekend op basis van de MBES- en EMS-gegevens tonen opnieuw dezelfde evolutie (figuur 11). De verticale afwijking tussen beide zou verklaard kunnen worden door een aantal systematische fouten, namelijk een onderschatting van het ontgonnen volumes in de EMS-gegevens, en afwijkingen op de bathymetrische modellen.

Figuur 11. Maandelijks ontgonnen volume (grijze balken) en bathymetrisch verschil berekend op basis van (1) het verschil tussen het bathymetrisch referentiemodel (2003) en de verschillende bathymetrische modellen afgeleid van MBES metingen (zwarte punten) en (2) de EMS gegevens (rode lijn) voor ODMA.



Het verschil in diepte tussen de laatste MBES-survey (eind 2019) en het referentiemodel van controlezone 2od (vastgelegd in 2003) wordt voorgesteld in figuur 12a. De bathymetrische variaties van +4 m tot - 4 m worden voornamelijk veroorzaakt door de migratie van de zandgolven. De variatie in diepte op basis van EMS-gegevens over de periode 2003 – 2019 (figuur 12b) toont een verdieping van 1 tot 2 m langs de hoofdas van monitoringszone ODMA.

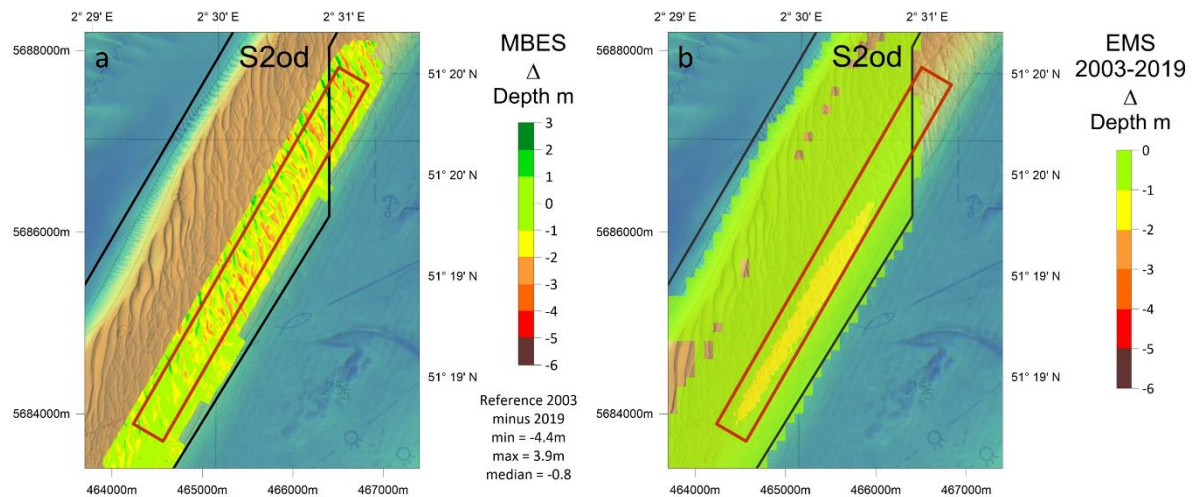
De evolutie van het gemiddelde backscatterniveau voor monitoringszone ODMA vertoont een schommeling rond -30 dB zonder significante trend (figuur 13a). De afwezigheid van significante veranderingen is duidelijk zichtbaar in de opeenvolgende backscattermodellen (figuur 13b) en suggereert dat zandwinning een beperkt impact heeft op de aard van het sediment in deze zone. De intensiteit van ontginning is waarschijnlijk te laag om een significante verandering van het sediment te kunnen veroorzaken.

Mede dankzij de migratie en dynamiek van de zandgolven, overstijgt de lage intensiteit van ontginning de veerkracht in het sedimentaire systeem niet (zie '*Het effect van zandwinning op het bodemleven in het Belgisch deel van de Noordzee*' door Wyns et al.) Echter, zowel de EMS- als MBES-evolutie geven het langetermijneffect van de ontginning weer (figuur 12).

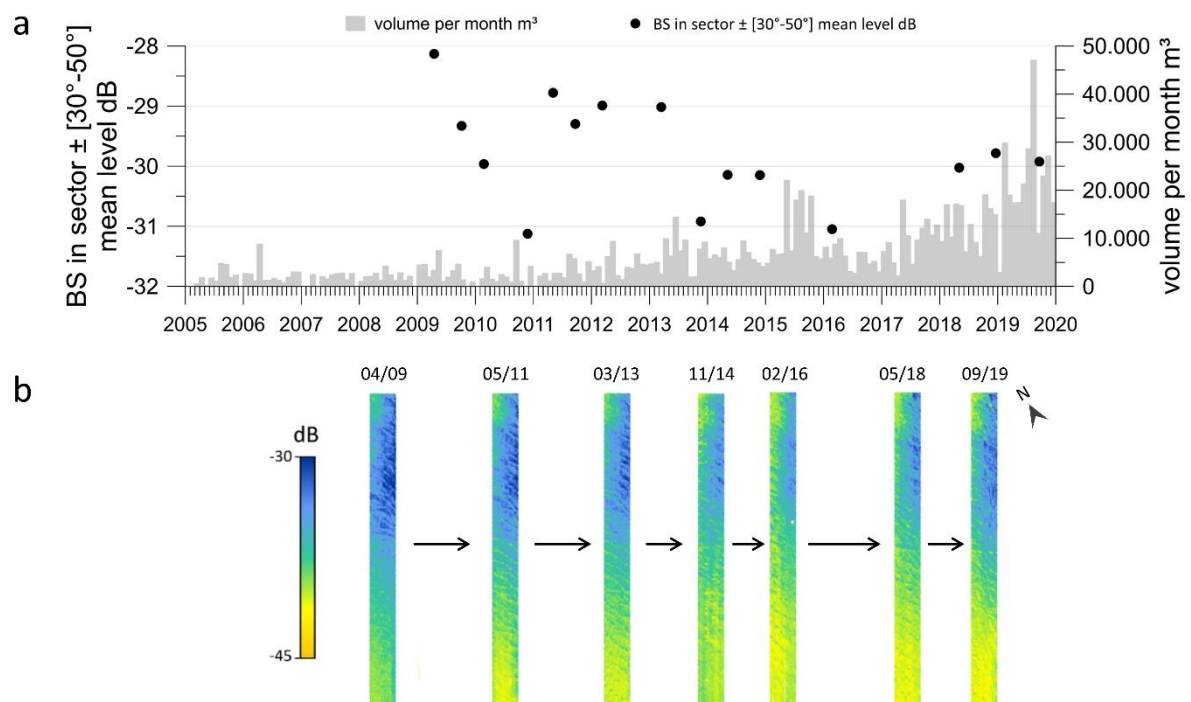
Figuur 12. (a) Verschil tussen het meest recente bathymetrisch model (RV Belgica EM3002d c1923 - 20/09/2019) en het bathymetrisch referentiemodel van controlezone 2od (2003). (b) Bathymetrisch verschil over de periode 2003 – 2019 op basis van de EMS-gegevens.

De locatie van controlezone 2od wordt aangegeven met een zwarte lijn. Monitoringszone ODMA wordt aangegeven met een rode lijn.

Achtergrond: hydrografische kaart D11 – Vlaamse Hydrografie.



Figuur 13. (a) Maandelijks ontgonnen volume (grijze balken) en evolutie van de gemiddelde backscatterwaarde (zwarte punten) in monitoringszone ODMA. (b) Opeenvolgende backscattermodellen (gemiddelde waarde over een grid van 10 x 10 m) van monitoringszone ODMA per MBES-campagne uitgevoerd met de RV Belgica (maand/jaar).



1.3.2. Gesloten monitoringszones

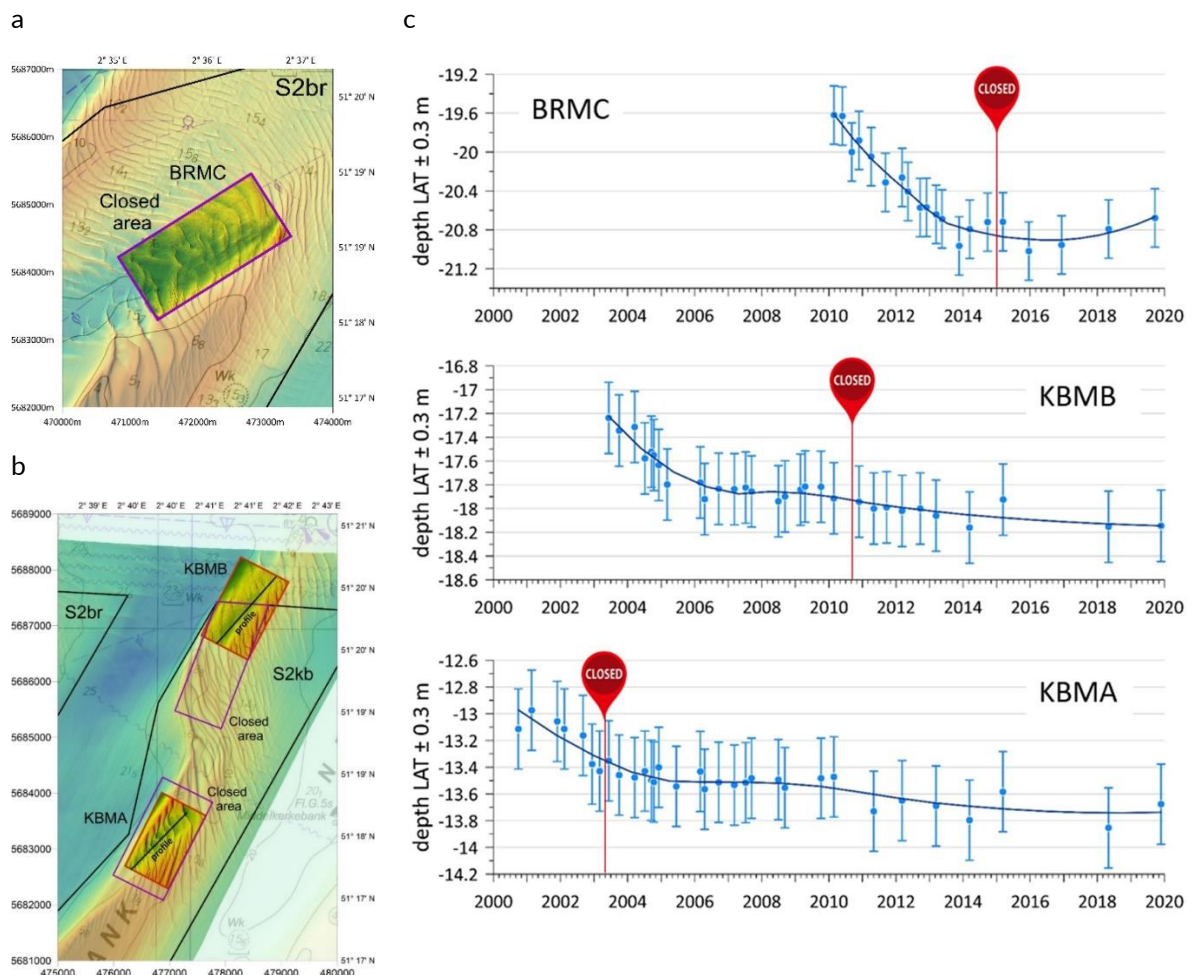
Na een periode van intense ontginning werden twee zones op de Kwintebank (KBMA op 15/02/2003 en KBMB op 01/10/2010) en een zone op de Buiten Ratel (BRMC op 01/01/2015) gesloten voor ontginning, nadat de wettelijke limiet van 5 m onder het referentieniveau overschreden werd (Figuur 14a en b).

Na het sluiten van deze gebieden werden de MBES-metingen verdergezet. Op basis van deze tijdsreeksen kan bepaald worden of na het stoppen van de ontginning, een verdere erosie van de zeebodem of in tegendeel een progressief herstel van de zeebodem plaatsvindt.

In de zone BRMC stopte de afname van de bathymetrie in 2014, net voor de sluiting van de zone op 01/01/2015 (figuur 14c). De MBES-metingen van 2015 – 2019 tonen een gestage toename, van de orde van 0.3 m in totaal.

Figuur 14. (a) Ligging van de voor ontginning gesloten BRMC zone op de Buiten Ratel (controlezone 2br). (b) Ligging van de voor ontginning gesloten KBMA en KBMB zones op de Kwintebank (controlezone 2kb). (c) Bathymetrische evolutie van de BRMC, KBMA en KBMB zones op basis van MBES metingen.

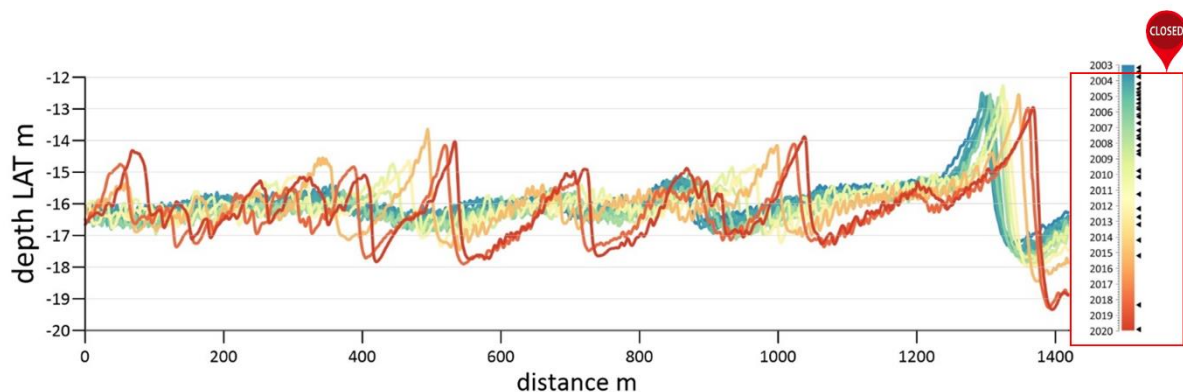
Een systematische fout van 0.3 m wordt in rekening genomen (foutbalken).



Na het stopzetten van de ontginning in KBMA in februari 2003 blijft de bathymetrie nagenoeg stabiel van 2005 tot 2010 (figuur 14c). Na een lichte daling van ongeveer 0.2 m tussen 2010 en 2011, blijkt de bathymetrie eveneens stabiel van 2012 tot 2019. In het algemeen bevestigen de recentste gegevens de bevindingen van 2010 met betrekking tot het gebrek aan herstel van de centrale depressie van de Kwintebank. Een reconstructie van de duinmorfologie is duidelijk zichtbaar in de recentste MBES-gegevens (figuur 15).

De evolutie van KBMB is heel gelijklopend met die van KBMA. Na het stopzetten van de ontginning in KBMB in oktober 2010, vertoont de bathymetrie een lichte daling tot 2013. Na 2014 schommelt de bathymetrie van zone KBMB rond 18.1 m, zonder zichtbare trend (figuur 14c). Deze gegevens tonen aan dat er geen significante sedimentaire toename of erosie op KBMB plaatsvindt na het stopzetten van de ontginning.

Figuur 15. Bathymetrisch profiel van KBMA (zie figuur 14b voor de locatie van het profiel).



1.3.3. DECCA

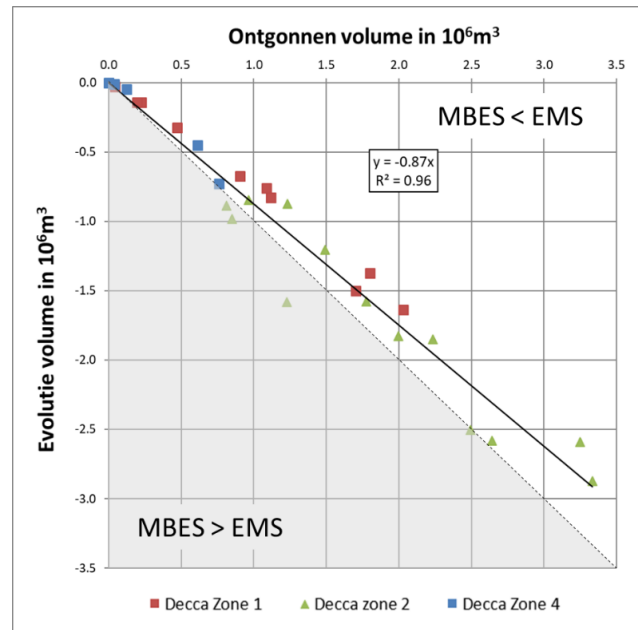
In de periode 2017-2019 werden de decca-referentielijnen slechts tweemaal opgemeten in controlezone 1 (Thorntonbank) en 2 (Kwintebank, Buiten Ratel en Oostdyck), en slechts éénmaal in controlezone 4 (Hinderbanken; figuur 2b). De MBES-metingen langs de decca-referentielijnen leveren bijkomende informatie over het verschil in evolutie tussen ontgonnen en niet-ontgonnen delen van de controlezones, en laten toe om de relatie tussen EMS en MBES op een globale manier te analyseren. De recente data werd op dezelfde manier verwerkt en geanalyseerd zoals gepresenteerd en gepubliceerd werd op de voorbije studiedag (2017). Alle beschikbare gegevens werden samengevat in onderstaande grafiek (figuur 16), die de relatie weergeeft tussen het ontgonnen volume op basis van de EMS-gegevens en de door de MBES waargenomen evolutie van de zeebodem.

De nieuwe karteringen bevestigen de conclusies van 2017:

- Er is een goede correlatie tussen de EMS en MBES afgeleide volumes (een R^2 waarde van 0.96).
- De volumes op basis van EMS zijn overwegend hoger dan de respectievelijke volumes op basis van MBES (lineaire regressie: $y = -0.87x$). Enkel in zone 2 (Vlaamse Banken) zijn er enkele uitzonderingen op deze regel.
- Zoals voorheen al geobserveerd werd, is er een lichte algemene daling van de bathymetrie vastgesteld in de delen van de zones waar geen ontginning plaatsvond (figuur 17).

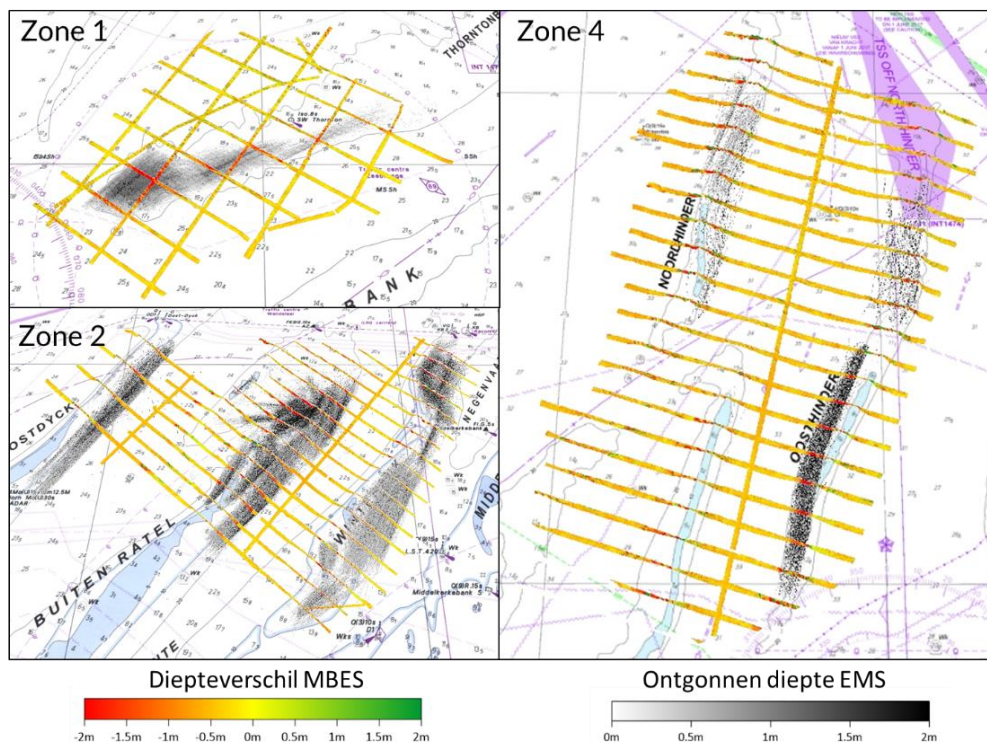
Figuur 16. Relatie tussen het ontgonnen volume op basis van de EMS (horizontaal) en het berekende volumeverschil tussen de MBES-metingen (verticaal) voor elke survey.

De punten worden voor elke zone in een ander kleur voorgesteld (rood/groen/blauw). De zone waar de ontgonnen volumes groter zijn dan de berekende verschilvolumes is afgebeeld in wit. De zone waar de ontgonnen volumes kleiner zijn dan de berekende verschilvolumes is afgebeeld in het grijs. De regressielijn is berekend voor alle zones samen. De vergelijking van de regressielijn en de correlatiecoëfficiënt R^2 worden weergegeven.



Figuur 17. Diepteverschil tussen de recente bathymetrische survey's van juli 2019 in de drie controlezones en de bathymetrische referentiekaarten van de verschillende zones.

Achtergrond: Ontgonnen diepte op basis van EMS gegevens tot juli 2019. Achtergrond: hydrografische kaart D11 - Vlaamse Hydrografie.



1.4. Conclusies

Regelmatige MBES-metingen in monitoringszones maken het mogelijk om de impact van zandontginning op een lokale schaal te evalueren. Met behulp van bathymetrische tijdsreeksen, gemeten over gebieden met zeer verschillende ontginningsregimes, kunnen de belangrijkste trends geïdentificeerd worden. In de monitoringszones TBMA (controlezone 1, Thorntonbank) en HBMC (controlezone 4, Oosthinder) is een algemene verlaging van de bathymetrie zichtbaar die goed gecorreleerd is met de EMS-gebaseerde ontgonnen volumes. In controlezone ODMA is een kleinere verlaging van de bathymetrie zichtbaar omwille van het lagere ontginningsniveau.

Het gemiddelde backscatterniveau wordt gebruikt als een proxy om de impact van zandontginning op de aard van het sediment aan de zeebodem te bepalen. In de monitoringszones TBMA (controlezone 1, Thorntonbank) en HBMC (controlezone 4, Oosthinder) tonen de backscattertijdsreeksen een verandering in de aard van het sediment aan, als gevolg van de ontginning. Afhankelijk van de initiële gelaagdheid van de zeebodem, kan de toename van de intensiteit van ontginning door het concentreren van de grovere fracties door het zeven en het verwijderen van een laag oppervlaktensediment, de sedimentologische samenstelling en bijgevolg het gemiddelde backscatterniveau geleidelijk veranderen.

De bathymetrische tijdreeksen van de gesloten zones op de Kwintebank (KBMA en KBMB) en Buiten Ratel (BRMC) vertonen een relatieve stabiliteit na het stoppen van de ontginning. De impact van de ontginning op de bathymetrie is beperkt in de tijd tot de ontginningsperiode zelf: er wordt geen significante erosie waargenomen in deze zones nadat de ontginning is stopgezet. In KBMA is zelfs een lichte reconstructie van de duinmorfologie zichtbaar. In het algemeen bevestigt het gebrek aan herstel het niet-hernieuwbare karakter van de zandvoorraad gedurende tientallen jaren.

1.5. Aanbevelingen

De systematische, repetitieve en langdurige monitoring van monitoringszones en decca-referentielijnen is noodzakelijk om de impact van zand- en grindwinning op het mariene milieu op lange termijn te kunnen bepalen. Deze monitoringaanpak moet worden voortgezet door gebruik te maken van de MBES-systemen aan boord van de nieuwe RV Belgica en RV Simon Stevin, en een verdere regelmatige en frequente EMS-data-acquisitie.

Een bijkomende verbetering van de nauwkeurigheid van de MBES-metingen en een beoordeling van de onzekerheid van de EMS-gebaseerde ontgonnen volumes zijn nodig om de correlatie tussen de bathymetrie en de ontginning in meer detail te bestuderen (evolutie naar verticale resolutie ≤ 1 dm). Daarnaast moeten de oudere bathymetrische referentiemodellen geactualiseerd worden op basis van rigoureuze MBES-metingen die gebruik maken van de GNSS RTK-correctie.

De tijdreeksen van MBES-gegevens moeten verder gevaloriseerd worden door:

- systematische fouten op de MBES-gegevens te filteren en de impact hiervan op de monitoringresultaten te analyseren;
- methodes te ontwikkelen om de MBES-gegevens te classificeren.

Een project met betrekking tot de filtering van systematische fouten op de MBES-gegevens werd recent opgestart met ENSTA Bretagne. De classificatie van MBES-gegevens werd recent opgestart. Deze projecten zullen voortgezet worden in de komende jaren.

Sedimentwolken die bij het ontginnen van zand- en grind ontstaan moeten verder geanalyseerd worden om de impact hiervan op het mariene milieu beter te bepalen.

1.6. Dankwoord

Veel dank aan de bemanning van de RV Belgica voor de uitstekende samenwerking tijdens de talrijke campagnes gewijd aan de MBES-data-acquisitie en aan de OD Natuur van het KBIN voor de scheepstijd aan boord van de RV Belgica. Ook veel dank aan het VLIZ en de bemanning van de RV Simon Stevin voor het verstrekken van de scheepstijd, de organisatie en vlotte uitvoering van de campagnes. Meetdienst

Oostende van het KBIN wordt eveneens bedankt voor het beheer van het automatisch registreersysteem (EMS).

2. Effecten van mariene aggregaatextractie op zeebodemintegriteit en hydrografische condities. Nieuwe inzichten en ontwikkelingen

Van Lancker Vera¹, Baeye Matthias¹, Francken Frederic¹, Kint Lars¹, Montereale Gavazzi Giacomo¹, Terseleer Nathan¹, Van den Eynde Dries¹

¹Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen, OD Natuur, Vautierstraat 29, 1000 Brussel

2.1. Introductie

Het Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen is verantwoordelijk voor de opvolging van de effecten van de winning van aggregaten op de hydrodynamica en het sediment (transport) van het mariene milieu. Kwantificering van de effecten van zandwinning is echter ook nodig om de vooruitgang in de richting van een goede milieutoestand (GES) van het mariene milieu op te volgen zoals opgelegd door de Europese Kaderrichtlijn Mariene Strategie (KRMS; 2008/56/EG). Met betrekking tot de fysische impact van aggregaatextractie noodzaakt dit een opvolging van de GES descriptors zeebodemintegriteit en hydrografische condities. De integriteit van de zeebodem heeft betrekking op de structuur en de functies die de zeebodem aan het ecosysteem levert (bijvoorbeeld de toevoer van zuurstof en voedingsstoffen), terwijl de hydrografische omstandigheden betrekking hebben op stromingen, troebelheid en/of andere oceanografische parameters waarvan veranderingen een negatieve invloed kunnen hebben op de benthische ecosystemen. Kritisch bij het bestuderen van veranderingen is goede basisinformatie waarbij de kenmerken van het geologisch substraat belangrijke randvoorwaarden geven voor meer duurzame extractiepraktijken.

Het monitoringskader omvat dan ook drie hoofddoelstellingen:

- (1) Kwantificering van natuurlijke en door de mens veroorzaakte variabiliteit van sedimentkarakteristieken en -processen, met focus op zand.
- (2) Proces- en systeemmodellering van de keten activiteit-druk-effecten op het mariene milieu: in het nabije en verafgelegen veld.
- (3) Aanbevelingen voor een meer duurzaam gebruik van mariene grondstoffen (i.e., zand), in overeenstemming met de KRMS, en invulling gevend aan het milieuprogramma van de Verenigde Naties inzake een meer collectief beheer van minerale hulpbronnen.

Een grotere proces- en systeemkennis is nodig om de impact van zandwinning op het milieu beter te kunnen duiden, en de natuurlijke variabiliteit te karakteriseren. In het nabije veld is een betere inschatting van het herstelpotentieel na abrasie van de zeebodem van belang, alsook kennis van de processen die de verspreiding van, de door extractie geïnduceerde, zwevende deeltjes bepalen. Dit is belangrijk om de kans van afzetting van deze deeltjes in de door grind gedomineerde gebieden, met potentieel een rijke biodiversiteit, beter te kunnen voorspellen. Hierbij is ook een beter inzicht nodig in de mobiliteit van de zeebodem en de zanddynamiek in het bijzonder. Dergelijke kennisopbouw is des te meer kritisch wanneer exploitatie plaatsvindt binnen of in de buurt van een Habitatrichtlijngebied, zoals toenemend het geval is in het Belgische deel van de Noordzee (BDNZ). Deze richtlijn noodzaakt passende beoordelingen van alle stressoren (HD, 92/43/EEG).

Naast het streven naar een minimale impact van de activiteit op het milieu blijft een goede kennis van de geologische hulpbron cruciaal, in kwaliteit en kwantiteit, wat pleit voor een verdere digitalisering van de geologische kennisbasis. Het combineren van al deze facetten blijft een uitdaging, maar is nodig om inzicht te krijgen in de oorzaak-gevolgrelaties en herstel op systeemniveau beter in te kunnen schatten.

Het dient beklemtoont dat de monitoring deel uitmaakt van een groter geheel. Vooreerst door afstemming met het onderzoek van FOD Economie en ILVO (zie Barette et al. (2020) en Wyns et al. (2020), respectievelijk). Voorts leidt het KRMS kader tot een meer coherente milieumonitoring op (inter)nationaal niveau (e.g., MONIT.be).

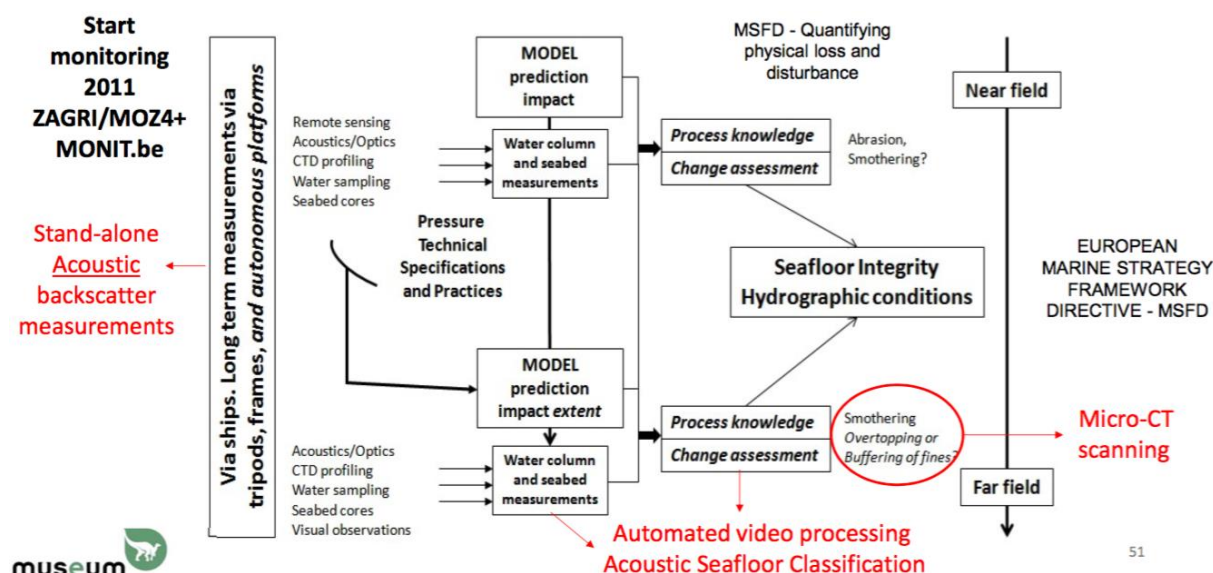
2.2. Methodologie

2.2.1. Kwantificeren van natuurlijke en door de mens-gestuurde veranderingen in sedimentkarakteristieken en -processen

Metingen zijn essentieel voor de kwantificering van de natuurlijke en door de mens veroorzaakte variabiliteit van sedimentkenmerken en -processen. Deze worden momenteel vooral uitgevoerd in de regio van de Hinderbanken onder de koepel van het monitoringprogramma MOZ4 (Vlaamse Overheid) gezien van dit gebied weinig basisinformatie voorhanden is, maar toch intensief zand wordt gewonnen. De metingen zijn in overeenstemming met de doelstellingen van de KRMS, i.e. de beoordeling van veranderingen in de integriteit van de zeebodem en hydrografische condities (Belgische Staat, 2018). Ze omvatten: (1) het karakteriseren van de ruimtelijke en temporele variabiliteit van de aard van de zeebodem; (2) het opbouwen van kennis over sedimentprocessen in de Hinderbanken; en (3) het testen van impacthypothese (Van Lancker et al., 2016).

Figuur 1. Geïntegreerde monitoringsbenadering teneinde de effecten van de winning van mariene aggregaten op hydrodynamica en sediment(transport) te bestuderen.

De monitoring is gericht op de naleving van de Kaderrichtlijn Mariene Strategie, met focus op zeebodintegriteit en hydrografische condities, twee belangrijke beschrijvende elementen van een goede milieutoestand. In rood worden enkele innovaties benadrukt die in de periode 2017-2020 zijn uitgewerkt.



M.b.t aggregaatextractie zijn metingen van de waterkolom belangrijk om veranderingen van de zeebodem te voorspellen. Hiertoe werden verschillende instrumenten ingezet waaronder optische en akoestische sensoren, in combinatie met waterbemonstering. Sedimentstalen werden tevens bekomen van een sleepopperzuiger (TSHD) waarvan de korrelgrootteverdelingen in een laboratorium werden gemeten. Zeegaande campagnes werden georganiseerd met RV Belgica waarbij metingen typisch over een periode van 13 uur worden uitgevoerd om mede de getijdegeïnduceerde variabiliteit te bepalen. Twee strategieën werden hierbij gevolgd: (1) Het schip gaat voor anker en metingen worden uitgevoerd over de waterkolom; (2) Er wordt heen en weer langs eenzelfde zandbanktransect gevaren. In beide gevallen wordt de concentratie aan zwevende deeltjes gemeten; in het eerste geval plaatsgebonden en aan een hogere tijdsresolutie; in het tweede geval kan tevens de ruimtelijk variabiliteit, t.t.z. zandbank versus geul worden meegenomen. Deze metingen worden vaak gecombineerd met de inzet van bodemframes uitgerust met verschillende optische en akoestische sensoren en die ter plaatse meten over een langere periode. Optische backscattersensoren zijn typisch performanter om het fijnkorrelige materiaal te karakteriseren, terwijl akoestische backscattersensoren beter zijn voor zandmetingen. Het doel is om de variatie over een reeks van opeenvolgende getijdencycli vast te leggen. In de periode 2017-

2020 zijn op die manier langetermijnsreeksen bekomen die toelaten om ook springtij-doodtij variatie te bestuderen (bijvoorbeeld ten zuiden van Sector 4a, Noordhinder, in 2019).

Zeebodemeigenschappen werden bestudeerd met behulp van meerdere methodologieën. In het nabije veld van de aggregaatsectoren werden Reineck boxcores genomen in de zandige sedimenten van de zandbanken. Het doel was om in detail de bovenste zeebodem te bemonsteren om aldus de kans op het detecteren van veranderingen in sedimenteigenschappen te verhogen. Ondiepe kernen werden genomen die aan boord op 1--cm resolutie werden bemonsterd en vervolgens werden ingevroren. In het laboratorium werden korrelgrootteanalyses uitgevoerd met een laserdiffractometer, evenals werden organisch materiaal en carbonaatgehalte gemeten aan de hand van de 'Loss-on-ignition' methode. In het Habitatrichtlijngebied, ten zuiden van concessiezone 4, werd verder ingezet op de kartering van het substraat m.b.v. multibeamtechnologie (diepte en terugverstrooiingswaarden of 'backscatter'). De verdere vertaling van deze gegevens in sedimenttypes maakte deel uit van promotieonderzoek dat specifiek gericht was op zeebodemclassificatie in een monitoringscontext en een geautomatiseerde detectie van sedimentveranderingen (Montereale Gavazzi, 2019). Dit proces gaat hand in hand met een gerichte terreinverificatie waarvoor per substraattype de meest geschikte bemonsteringstechniek dient gekozen te worden. Dit is het meest kritisch voor grindgebieden, waar alleen Hamongrijpers, die toelaten een volume aan sediment te bemonsteren, het mogelijk maken om alle sedimentfracties te vangen, doch deze monsters zijn volledig verstoord. Bijkomende videowaarnemingen waren cruciaal om de variabiliteit van de zeebodem aan het oppervlakte te valideren. Hierbij werden automatische videoprotocolen ontwikkeld om de verhouding tussen harde en zachte substraten te kwantificeren (Montereale Gavazzi, 2019). Om zanddikte en -samenstelling kwantitatief te duiden, werden ondiepe kernen genomen door duikers (KBIN Wetenschappelijk duikersteam onder leiding van A. Norro). Hierbij werd microcomputertomografie (UGCT lab, UGent) gebruikt voor een gedetailleerde analyse van de verdeling van de sedimentfracties over de sedimentkolom.

Voor een gedetailleerde beschrijving van alle gebruikte technieken en analyses, zie Van Lancker et al. (2020). De verschillende zeegaande campagnes werden gerapporteerd in Van Lancker et al. (2017, 2020), en Van den Eynde et al. (2019a).

2.2.2. Proces- en systeemmodellering voor een beter begrip van de keten activiteit-druk en effecten

Modellering van hydrodynamica en golven

In Degrendele (2016) en Degrendele et al. (2017) is een nieuwe ontginningslimiet voor extractie voorgesteld, gebaseerd op wetenschappelijke en economische criteria. In Van den Eynde (2017) en Van den Eynde et al. (2017) werd deze nieuwe limiet geëvalueerd op basis van de Belgische implementatie van de KRMS. In deze richtlijn werd gesteld dat er rekening moet worden gehouden met de gevolgen van veranderingen in bodemschuifspanning; deze mag namelijk met niet meer dan 10 % veranderen (buiten een buffergebied) ten gevolge van een menselijke activiteit. Gezien de expliciete vermelding dat dit dient te gebeuren met een gevalideerd numeriek model, werd de nauwkeurigheid van de metingen van bodemschuifspanning bestudeerd op een bekende meetlocatie (MOW1) (Van den Eynde, 2016).

In een volgende stap werd de nieuwe voorgestelde extractielimiet (Degrendele et al., 2017) verder geëvalueerd, meer specifiek gericht op de aanzienlijke verlaging van de zandbanken en de mogelijke gevolgen op de kust. Hiertoe werd het SWAN-model (Ris, 1997; Booij et al., 1999; Holthuijsen et al., 1989, 1993, 2003) ingezet met focus op veranderingen nabij de kust en stranden. Modelaanpassingen waren nodig waarbij het model werd uitgebreid om de Hinderbanken volledig te omvatten. Voor een winning van 597 Mm³ werden scenario's berekend die drie verschillende significante golfhoogten omvatten, met bijbehorende golfperiode en windsnelheid, negen verschillende wind- en golfrichtingen, voor hoog- en laagwaterstanden, voor een totaal van 108 simulaties. Simulaties werden ook uitgevoerd voor een 1000-jarige storm. Zie Van den Eynde et al. (2019b) voor een uitgebreide beschrijving.

Sedimentpluimmodellering

Het modelleren van sedimentdynamiek is essentieel om de effecten van zandwinning op het verre veld te kwantificeren. Met name het ontstaan, de verspreiding en het afzetten van sedimentpluimen moet beter worden begrepen. Op basis van metingen in sleeppopperzuigers en erbuiten (Baeye et al., 2019; Van Lancker et al., 2020) zijn nieuwe randvoorwaarden gegenereerd die de verdere ontwikkeling en validatie van zandtransport- en advection-diffusiemodellen moeten toelaten en zo beter de verspreiding van sedimentpluimen te simuleren. Eerder werden reeds rapporten vrijgegeven m.b.t. de validatie van het tweedimensionale hydrodynamische model (resolutie van 250 m x 250 m), het zandtransportmodel <mu-STM> en het tweedimensionale slibtransportmodel <mu-SEDIM> (Van Lancker et al., 2014, 2015; Van den Eynde et al., 2014). De nieuwe ontwikkelingen hebben betrekking op het incorporeren van de modellering van gemengde sedimenten (Bi en Toorman, 2015), flocculatiemodellering (e.g., Lee et al., 2019; Shen et al., 2019a, 2019b), en het incorporeren van driedimensionale effecten. Dit laatste is vooral van belang voor de modellering van nabije en verre veldeffecten van zandwinning en de modellering van sedimentpluimen (e.g., Spearman et al., 2011; Decrop, 2016). Bovendien zijn er nu betere zeebodemmodellen beschikbaar (Belspo TILES, Van Lancker et al., 2019) die nieuwe geologische randvoorwaarden genereren (zie paragraaf 1.3.3).

COHERENS V2-software (Luyten, 2016) werd gebruikt voor de ontwikkeling en validatie van het driedimensionale sedimenttransportmodel. Een nieuwe modeltrein werd ontwikkeld met vier gekoppelde modellen, resulterende in een model voor het hele BDNZ met een resolutie van ongeveer 250 m x 270 m (Dulière, 2017). De validatie van deze nieuwe hydrodynamische modellering is nu in de laatste fase. Het sedimenttransportmodel werd verbeterd, waarbij het zand- en het slibtransport afzonderlijk werd meegenomen. Voorts werd er vooruitgang geboekt met de modellering van sedimentinteracties en werd een flocculatiemodule in het model opgenomen. Verdere verbeteringen en validatie van dit nieuwe sedimenttransportmodel is gepland voor de volgende periode waardoor de resultaten later gerapporteerd zullen worden.

Geautomatiseerde analyse van duinmigratie voor een betere systeemkennis

Geïnitieerd in het Belspo TILES project (Van Lancker et al., 2019), en verder onderzocht in het kader van het ZAGRI monitoringprogramma, werden alle multibeam diepte-datasets van FOD Economie geanalyseerd. In totaal werden 180+ MBES-campagnes behandeld, verdeeld over 10 verschillende gebieden over een monitoringperiode van 20 jaar. Via een geautomatiseerde aanpak werden 1000+

waarnemingen op 100+ duinen geëxtraheerd en werden morfodynamische parameters zoals duinmigratie, golflengten en hoogtes berekend.

2.2.3. Naar een meer duurzaam gebruik van mariene grondstoffen

Focus is de verbetering van de kennis van het zeebodemmilieu door: (i) uitbreiding zeebodemkartering en terreinvalidatie; (ii) het compileren van databases over zeebodemsedimenten (i.e., korrelgrootteverdelingscurves); en (iii) verdere valorisatie van de geologische ondergrond. Aldus, wordt gestreefd naar een verdere digitalisering van mariene grondstoffen verderbouwend op de resultaten van het Belpo-project TILES (Transnational and Integrated Long-term marine Exploitation Strategies, Van Lancker et al., 2019). Verder wordt ingezet op een betere educatie en communicatie van duurzaamheidsaspecten van mariene zandwinning (Belpo valorisatieproject Seabed4U: *Seabed CommUnity Initiative: communicating sustainability challenges of marine sand use in a changing world*). Een gemeenschapsinitiatief wordt hierbij geïnitieerd, gealigneerd met de visie van de Verenigde Naties rond een meer collectief beheer van minerale grondstoffen (UNEP, 2019).

Synthese van resultaten m.b.t. de Kaderrichtlijn Mariene Strategie

Uiteindelijk worden de resultaten gevaloriseerd ten aanzien van de milieudoelstellingen van de Europese KRMS, met de nadruk op de beschrijvende elementen van een goede milieutoestand (GES): integriteit van de zeebodem en hydrografische omstandigheden. Met betrekking tot hydrografische omstandigheden worden twee indicatoren meegenomen in de monitoring: (1) veranderingen in de bodemschuifspanning; en (2) veranderingen in de troebelheid, gezien beide een negatieve invloed kunnen hebben op de benthische biodiversiteit. Voor zeebodemintegriteit diende een methodologie te worden ontwikkeld om tijdreeksen van multibeam diepte en terugverstrooiingswaarden te gebruiken om veranderingen in de grote sedimenttypes slib, zand en grind te beoordelen (zie Van Lancker et al., 2018, voor een onderbouwing). Het dient benadrukt dat op Europees niveau de opvolgingsmethodologieën en de beoordeling van de GES-descriptoren in continue ontwikkeling zijn. Wat de integriteit van de zeebodem betreft, heeft de Internationale Raad van de Zee (ICES) het mandaat gekregen om de aanpak van fysiek verlies en verstoring te herzien. Dit wordt nu onder andere verder uitgewerkt in de technische groep Zeebodem (TG Seabed) van de Europese Commissie. KBIN is bij deze groepen betrokken. Tot nu toe is bij de kwantificering van fysisch verlies en verstoring een rigoureuze aanpak gevolgd die gebaseerd is op de activiteiten zelf en waarbij rekening wordt gehouden met op literatuur gebaseerde impactbuffers rond de activiteiten (Kint et al., 2018). In de toekomst zal dit in toenemende mate gebaseerd zijn op procesmatige modellering van effecten op het verre veld waaraan het huidige onderzoek zal bijdragen.

2.3. Resultaten

In de volgende secties wordt een selectie getoond van de belangrijkste resultaten van het monitoringprogramma 2016-2019. Zie Van Lancker et al. (2020) voor een grondiger overzicht.

2.3.1. Kwantificeren van natuurlijke en door de mens-gestuurde veranderingen in sedimentkarakteristieken en -processen

Waterkolomeigenschappen in het nabije veld van extracties

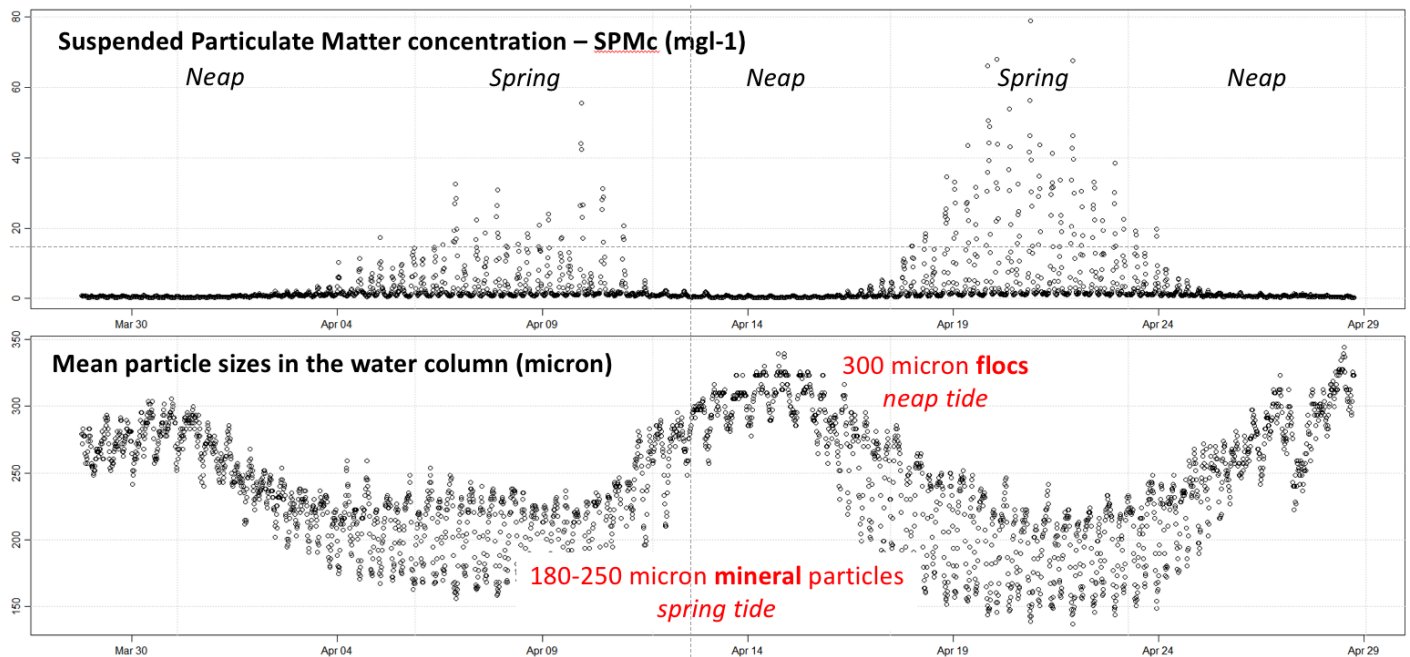
De korrelgrootteverdelingen van de sedimentmonsters genomen in een sleeppopperzuiger toonden systematisch bimodale populaties met een piek van ongeveer 25 μm en één van ongeveer 300 μm , respectievelijk overeenkomende met de fractie die in het water verder zal worden verspreid en met de zeebodemfractie. Recentste berekeningen schatten dat per extractie-event voor een schip van $\pm 12000 \text{ m}^3$ rond 16 ton fijnkorrelig materiaal in het zeewater wordt gebracht (Baeye et al., 2019). In 2019 opereerden in Sector 4a, per dag, tot drie schepen die tweemaal per dag extraheerden.

Figuur 2 is de langste tijdsreeks die werd bekomen met het meetframe dat werd uitgezet aan de rand van Sector 4a. Resultaten wijzen op een sterke variatie van de concentratie van zwevende deeltjes (SPMc) met geen resuspensie van materiaal tijdens doortij, en concentraties van meer dan 0.04 gl^{-1} tijdens springtij. De tijdsreeks toont een grote variatie in de gemiddelde deeltjesgrootte, waarbij het duidelijk is

dat de fijne zandfractie (125-250 μm) het gemakkelijkst transporteerbaar is onder het huidige getijderegime.

Figuur 2. Tijdreeks (43 dagen) van SPMc en gemiddelde deeltjesgrootte op 1.5 meter boven de bodem.

De variatie over verschillende doottij-springtijcycli (maart-april 2019) wordt getoond. De metingen zijn afkomstig van een akoestische backscattersensor gemonteerd in een bodemframe op een zandbanklocatie aan de rand van Sector 4a, Noordhinder. Opvallend zijn de hoogste gemiddelde deeltjesgroottes nabij de bodem tijdens doottij, als gevolg van flocculatie, terwijl kleinere afmetingen worden gevonden bij hoge stroomsnelheden. Dit wijst op een proces van afbreken van vlokken bij hoge stroomsnelheden en aggregatie in vlokken bij lage stroomsnelheden.



De vorming van vlokken (grootste deeltjesgrootte) tijdens doottij duidt tevens het belang aan om flocculatie mee te nemen bij het modelleren van de verspreiding van sedimentpluimen. De metingen lieten niet toe om een systematische verhoging in SPMc aan te tonen ten gevolge van extractie, wellicht door sterke variaties in ruimte (horizontaal en verticaal) en tijd. Minimaal zijn de nieuwe metingen kritisch om sedimentpluimmodellen te verbeteren en referentiemateriaal voor toekomstige evaluaties op te bouwen.

Zeebodemsedimentkarakteristieken in het nabije veld van extracties

De gedetailleerde bodemmonsters die via de korte kernen (en 1-cm snedes) op de zandbanken werden verkregen, lieten een verrijking zien van organisch materiaal op locaties waar extractie plaatsvindt, en dit zowel in Sector 4a en Sector 4c (Noordhinder respectievelijk Oosthinder). Verder werd een afname van het carbonaatgehalte gemeten door vergelijking van tijdsreeksmonsters van Sector 4c van 2014, 2018 en 2019 (Tabel 1). Zie Kint & Van Lancker (2020) voor een uitvoerige weergave van de resultaten.

Tabel 1. Gemiddelde (maximum) gehalte aan organisch materiaal (OM, %), en calciumcarbonaat (CC, %, grijs) in het sediment van de bovenste centimeters voor acht locaties in Sector 4c, Oosthinder zandbank, in 2014, 2018 en 2019.

Locaties zijn ingekleurd volgens relatief belang van extractiedruk (van groen, geel, oranje naar rood). In 2019 werd niet ontgonnen in Sector 4c.

	Loc1	Loc2	Loc3	Loc4	Loc5	Loc6	Loc7	Loc8
2014*	0.80 (1.20)	1.08 (1.40)	1.10 (1.45)	/	/	/	1.59 (2.10)	1.13 (1.75)
	6.55 (35.00)	6.72 (15.00)	7.68 (13.00)	/	/	/	7.71 (11.00)	9.74 (22.50)
2018**	1.13 (1.84)	1.99 (2.47)	2.59 (3.93)	1.76 (2.41)	3.06 (4.04)	1.86 (3.27)	1.34 (1.96)	0.95 (2.05)
	2.53 (5.69)	0.98 (1.51)	3.78 (11.29)	1.23 (2.52)	1.52 (1.77)	1.98 (3.17)	1.47 (1.95)	1.39 (4.39)
2019***	1.59 (2.13)	2.02 (3.80)	2.11 (3.60)	1.28 (2.04)	1.20 (2.17)	1.50 (2.24)	1.09 (1.57)	1.17 (2.26)
	0.82 (1.08)	2.07 (5.91)	6.26 (10.69)	1.89 (2.39)	1.76 (2.20)	2.02 (2.65)	1.77 (3.10)	2.93 (3.92)

Grootteorde precisie van de metingen: *0.05 %, 1.75 %; ** 0.35 %, 0.22 %; ***0.18 %, 0.18 %, voor OM en CC respectievelijk.

Uitgaande van deze stalen kon geen systematische aanrijking van fijn zand worden aangetoond. Het is aannemelijk dat dergelijk proces zich wel degelijk voordoet omwille van segregatie van de sedimentfracties tijdens de extractie. De fijne zandfractie is sowieso het meeste mobiel (zie hoger) en wordt actief getransporteerd door het getij. Verdere analyse van de invloed van de ruimtelijke variatie kan meer inzicht geven.

Zeebodemsedimentkarakteristieken in het verveld van extracties

Het Habitatrictlijngebied ten zuiden van de extractiesectoren is gekend als zijnde een belangrijk grindgebied, althans wat de geulen betreft. Multibeammetingen en kartering uit het verleden (Van Lancker et al., 2007) toonden een akoestische signatuur die met het voorkomen van grind geassocieerd werd. Recente akoestische metingen en visuele observaties tonen echter ook het voorkomen van zandribbelsvelden wat wijst op een zanddynamiek en een zekere zandbeschikbaarheid om deze bodemvormen te ontwikkelen. Kritisch hierbij is de zanddikte, en in te kunnen schatten of deze toeneemt en zou kunnen leiden tot begraving van de grindbedden. Een langdurige begraving is nefast voor de ontwikkeling van de biodiversiteit die met deze grindbedden gepaard gaat. De meeste pogingen om de zanddikte te bepalen, via bemonstering, falen, gezien er wel degelijk grind aanwezig is. Het grind blokkeerde hierbij het staalnametuig (Van Veen en boxcorers) waardoor geen representatief beeld van de zeebodemsamenstelling kon worden bekomen. Het gebruik van een Hamon grijper is wel succesvol, maar deze kan enkel de aanwezigheid van zand en grind bevestigen zonder duiding van zanddiktes. Voorts werd ingezet op het nemen van videobeelden. Deze tonen zand en grind, maar laten ook niet toe de dikte te bepalen. Wel werden deze gebruikt, in combinatie met bemonsteringen, om multibeamtijdsreeksen te valideren naar sedimenttype toe (zeven campagnes in de periode 2004-2015) in een zone die de hotspots van grindbiodiversiteit omvatten (zie Montereale Gavazzi et al. (2018) voor uitgebreide resultaten). Deze komen voor in de troggen van barchaanduinen (zie ook Van Lancker et al. (2016) voor het procesonderzoek uitgevoerd in 2011-2016). De resultaten lieten veranderingen zien in de verhouding hard/zachte substraten met een minimum van het grindoppervlak in 2014, de piekperiode van de winning, maar ook een uitzonderlijk jaar in sedimentdynamiek (Francken et al., 2017). Na 2014, veranderde de ratio hard/zacht opnieuw ten gunste van het grindvoorkomen. De resultaten waren echter vooral indicatief voor de natuurlijke dynamiek en toonden ook een belangrijke bodemvormmigratie aan. Verticale diepteverschillen vielen binnen de foutenmarge van de metingen. De verdere doorgedreven analyse van de multibeamterugverstrooiingswaarden in Montereale Gavazzi et al. (2018) wezen eerder op een verlies van grind ten gunste van zand, maar tot hiertoe is de systematiek en de significantie van dit proces nog niet aangetoond. De korte kernen die door wetenschappelijke duikers werden genomen in gebieden waar duikers vroeger geen zanddiktes hadden gemeten toonden een zanddikte van 8-10 cm (2019), en voor het eerst werd aangetoond dat in de accumulatie van zand tevens een fijne fractie aanwezig was. Micro-CT scans toonden dat de poriën van de permeabele middelgrove tot grove zanden gevuld zijn met dit fijnkorrelig materiaal (zie Van Lancker et al., 2020). Of dit nadelige gevolgen kan hebben voor de grindgerelateerde fauna en flora dient verder onderzocht.

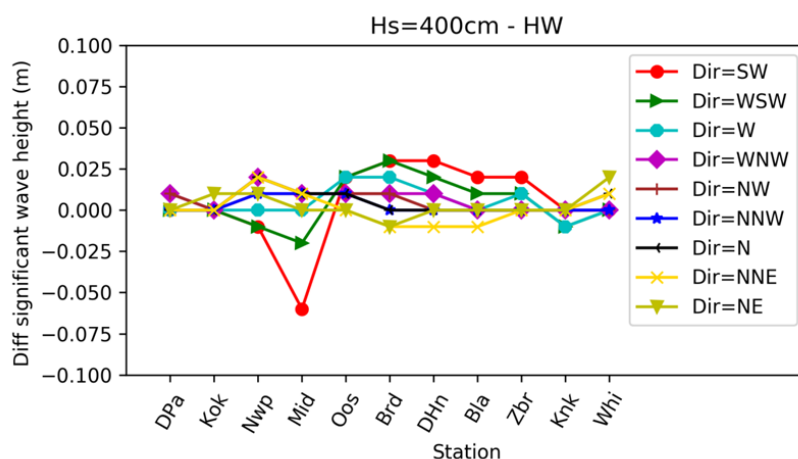
2.3.2. Proces- en systeemmodellering voor een beter begrip van de keten activiteit-druk en effecten

Modellering van hydrodynamica en golven

Om de effecten op de kustbescherming te evalueren zijn zowel het normale golfklimaat als de golfcondities tijdens een 1000-jarige storm in beschouwing genomen. De waterstanden zijn bij de extractiescenario's gelijk gebleven omwille van de geringe omvang van de winningszones in vergelijking met het zuidelijke Noordzeegebied. Algemeen gezien is het normale golfklimaat bepalend voor de positie van de kustlijn. Verschillen kunnen optreden in het kustnabij golfgedreven sedimenttransport en leiden tot meer erosie, evenals kan het golfgedreven zeewaarts sedimenttransport versterkt worden, wat ook kan resulteren in erosie van de kustlijn. De intensiteiten van deze transporten zijn evenredig met de significante golfhoogte. Uit de resultaten van het SWAN-model werden echter zeer kleine veranderingen van de significante golfhoogte langs de kust berekend en waren deze gemiddeld minder dan $\pm 1\%$ (Figuur 3). De effecten nabij de extractie zelf kunnen aanzienlijk zijn, maar het effect van de extractie op het kustnabije golfklimaat en dus de relatie met mogelijke kusterosie kunnen als verwaarloosbaar worden beschouwd.

Figuur 3. Modellering van verschillen in golfhoogte m.b.t. scenario's van extractie.

Toename van significante golfhoogte bij verschillende kuststations (DPA: De Panne tot Knk: Knokke) en bij de Westhinder, gesimuleerd met de nieuwe voorgestelde extractielimiet ten opzichte van een 'zonder extractie'-scenario. Golven aan de grens hebben een significante golfhoogte van 4.0 m, windsnelheid = 22 ms^{-1} , en rekening houdend met verschillende golf- en windrichtingen en met een hoogwatersituatie (gemiddeld zeeniveau +2.33 m).



De omstandigheden van een 1000-jarige extreme storm bepalen het veiligheidsniveau aan de kust. Hogere golfhoogtes zullen leiden tot grotere erosie van duinen en stranden en tot een grotere kans op overstroming van zeedijken en constructies in de havens. Uit de resultaten van het SWAN-model werd een zeer kleine toename van de golfhoogte waargenomen, namelijk maximaal 0,05 m. Deze toename is echter zo klein dat deze voor de beoordeling van het veiligheidsniveau aan de kust als verwaarloosbaar werd beschouwd. Deze conclusie werd toegeschreven aan de grote afstand van de winningssectoren tot de kustlijn, namelijk meer dan 10 km.

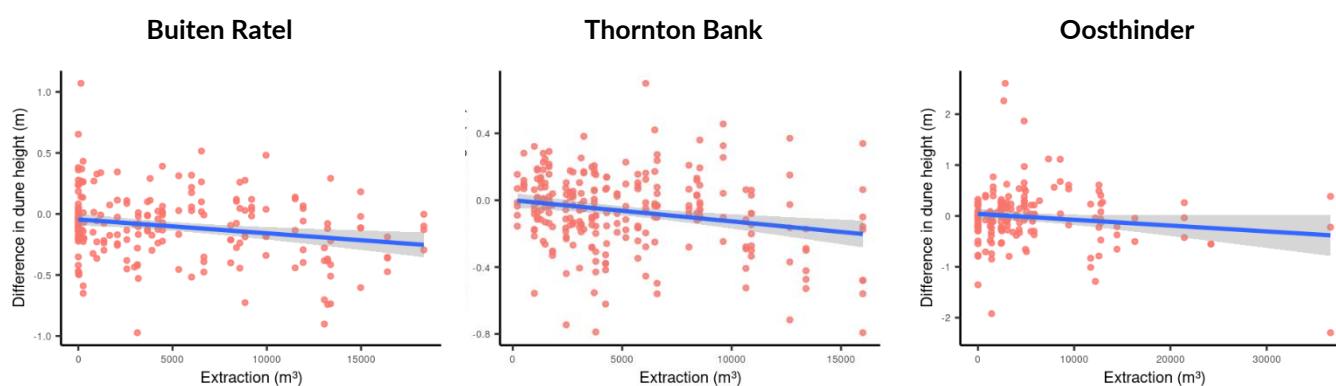
Karakterisering duinendynamiek voor een beter systeembegrip

Door de geautomatiseerde analyse van alle duinen in de ontginningsgebieden (datasets FOD Economie) konden verschillende parameters worden berekend en verder onderzocht in relatie tot andere datasets. Eén figuur wordt hier getoond (Figuur 4) betrekking hebbende op de onderzoeksvraag of de duinontwikkeling wordt beïnvloed door de zandwinning. De procedure bestaat uit: (1) het toekennen van een extractiehoeveelheid aan elke duin, in een buffer van 25 m (d.w.z. de hoeveelheid tussen twee opeenvolgende campagnes) door de duinendataset te koppelen aan de database met informatie uit het

elektronisch monitoringsysteem van de schepen (EMS); (2) het herstellen van de duinen met het geëxtraheerde volume; (3) visualisatie van het verschil in (herstelde) duinhoogte tussen de opeenvolgende campagnes ten opzichte van het onttrokken volume; (4) evaluatie van de residuele evolutie in duinhoogte. Hierbij wordt een afnemende trend in de duinhoogte bekomen die toeneemt naarmate de ontginning in een gebied intensiever wordt. Dit wijst op een langzamer herstel en betekent ook dat langetermijnsvoorspellingen van de afname van sedimentvolumes op gewonnen zandbanken meer erosie moeten verrekenen dan wat op basis van alleen de onttrekkingssnelheid zou worden voorspeld. Alhoewel deze bevindingen consistent zijn, dient het beklemtoond te worden dat onnauwkeurigheden op de EMS-geëxtraheerde hoeveelheden (over- en onderschattingen), de verticale fout op de multibeamdatasets en de geautomatiseerde procedure zelf, de resultaten kunnen beïnvloeden.

Figuur 4. Residuele hoogte-evolutie van zandduinen in de aggregaatextractiezones.

Evolutie in het verschil in duinhoogte tussen alle opeenvolgende campagnes en voor alle onderzochte duinen (X-as), na restauratie van de duinhoogte op basis van EMS gegevens, en dit geplot t.o.v. de cumulatieve extractiehoeveelheden. Hier getoond voor drie meetgebieden. Zie tekst voor verdere uitleg.



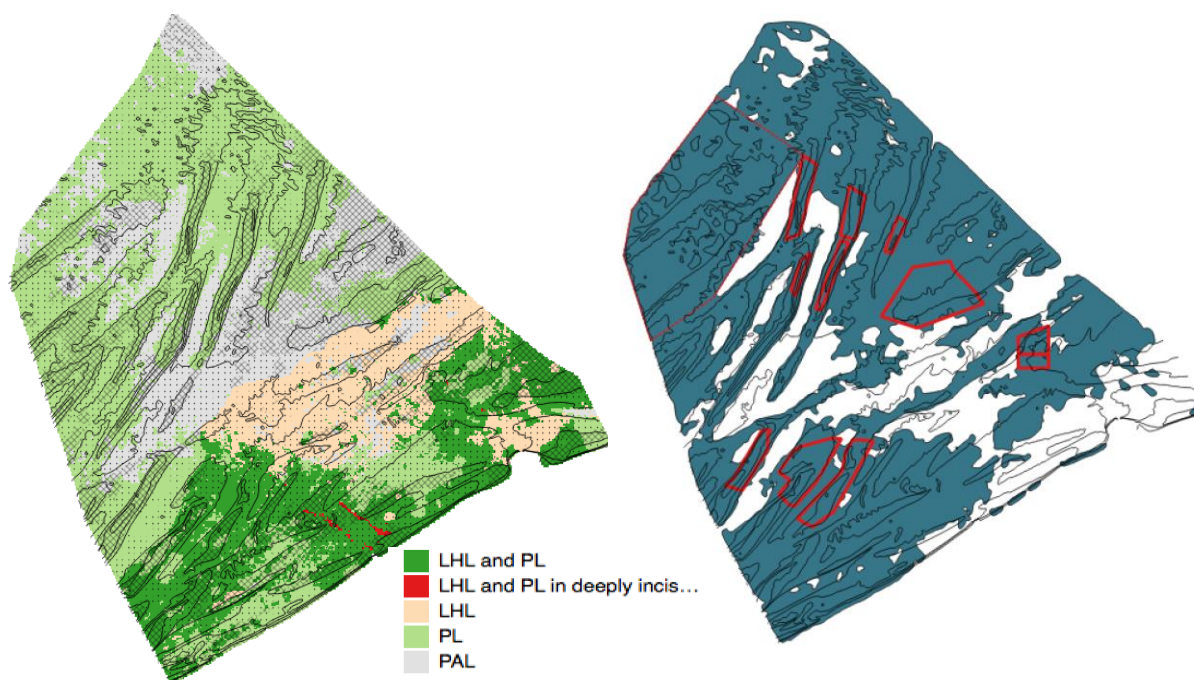
2.3.3. Naar een meer duurzaam gebruik van mariene grondstoffen

Toename van de kennisbasis van de zeebodem

Twee voorbeelden worden hier gegeven over de manier waarop de kennisbank voor geologische hulpbronnen, zoals die in het TILES-project is opgebouwd, verder wordt gevaloriseerd (Figuur 5). De basis is het op voxels gebaseerde geologische ondergrondmodel (downloadbaar via het online beschikbaar gemaakte beslissingsondersteunend systeem (afmetingen XYZ: 200 x 200 x 1 m) (<http://www.bmdc.be/tiles-dss/#>; TILES Consortium, 2018; zie Van Lancker et al. (2019) voor een onderbouwing). Voorts zijn de procedures voor het kwantificeren en kwalificeren van alle lithologische beschrijvingen die, samen met de uitgebreide seismische databank van de Universiteit Gent, de basis vormden voor het voxelmodelleringsproces, gepubliceerd (Kint et al., 2020). Zie Hademenos et al. (2018) voor het voxelmodelleringsproces en het resulterende ondergrondmodel. Voor een uitgebreide discussie over het belang van onzekerheid in beslissingsondersteunende instrumenten wordt verwezen naar De Mol (2019).

Figuur 5. Voorbeelden van de verdere digitalisering van de geologische kennisbasis.

Links: Profielkaart van de opbouw van het Kwartair boven de top van het Paleogeen (PAL): geeft een indicatie van de opeenvolging van geologische lagen onder het Boven-Holoceen (LHL en PL: Onder-Holoceen en het Pleistoceen); rood geeft aan dat de Pleistoceenafzettingen in diep ingesneden dalen voorkomen; LHL: alleen het Onder-Holoceen komt voor onder het Boven-Holoceen; vergelijkbaar voor PL: hier Boven-Holoceen direct op de Pleistoceenafzettingen. PAL is waar het Paleogeen (meestal klei) zich direct onder het Boven-Holoceen bevindt. De overlappende arcering en stippelpunten wijzen op respectievelijk een dikke en een dunne Kwartaire bedekking. In de rechterfiguur wordt dit nog explicieter gemaakt. Hier is het TILES ondergrondmodel bevroegd om alle gebieden aan te geven waar per voxel zand, als hoofdgrondsoort, over de eerste vijf meter consequent gemodelleerd is. In dit geval wordt geen onderscheid gemaakt tussen de ouderdom van de geologische lagen. De witte gebieden komen ruwweg overeen met de door slibgedomineerde gebieden in de kustzone, en de door grindgedomineerde gebieden voor de meer zeewaartse zone (afgeleid van <http://www.bmdc.be/tiles-dss/#>; TILES Consortium, 2018).



Synthese van resultaten m.b.t. de Kaderrichtlijn Mariene Strategie

Hydrografische condities

Het beoordelen van veranderingen in de bodemschuifspanning is een praktische aanpak gebleken bij het modelleren van scenario's van grootschalige extractiepraktijken en werd ook gebruikt bij de evaluatie van de impact van het nieuw referentieoppervlak (Degrendele et al., 2017) voor de winning op de kust (Van den Eynde et al., 2019b voor details) (zie 1.3.2). Het nut om veranderingen in troebelheid te gebruiken als indicator van goede milieutoestand werd vooral onderzocht in het Belspo-project INDI67 (Fettweis et al., 2020). De conclusie was dat alleen trends in SPMc kunnen beoordeeld worden wat aangeeft dat metingen van troebelheid, een optische maatstaf, eerst dienen omgezet te worden naar massaconcentraties (Fettweis et al., 2019). Uit de monitoring is echter nogmaals gebleken dat de ruimtelijke en temporele variabiliteit van SPMc zeer variabel is en vooral in gebieden met lage concentraties is de onzekerheid op de metingen heel groot wat trendanalyses sterk bemoeilijkt. Het INDI67 rapport geeft een overzicht van een aantal nieuw gepubliceerde meet- en analyseprotocollen (Fettweis et al., 2020) die verder worden gebruikt in de effectbeoordeling. De metingen, zoals beschreven in sectie 1.2.1, zijn heel nieuw voor de Hinderbankenregio waardoor het in eerste instantie basisdatasets blijven waartegenover toekomstige datasets kunnen vergeleken worden.

Zeebodemintegriteit

Significante vooruitgang werd geboekt in de methodologische procedures voor de detectie en het beoordelen van veranderingen in de grote sedimenttypen aan de hand van multibeamdiepte en terugverstrooiingswaarden (zie Montereale Gavazzi, 2019 voor diepgaande analyses en discussies). Het onderzoek toonde ook het blijvend belang aan van een goede terreinverificatie, zowel inzake bemonstering én visuele waarnemingen, alsook het belang van kortetermijnsprocessen die het terugverstrooiingssignaal beïnvloeden (Montereale Gavazzi et al., 2019).

Naar veranderingen in zeebodemintegriteit toe zijn in het nabije veld geen veranderingen in de grote sedimenttypes waargenomen. Voor de sedimentbemonsteringstijdreeks op Sector 4c werd wel een afname van het carbonaatgehalte gemeten wat op een homogenisatieproces zou kunnen duiden. Dit blijkt ook uit de monitoring van FOD economie (Barette et al., 2020) en ILVO (Wyns et al., 2020).

In het Habitatrichtlijngebied werden lokaal, in de gekende hotspots van biodiversiteit (Houziaux et al., 2008), veranderingen waargenomen in de GES indicator 'ratio hard versus zacht substraat', waarvan de trend positief dient te evolueren volgens de Belgische implementatie van de KRMS. De tijdsreeksdataset, op basis van multibeam diepte en terugverstrooiingswaarden, toonde een fluctuatie die aan natuurlijke en door de mens-gestuurde invloeden kan worden toegeschreven (Montereale Gavazzi et al., 2018). Van de recente observaties die een toename in zanddikte, inclusief slibaanrijking in deze permeabele zanden, aantoonde, dienen verder de implicaties naar de structuur en functies van dergelijke zeebodems te worden aangetoond. Dergelijk onderzoek wordt momenteel uitgevoerd in het Belpo project FaCE-It¹.

Tot slot, zijn ook de morfologische veranderingen van belang bij de evaluatie van zeebodemintegriteit, doch hiervoor zijn nog geen richtlijnen uitgewerkt binnen de KRMS. Eens overeenstemming op Europees niveau is bereikt, zullen de automatische duinanalyseprocedures verder gevaloriseerd worden.

2.4. Conclusies

Het KBIN monitoringskader, afgestemd op de beoordeling van veranderingen in zeebodemintegriteit en hydrografische condities (KRMS), werd verder succesvol uitgebouwd. In de fase 2017-2020 werd vooral ingezet op methodologische vooruitgang om veranderingen in deze descriptoren van goede milieutoestand beter te kwantificeren. Het dient beklemtoond dat veranderingsdetectie een complexe aangelegenheid blijft en gevoelig is aan vele factoren die onderzoek en ruimere samenwerking vereisen. Veranderingen zijn vaak gering, maar kunnen toch nefast blijken voor het zeebodemmilieu. Daarom is het van belang dat metingen, in combinatie met modellen, leiden tot een beter begrip van de processen, de schaalgrootte waarop ze werken, en de systematiek. Foutmarges dienen gekend te zijn van de instrumenten die bij het toezicht worden gebruikt, wat een onderzoek op zich is. Des te meer is dit van belang bij het beoordelen van veranderingen in de watereigenschappen van gebieden met een lage sedimentconcentratie. De concentraties zijn vaak te laag voor herhaalbare, goede metingen. Het ontwikkelen van robuuste meetprotocollen en kwaliteitsstandaarden stond dan ook voorop, evenals instrumentkalibratie. Bijkomend zijn sedimentprocessen in zandbankomgevingen ruimtelijk en in de tijd zeer variabel wat noopt tot flexibiliteit van het monitoringprogramma. Sinds 2011 worden dan ook op verschillende locaties metingen uitgevoerd, worden er vergelijkende datasets samengesteld, en wordt de basisinformatie en systeemkennis vergroot om beter inzicht te krijgen in de oorzaak-gevolgrelaties.

Tot nu toe waren veranderingen in watereigenschappen alleen zichtbaar in het nabije veld van de winningsactiviteiten. Deeltjesgroottespectra tonen zowel een waterkolom- als een zeebodem-gerelateerde component. Het zand dat bij extractie vrijkomt zet zich af in het nabije veld terwijl de fijnere deeltjes zich verder verspreiden. Organische aanrijking werd aangetoond in gebieden met winningsactiviteiten wat ook het verspreidingsgedrag van de fijnere deeltjes kan beïnvloeden. Kritisch blijft het voorspellen waar de fijnkorrelige deeltjes zich vestigen en hoe dit het zeebodemmilieu beïnvloedt, vooral in gebieden met grindbedden met een rijkere biodiversiteit. In de hotspots van grindbiodiversiteit waar in 2006-2007 door duikers geen zanddikte werd gemeten, werd in 2019 een zandbedekking van 8-10 cm gemeten. Het zand bestond vooral uit permeabel middelgrof tot grof materiaal dat in de omgeving aanwezig is. De poriën van de zandlaag bevatten echter

¹<https://www.researchgate.net/project/FaCE-It-Functional-biodiversity-in-a-Changing-sedimentary-Environment-Implications-for-biogeochemistry-and-food-webs-in-a-managerial-setting>.

fijnkorrelig materiaal wat nu voor het eerst duidelijk werd aangetoond door middel van micro-CT scans. Of dit leidt tot poriënverstopping die de functies die de zeebodem aan het ecosysteem levert kan verminderen, moet verder worden onderzocht. In vergelijking met historische data, wijzen zeebodemkartering en visuele waarnemingen eerder op een toenemende aanwezigheid van zand. Vanuit dieptemetingen is dit echter moeilijk af te leiden temeer dergelijke veranderingen binnen de foutenmarge van de dieptemetingen vallen (+/- 30 cm in 30 m waterdiepte). Een zandverbreding over grindgebieden leidt tot een homogenisering van de zeebodem, waardoor er minder structuur is voor benthische en epibenthische soorten. De zanddikte is echter nauwelijks gekend, en, indien dit gering is en blijft, bestaat de mogelijkheid dat grindfauna hier geen adverse effecten van ondervindt. In de volgende fase van de monitoring zullen historische multibeamdatasets opnieuw worden geanalyseerd, met vooral aandacht voor patroonveranderingen. Ook zullen verschillende bron-tot-afzettingsscenario's worden onderzocht, rekening houdend met verschillende menselijke activiteiten, in een poging om typische sedimentbronsignaturen te vinden. Op basis hiervan worden nieuwe inzichten verwacht in cumulatieve, en in-combinatie-effecten.

Tot slot zijn er, voor verschillende ontginningsgebieden, aanwijzingen dat ondanks het herstel van duinstructuren na extractie, de ontwikkeling van de duinhoogte licht negatief blijft. Over het geheel genomen zijn de duinhoogtes lager dan op basis van de golfenlengte zou verwacht worden. De significantie hiervan dient in een ruimer kader te worden bestudeerd waarbij de gedetailleerde en vernieuwde multibeam-EMS analyses van FOD Economie leidend zullen zijn.

2.5. Aanbevelingen

De aanbevelingen hebben betrekking op: (1) Streven naar een snel herstel van de zeebodem na verstoring (veerkracht van het systeem), d.w.z. geen significante verstoring van natuurlijke processen; (2) Voorkomen van veranderingen in de habitattypen (sedimentgerelateerd); (3) Voorkomen van onnatuurlijke fragmentatie van de zeebodem; en (4) Voorkomen van permanente verandering van de hydrografische omstandigheden.

(1) en (2) geven het belang aan om de winning te beperken tot gebieden waar voldoende zand met vergelijkbare kenmerken aanwezig is, met name het vermijden van gebieden met kleiachtige, slib- of grindlagen. Dit kan het best worden bereikt door de winning te beperken tot het recentst afgezette geologische laagpakket (Boven-Holoceen). Dit kan nu worden opgevraagd met behulp van het vrij toegankelijke voxel-gebaseerde grondstoffenmodel (TILES Consortium, 2018). In gebieden met een dunne deklaag van het Boven-Holoceen is het waarschijnlijker dat er veranderingen in de sedimenttypes zullen optreden wat ook is gebleken uit de monitoring van KBIN, FOD Economie en ILVO. De verandering kan permanent worden en leiden tot fysisch verlies van een habitat.

Om sedimentveranderingen in het verre veld van de winningsactiviteiten te vermijden, wordt geadviseerd om de activiteit te spreiden over verschillende sectoren en de timing van de winning te spreiden over de getijdencyclus, waar mogelijk. Voortdurende winning in één sector en consequent tijdens de eb fase van het getij leidt tot preferentiële afzetting van door winning geïnduceerd fijnkorrelig materiaal in de richting van het Habitatrichtlijngebied. Bij het combineren van winningsactiviteiten met havenonderhoudswerkzaamheden in de door slibgedomineerde kustzone (Baeye et al., 2019) dient de beun na de onderhoudswerkzaamheden goed te worden schoongemaakt om geen kustslib naar de offshore-zone te brengen.

(3) Bij het plannen van grootschalige winningsactiviteiten moet rekening worden gehouden met veranderingen in bodemschuifspanning. Hoewel de berekening en modellering van deze indicator van goede milieutoestand nog veel onzekerheden kent, geven de modelleerresultaten inzicht in waar de meeste veranderingen in de sedimentverdeling waarschijnlijk zullen optreden en hoe hierop beter kan worden geanticipeerd. Ook is de golfmodellering onder verschillende winningsscenario's een leidraad om de hoogteverlaging van de zandbanken te beperken en zo cascade-effecten in de richting van de kust te voorkomen.

Dankwoord:

De studies worden financieel gesteund door het ZAGRI-programma, betaald uit de opbrengsten van de winningsactiviteiten, en de Vlaamse overheid, Agentschap Maritieme Dienstverlening en Kust, Kust (MOZ4: Contract 211.177). De BELSPO Brain-be projecten TILES (contract BR/121/A2/TILES) en INDI67 (contract BR/143/A2/INDI67) lieten significant nieuw onderzoek toe m.b.t. tot de kwantificering van de natuurlijke variabiliteit met inbegrip van het geologische substraat; en de modellering van de bodemschuifspanning en de

kwantificering van sedimentveranderingen op basis van multibeamgegevens. RV Belgica scheepstijd werd toegekend door KBIN OD Natuur en BELSPO. De commandant en de bemanning worden erkend voor hun steun tijdens de meetcampagnes. Lieven Naudts, en andere teamleden van de Meetdienst Oostende (MSO) (OD Nature) worden bedankt voor hun logistieke ondersteuning, vooral tijdens de inzet van de meetframes. Een speciaal woord van dank gaat uit naar Reinhilde Van den Branden voor haar continue ondersteuning tijdens alle metingen, en voor het samen met Gregory De Schepper verwerken van de gegevens over de baggeractiviteiten. Het Vlaams Instituut van de Zee, VLIZ, wordt bedankt voor het gebruik van bijkomende meetinstrumentatie. Sedimentanalyses werden uitgevoerd door de Universiteit Gent, Departement Geologie (Prof. S. Bertrand); de micro-CT scans werden uitgevoerd door de 'Pore-scale Processes in Geomaterials Research group' (Prof. V. Cnudde) aan de UGCT. Bovendien worden verschillende OD Nature-teams bedankt voor hun bijdragen: ECOCHEM voor de analyses van de waterfiltraties en participatie aan de campagnes; MFC, Sébastien Legrand, voor gemodelleerde hydro-meteorologische gegevens. Voorts werden metingen gebruikt van de Vlaamse overheid, IVA MDK, afdeling Kust, 'Meetnet Vlaamse Banken' en het bathymetrieportaal. De FOD Economie, Dienst voor het Continentaal Plat (COPCO) wordt bedankt voor de hulp bij de verwerking van multibeamgegevens en de actieve samenwerking in het algemeen. COPCO en ILVO worden bedankt voor het delen van gegevens en ideeën.

Referenties:

- Baeye, M., Van den Eynde, D., Van Lancker, V., Francken, F. (2019). Monitoring of the impact of the extraction of marine aggregates, in casu sand, in the zone of the Hinder banks. Data report Year 2017. Report ZAGRI-MOZ4/X/MB/201905/EN/TR01. Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Operational Directorate Natural Environment, Brussels, 28 pp.
- Barette, F., Degrendele, K., Roche, M. (2020, dit volume). Monitoring van de zandwinning en de impact op de zeebodem.
- Belgian State (2018). Actualisatie van de initiële beoordeling voor de Belgische mariene wateren. Kaderrichtlijn Mariene Strategie – Art. 8 lid 1a & 1b. BMM, Federale Overheidsdienst Volksgezondheid, Veiligheid van de Voedselketen en Leefmilieu, Brussel, België, 243 pp.
- Bi, Q., Toorman, E.A. (2015). Mixed-sediment transport modelling in the Scheldt estuary with a physics based bottom friction law. *Ocean Dynamics*, 65, 555-587.
- Booij, N., Ris, R.C., Holthuijsen, L.H. (1999). A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation, *Journal of Geophysical Research*, C4, 104, 7649-7666.
- Decrop, B. (2016) Numerical and experimental modelling of near-field overflow dredging plumes. PhD, Universiteit Gent and Katholieke Universiteit Leuven, 335 pp.
- Dulière, V. (2017). Model bathymetries for the new North Sea COHERENS set up. Technical Report, Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Operational Directorate Natural Environment, 5 pp.
- Degrendele, K. (2016). Bepalen van een nieuw referentieoppervlak. Tussentijds rapport. FOD Economie, K.M.O., Middenstand en Energie, Kwaliteit en Veiligheid, Kwaliteit en Innovatie, Continentaal Plat, 19 pp.
- Degrendele, K., Roche, M., Vandereyken, H. (2017). New limits for the sand extraction on the Belgian part of the North Sea? Proceedings Study day, Belgian marine sand: a scarce resource? 9 June 2017, Ostend, K. Degrendele and H. Vandereyken (eds), FPS Economy, S.M.E.s, Self-employed and Energy, 135-146.
- De Mol, R. (2019). Handling imperfect information in practical applications. University of Ghent, Department of Telecommunications and information processing. Unpublished PhD, 176 pp.
- Fettweis, M., Riethmüller, R., Verney, R., Becker, M., Backers, J., Baeye, M., ... & Deloffre, J. (2019). Uncertainties associated with in situ high-frequency long-term observations of suspended particulate matter concentration using optical and acoustic sensors. *Progress in Oceanography*, 178, 102162.
- Fettweis, M., Toorman, E., Verney, R., Chapalain, M., Legrand, S., Lurton, X., Montereale Gavazzi, G., Roche, M., Shen, X., Van den Eynde, D., Van Lancker, V. (2020). INDI67: Developments of Indicators to improve monitoring of MSFD descriptors 6 and 7. Contract – BR/143/A2. Final Report. Brussels: Belgian Science Policy Office 2020, Brain-be, Belgian Research Action through Interdisciplinary Networks, 53 pp.
- Francken, F., Van den Eynde, D., Van Lancker, V. (2017). Application of a large dataset of sediment transport parameters: variability in sediment transport in the HBMC area. Report MOZ4/X/FF/201706/EN/TR01, 19 pp
- Hademenos, V., Stafleu, J., Missiaen, T., Kint, L., Van Lancker, V. (2018). 3D subsurface characterisation of the Belgian Continental Shelf: a new voxel modelling approach. *Netherlands Journal of Geosciences*, 98. <https://doi.org/10.1017/njg.2018.18>
- Holthuijsen, L.H., Booij, N., Herbers, T.H.C. (1989). A prediction model for stationary, short-crested waves in shallow water with ambient currents. *Coastal Engineering*, 13, 23-54.

- Holthuijsen, L.H., Booij, N., Ris, R.C. (1993). A spectral wave model for the coastal zone. Proceedings of the 2nd International Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis, New Orleans, USA, 630-641.
- Holthuijsen, L.H., Herman, A., Booij, N. (2003). Phase-decoupled refraction-diffraction for spectral wave models, *Coastal Engineering*, 49, 291-305.
- Houziaux, J.-S., Kerckhof, F., Degrendele, K., Roche, M.F., Norro, A. (2008). The Hinder banks: yet an important area for the Belgian marine biodiversity? Brussels: Belgian Science Policy, 248 pp.
- Kint, L., Van Lancker, V. (2020). Sediment analyses of ST1407, ST1807 and ST1909. Scientific report. Brussels, RBINS-OD Nature. Report ZAGRI-MOZ4/2/LK/2020/EN/SR01, 29 pp.
- Kint, L., Montereale Gavazzi, G., Van Lancker, V. (2018). Kaderrichtlijn Mariene Strategie. Beschrijvend element 6: Zeebodintegriteit. Ruimtelijke analyse fysisch verlies en fysische verstoring. Brussel, Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen, 40 pp.
- Kint, L., Hademenos, V., De Mol, R., Stafleu, J., van Heteren, S., Van Lancker, V. (2020). Uncertainty assessment applied to marine subsurface datasets. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*. <https://doi.org/10.1144/qjegh2020-028>.
- Lee, B.J., Kim, J., Hur, J., Choi, I.H., Toorman, E., Fettweis, M., Choi, J.W. (2019). Seasonal dynamics of organic matter composition and its effects on suspended sediment flocculation in river water. *Water Resources Research*. <https://doi.org/10.1029/2018WR024486>.
- Luyten, P. (Ed.) (2016). Coherens – A coupled hydrodynamic-ecological model for regional and shelf seas: user documentation. Version 2.6. RBINS Report, Operational Directorate Natural Environment, Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Brussels, Belgium, 1554 pp.
- Montereale Gavazzi, G.O.A. (2019). Development of seafloor mapping strategies supporting integrated marine management: application of seafloor backscatter by multibeam echosounders. PhD Thesis, Ghent University, Ghent, Belgium, 392 pp.
- Montereale Gavazzi, Roche, M., Lurton, X., Degrendele, K., Terseleer, N., Van Lancker, V. (2018). Seafloor change detection using multibeam echosounder backscatter: case study on the Belgian part of the North Sea. *Marine Geophysical Research*, 39(1-2), 229-247.
- Montereale Gavazzi, G., Roche, M., Degrendele, K., Lurton, X., Terseleer, N., Baeye, M., Francken, F., Van Lancker, V. (2019). Insights into the Short-Term Tidal Variability of Multibeam Backscatter from Field Experiments on Different Seafloor Types. *Geosciences*, 9(1), 34. <https://doi.org/10.3390/geosciences9010034>.
- Ris, R.C., 1997. Spectral modelling of wind waves in coastal areas. PhD Dissertation, Delft University of Technology, Department of Civil Engineering. Communications on Hydraulic and Geotechnical Engineering, Report No. 97-4. Delft, The Netherlands.
- Shen, X., Toorman, E.A., Fettweis, M., Lee, B.J., He, Q. (2019a). Simulating multimodal floc size distributions of suspended cohesive sediments with lognormal subordinates: Comparison with mixing jar and settling column experiments. *Coastal Engineering*, 148, 36-48. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2019.03.002>.
- Shen, X., Toorman, E., Lee, B.J., Fettweis, M. (2019b). Effects of aquatic biofilms on flocculation processes of cohesive sediments: A modeling approach. *Journal of Geophysical Research*. <https://doi.org/10.1029/2018JC014493>.
- Spearman, J.R., De Heer, A., Aarninkhof, S., Van Koningsveld, M. (2011). Validation of the TASS system for predicting the environmental effects of trailing suction hopper dredgers. *Terra et Aqua*, 125, 14-22.
- TILES Consortium (2018). Aggregate Resource Decision-support Tool: <http://www.bmdc.be/tiles-dss/#>. Brain-be project TILES (Transnational and Integrated Long-term Marine Exploitation Strategies, BR/121/A2/TILES), Belgian Science Policy, Brussels.
- UNEP (2019). Sand and sustainability: Finding new solutions for environmental governance of global sand resources. GRID-Geneva, United Nations Environment Programme, Geneva, Switzerland, 54 pp.
- Van den Eynde, D. (2016). Measuring, using ADV and ADP sensors, and modelling bottom shear stresses at the MOW1 site (Belgian continental shelf). Report MOMO-INDI67/1/DVDE/201608/EN/TR01, Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Operational Directorate Natural Environment, Brussels, 47 pp.
- Van den Eynde, D. (2017). The impact of extraction on the bottom shear stress using the proposed new extraction limit levels. Report ZAGRI-MOZ4-INDI67/1/DVDE/201706/EN/TR02, Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Operational Directorate Natural Environment, 37 pp.
- Van den Eynde, D., Baeye, M., Van Lancker, V. (2014). Validation of the OPTOS-FIN model in marine aggregate extraction zone4, Hinder Banks. Brussels, RBINS-OD Nature. Report ZAGRI-MOZ4/X/DVDE/201401/EN/TR/1, 40 pp.

Van den Eynde, D., Francken, F., Van Lancker, V. (2017). Effect of extraction of sand on the bottom shear stress on the Belgian Continental Shelf. Proceedings Study day, Belgian marine sand: a scarce resource? 9 June 2017, Ostend, K. Degrendele and H. Vandereyken (eds), FPS Economy, S.M.E.s, Self-employed and Energy, 67-86.

Van den Eynde D., Baeye, M., Francken, F., Montereale Gavazzi, G., Terseleer, N., Van Lancker, V. (2019a). Monitoring of the impact of the extraction of marine aggregates, in casu sand, in the zone of the Hinder Banks. Period 1/1 – 31/12 2018. Brussels, RBINS-OD Nature. Report MOZ4-ZAGRI/X/DVDE/2019/EN/SR05, 23 pp. + 4 Annexes.

Van den Eynde, D., Verwaest, T., Trouw, K. (2019b). The impact of sand extraction on the wave height near the Belgian coast. Report MOZ4-ZAGRI/X/DVDE/201906/EN/TR03, RBINS-OD Nature and MUMM, Brussels, 44 pp.

Van Lancker, V., Du Four, I., Verfaillie, E., Deleu, S., Schelfaut, K., Fettweis, M., Van den Eynde, D., Francken, F., Monbaliu, J., Giardino, A., Portilla, J., Lanckneus, J., Moerkerke, G. and Degraer, S. (2007). Management, research and budgetting of aggregates in shelf seas related to end-users (Marebasse). Final Scientific Report + GIS@SEA DVD. Belgian Science Policy, 133 pp.

Van Lancker, V., Baeye, M., Fettweis, M., Francken, F., Van den Eynde, D. (2014). Monitoring of the impact of the extraction of marine aggregates, in casu sand, in the zone of the Hinder Banks. Brussels, RBINS-OD Nature. Report <MOZ4-ZAGRI/X/VVL/201401/EN/SR01>, 384 pp. (9 Annexes).

Van Lancker, V., Baeye, M., Evangelinos, D., Van den Eynde, D. (2015). Monitoring of the impact of the extraction of marine aggregates, in casu sand, in the zone of the Hinder Banks. Period 1/1 – 31/12 2014. Brussels, RBINS-OD Nature. Report <MOZ4-ZAGRI/I/VVL/201502/EN/SR01>, 74 pp. (+5 Annexes, 109 pp).

Van Lancker, V., Baeye, M., Montereale Gavazzi, G., Van den Eynde, D. (2016). Monitoring of the impact of the extraction of marine aggregates, in casu sand, in the zone of the Hinder Banks. Scientific Report 3 – January-December 2015 and Synthesis for the period 2011-2015. Report MOZ4-ZAGRI/I/VVL/2016/EN/SR01, Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Operational Directorate Natural Environment, Brussels, Belgium, 276 pp.

Van Lancker, V., Francken, F., Montereale Gavazzi, G., Van den Eynde, D. (2017). Monitoring of the impact of the extraction of marine aggregates, in casu sand, in the zone of the Hinder Banks. Scientific Report 4 – January-December 2016. Report MOZ4-ZAGRI/I/VVL/201712/EN/SR01, Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Operational Directorate Natural Environment, Brussels, Belgium, 107 pp.

Van Lancker, V., Kint, L. & Montereale Gavazzi, G. (2018). Fysische verstoring en verlies van de zeebodem (D6). In: Belgische Staat. Evaluatie van de goede milieutoestand van de Belgische mariene wateren. Kaderrichtlijn Mariene Strategie. BMM, Federale Overheidsdienst Volksgezondheid, Veiligheid van de Voedselketen en Leefmilieu, Brussel, België. (<https://odnature.naturalsciences.be/msfd/nl/assessments/2018/page-d6>).

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, P.P., Stafleu, J., Stam, J., Degrendele, K., Roche, M. (2019). Transnational and Integrated Long-term Marine Exploitation Strategies (TILES). Final Report. Brussels: Belgian Science Policy, BRAIN-be - Belgian Research Action through Interdisciplinary Networks, 75 pp.

Van Lancker, V., Baeye, M., Montereale Gavazzi, G., Kint, L., Terseleer, N., Van den Eynde, D. (2020). Monitoring of the impact of the extraction of marine aggregates, in casu sand, in the zone of the Hinder Banks. Period 1/1 – 31/12 2019 and Synthesis of results 2016-2019. Brussels, RBINS-OD Nature. Report <MOZ4-ZAGRI/I/VVL/2020/EN/SR01>.

Wyns L., Hostens K., De Backer A. (2020, dit volume). Het effect van zandwinning op het bodemleven in het Belgisch deel van de Noordzee.

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.

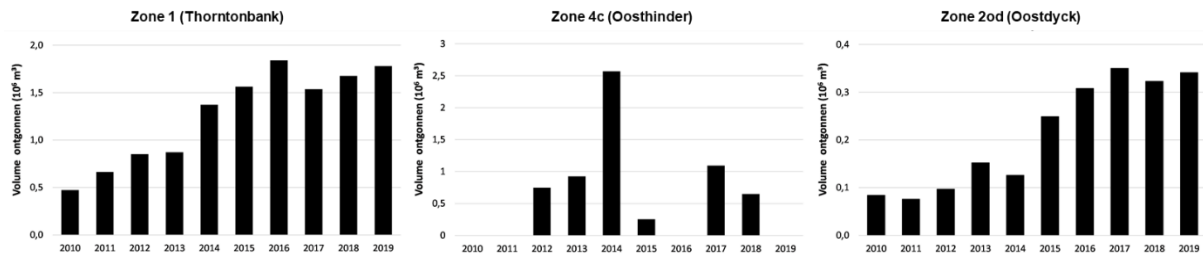
3.2. Methodologie

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).

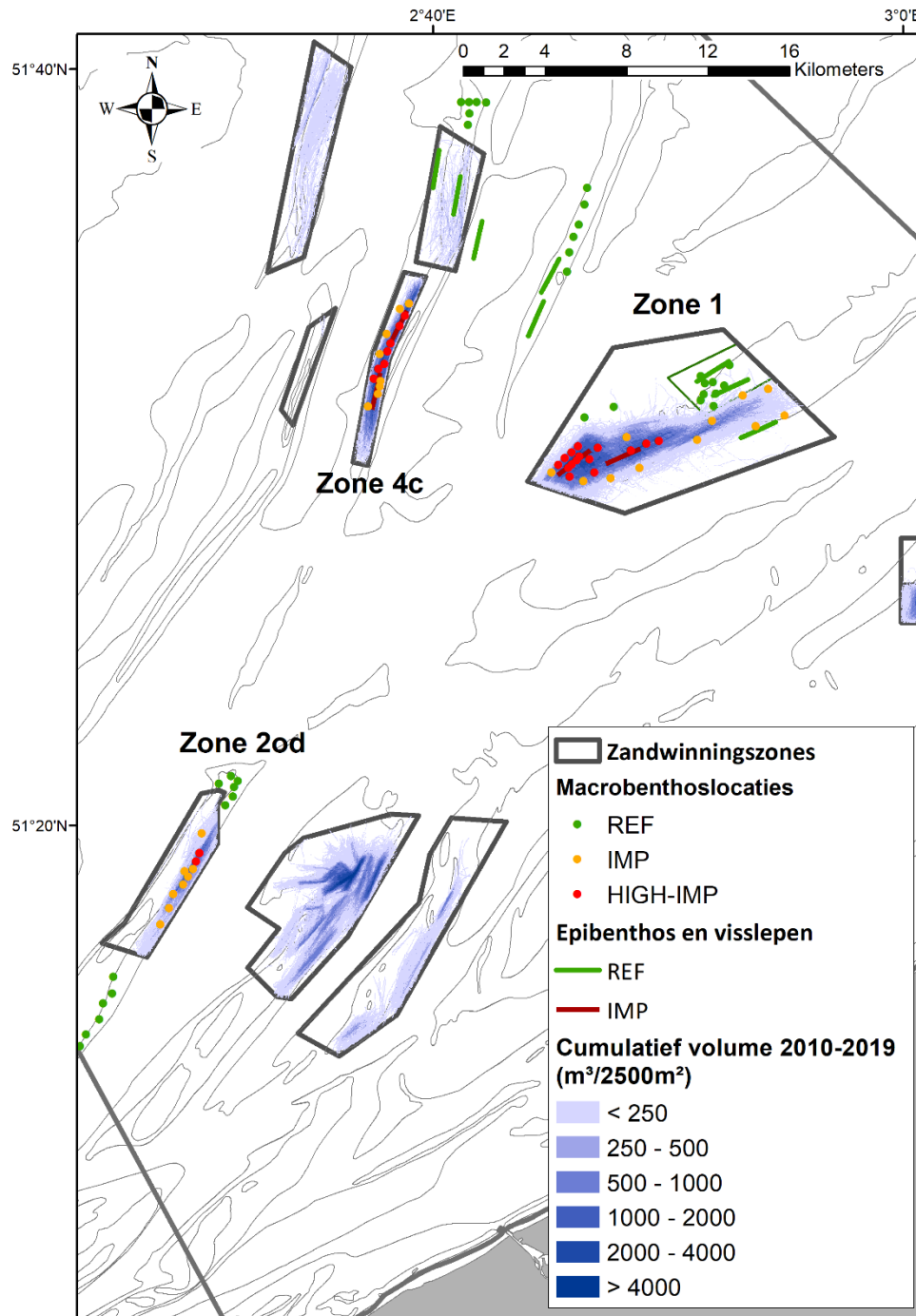


Staalname strategie en beschikbare data

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 verschild 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)).

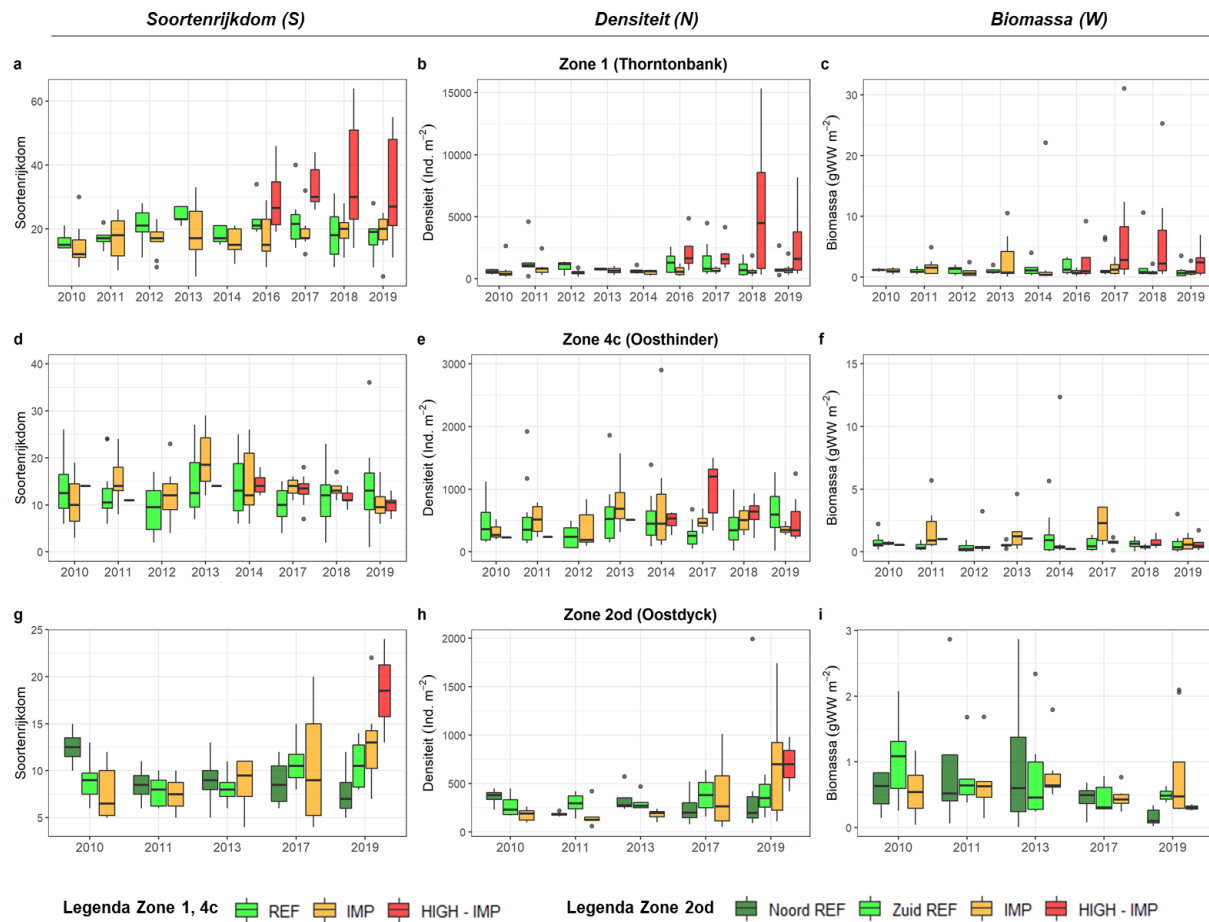
REF = referentie; IMP = impact; HIGH-IMP = hoge impact; Noord REF = referentie stalen genomen op het noordelijk deel van de zandbank; Zuid REF = referentie stalen genomen op het zuidelijk deel van de zandbank; Voor Zone 1 en 2od wordt de sedimentsamenstelling voor alle gebruikte jaren weergegeven, voor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

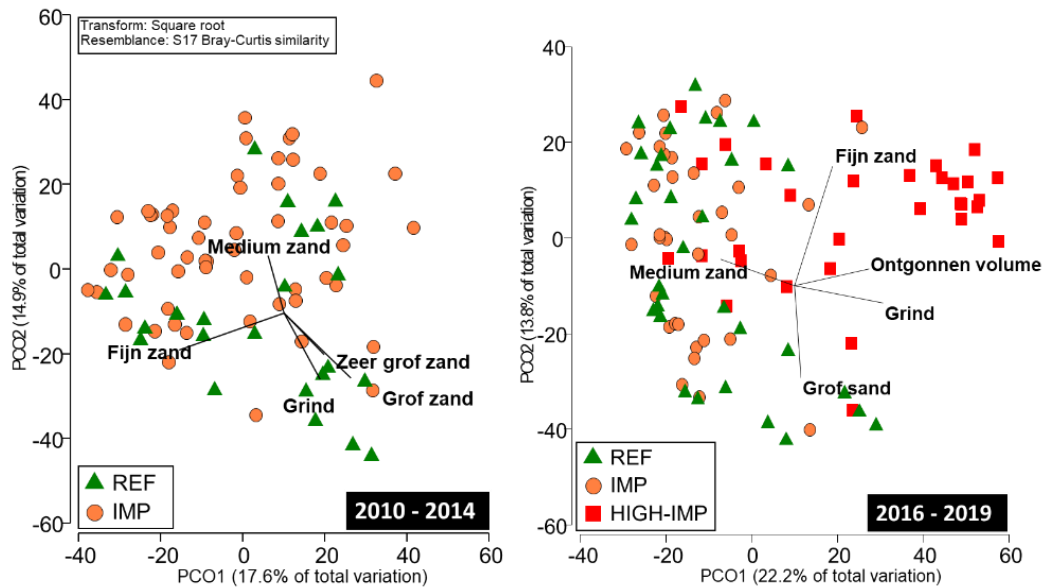
Figuur 4: Boxplots voor de macrobenthosparameters densiteit, soortenrijkdom en biomassa per ontginningszone (Thorntonbank, Oosthinder; Oostdyck).

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.

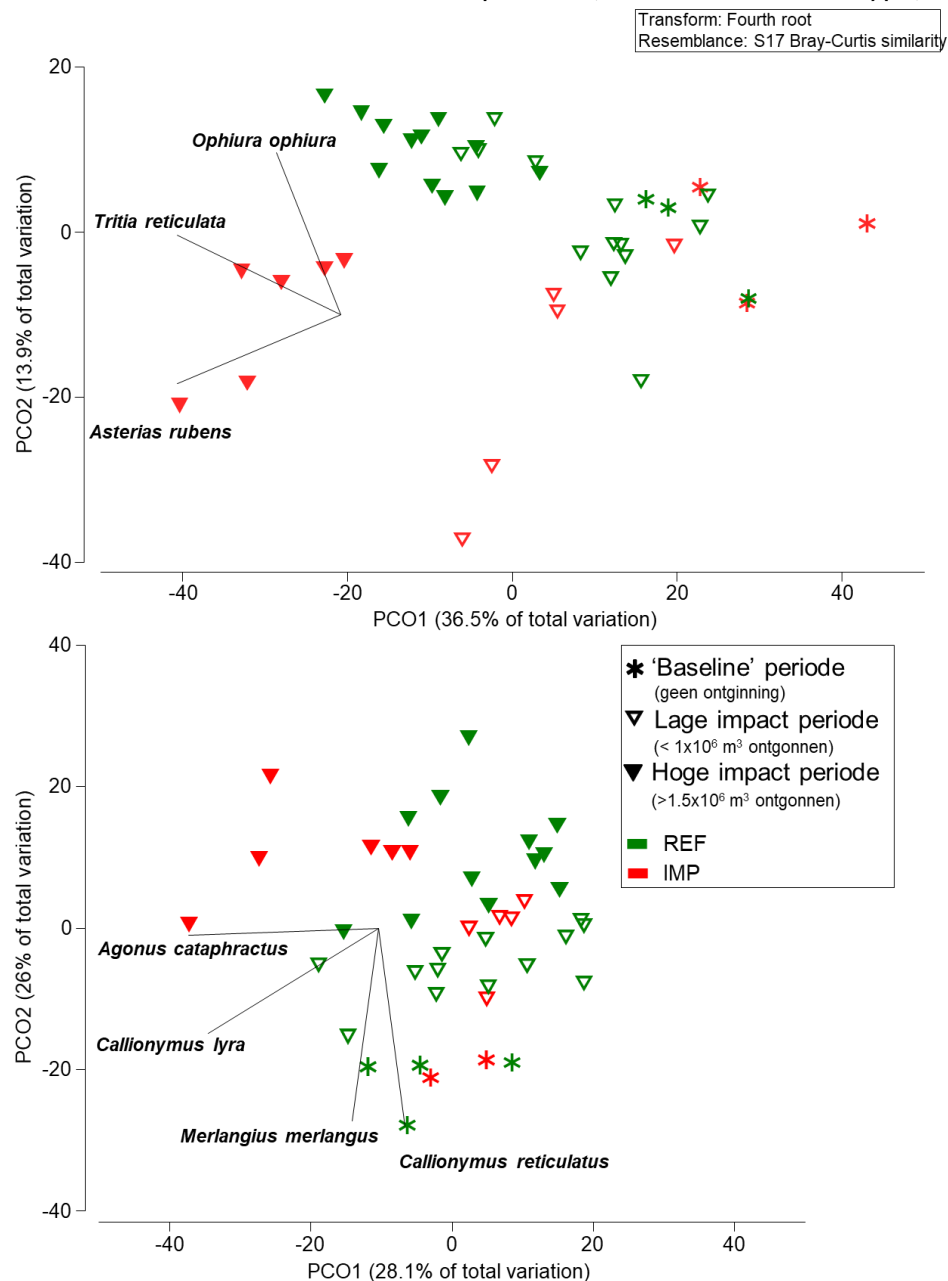
Figuur 5: PCO plot gebaseerd op densiteit van macrobenthossoorten met indicatie van de verschillende impact groepen voor de 2010 – 2014 lage impact periode (links) en 2016 – 2019 hoge impact periode op de TB. Vectoren tonen de omgevingsvariabelen die voor minstens $r > 0.3$ correleren met het multivariate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



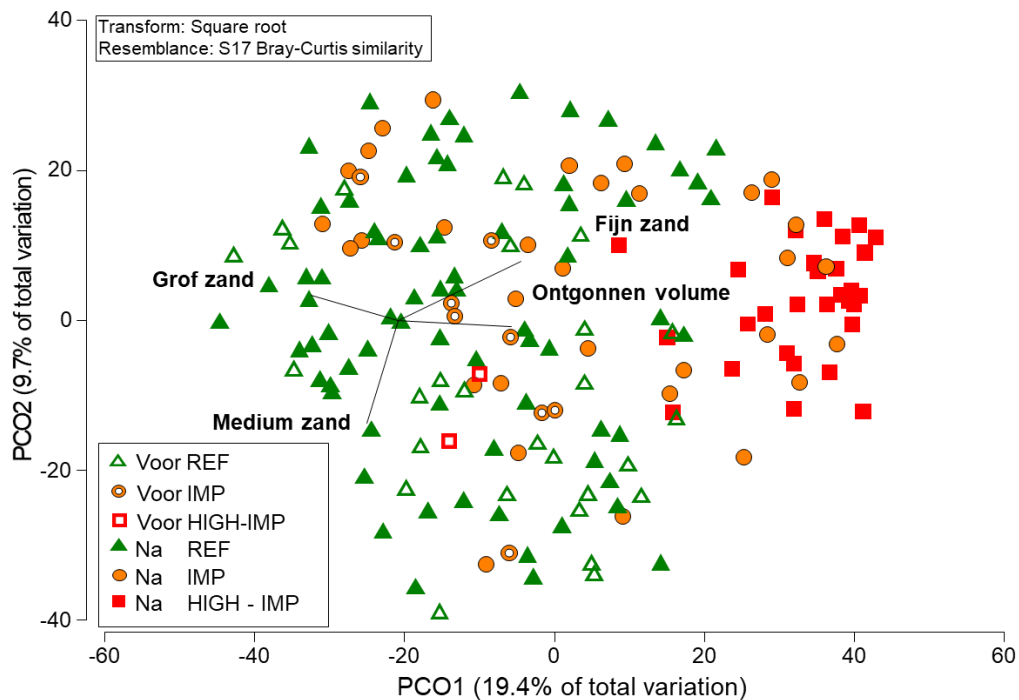
3.3.2. Zone 4c (Oosthinder)

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.

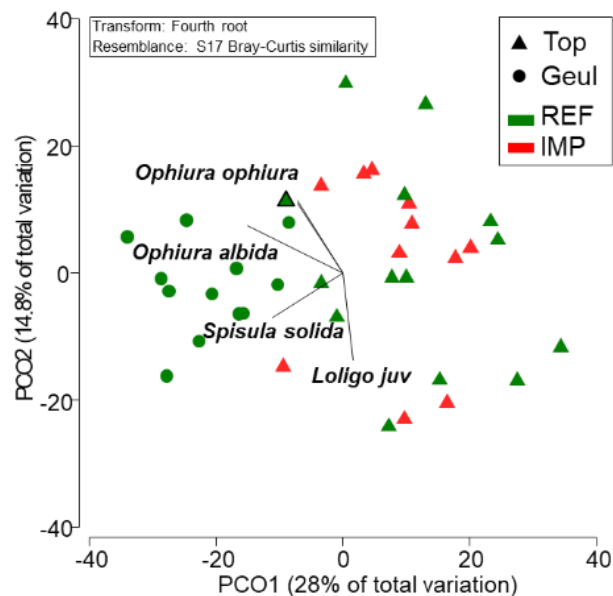
Figuur 7: PCO plot gebaseerd op densiteit van macrobenthossoorten met indicatie van de verschillende impact groepen voor de OH. 'Voor' (open symbolen) duidt op de periode voor 2012 waarin nog geen ontginning plaatsvond, 'na' (gesloten symbolen) is de periode na de start van ontginning. Vectoren tonen 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)

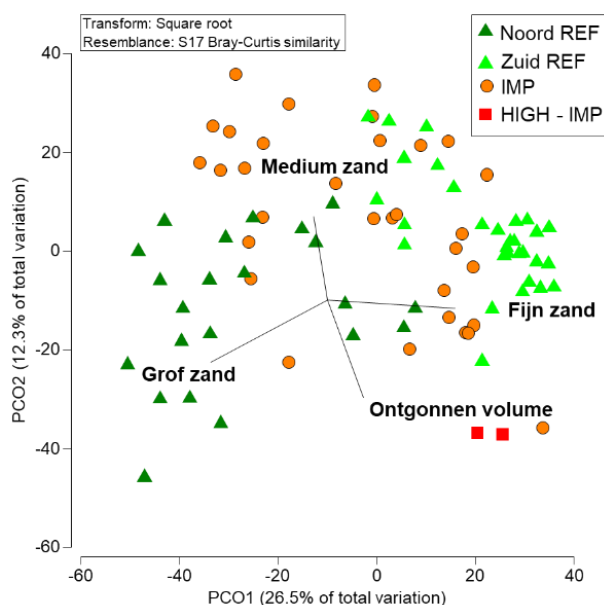
Sedimentsamenstelling en de macrobenthosgemeenschap

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 m^3 /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),