

Een blik op zee

Biodiversiteit en bescherming van het mariene leven in het Belgisch deel van de Noordzee

Jan Vanaverbeke, Steven Degraer, Jan Haelters, Francis Kerckhof, Jan Seys, Gert Van Hoey,
Sofie Vandendriessche & Leen Vandepitte

Door haar unieke ligging bevat het Belgische deel van de Noordzee een serie zandbanken en bodems gaande van slibrijk zand en zand tot grind. Ze vormen een thuishaven voor een rijke maar weinig gekende biodiversiteit. In deze bijdrage naar aanleiding van het afgelopen biodiversiteitsdecennium belichten we deze aan het oog onttrokken diversiteit. Het laatste decennium zag immers heel wat veranderingen in het menselijk gebruik van de mariene omgeving en de implementatie van wetgeving die de kwaliteit van het mariene leven moet beschermen. Tegelijk is echter nog meer kennis nodig om dat doel volledig te bereiken. De Verenigde Naties roepen daarom de komende periode 2021-2030 uit tot het Decennium van Oceaanwetenschappen voor Duurzame Ontwikkelingen.

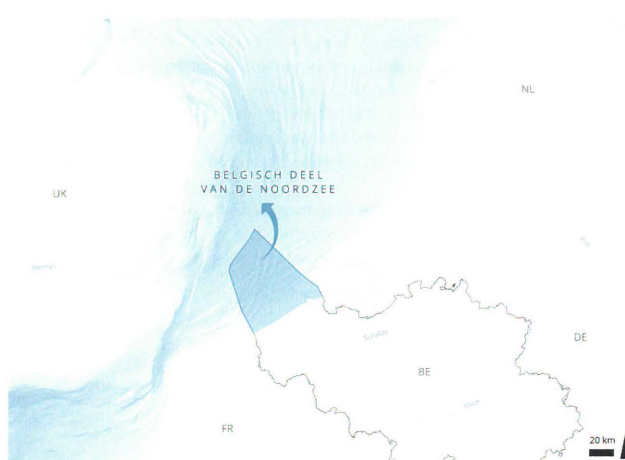
Onze Noordzee is als randzee verbonden met de 71% van het aardoppervlak dat blauw en zout is. Dit wereldwijde marien en oceanisch ecosysteem mag dan voor veel mensen een groten-deels nobele onbekende zijn, het is buitengewoon divers, gaande van extreme diepzeekomplexeën over schijnbaar eentonige en immense diepzeevlaktes tot subtropische koraalriffen en polaire mariene habitats. Samen levert dit oceanische ecosysteem een indrukwekkende hoeveelheid ecosystemendiensten, die het leven op aarde mogelijk maakt en leefbaar houdt (Costanza et al. 1997).

Het Belgisch deel van de Noordzee (BDNZ, **Figuur 1**) is met zijn 3.454 km² zo groot als een Belgische provincie. Trapeziumvormig, maximaal 45 meter diep en met het verste punt 83 kilometer in zee, neemt deze elfde provincie nauwelijks 0,5% van de hele Noordzee in en lijkt ze hierdoor misschien verwaarloosbaar (Verhalle 2020). Toch is niets minder waar. Meer nog, door deze bijzondere ligging is dit misschien wel een van de boeiendste plekken in de Noordzee.

Door de trechtervorm van het Kanaal wordt het getij er immers opgestuwd. In het BDNZ zijn de dagelijkse verschillen tussen laag- en hoogtij maximaal en bedragen ze niet minder dan 4 tot 5 meter, waar die in het noorden van Nederland nog amper één meter bedragen (Van de Walle & Seys 2002). Sterke getijstromingen van gemakkelijk 1 meter per seconde zijn het gevolg en nemen continu zand en slib in suspensie (Trouw et al. 2015). Daarnaast voeren ook rivieren als de Schelde sediment aan, naast voedingsstoffen en zoetwater. Dit eerder troebele rivierwater, in de zomer warmer, in de winter kouder dan het zeewater, mengt zich ter hoogte van het BDNZ met helder oceanisch water dat de zuidpunt van de Noordzee bereikt vanuit het noorden en via het Kanaal.

De trechter van de zuidelijke Noordzee kent een lange geschiedenis als opvangbassin voor riviersediment, wat tot dikke

zandpakketten in het BDNZ leidt. De zeebodem bestaat hierdoor grotendeels uit zandig substraat. Dat neemt in het BDNZ in grofheid toe in zee- en westwaartse richting (Mathys 2010). De combinatie van sterke getijstromingen en grote hoeveelheden voorradig zand ligt aan de basis van de uitgestrekte en unieke zandbankcomplexen op het zuidelijkste punt van de Noordzee. Het BDNZ kent dan ook een dertigtal zandbanken, sommige tientallen kilometers lang en tot wel 30 meter hoger dan de belendende geul (Mathys 2010). Enkel in de monding van de Thames, niet toevallig aan de overzijde van de trechter, zijn vergelijkbare zandbankcomplexen in de Noordzee te vinden. De zandbanken in het BDNZ kennen hun oorsprong vanaf 9.500 jaar geleden en blijken de voorbije tweehonderd jaar vrij stabiel (Van Cauwenberghe 1971). Slechts twee zandbanken komen af en toe boven het laagwaterniveau uit: de Broersbank ter hoogte van Koksijde, en de 'nieuwe' zandbank van Heist. Een kleine helft van die zandbanken loopt evenwijdig met de kustlijn, de andere vertonen een lichte zeewaartse afbuiging.



Figuur 1. Het Belgisch deel van de Noordzee in zijn ruimere omgeving.

Alle hebben een oudere sokkel, afgedekt met Quartair fijn tot grof zand (Mathys 2010). Deze 'onderwaterduinen' herbergen een relatief diverse bodemfauna, een belangrijk onderdeel van het mariene voedselweb (zie **Box 1**). Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen de fauna van zandige (of beter: mobiele) sedimenten en deze van harde (niet-mobiele) sedimenten. De fauna van zandige sedimenten is op te delen in vijf biotopen op basis van de bodembewonende fauna, overeenstemmend met een bepaalde korrelgrootteverdeling van het sediment (Breine et al. 2018). De stranden, onder getijdeninvloed, herbergen een zesde gemeenschap (Degraer et al. 2003). De twee ecologisch meest waardevolle zandige bodemtypes zijn fijn-zandige sedimenten, die een diverse en productieve fauna herbergen (hoge aantallen en biomassa), en het grof zandig habitat, met een diverse maar minder productieve fauna (beperkte aantallen en biomassa). Verder uit de kust, voornamelijk in het west- en noordwestelijk deel van het BDNZ, zijn er ook grindbedden aanwezig. Dat zijn, samen met de dagzomende tertiaire klei- en turfbanken die worden aangetroffen in de kustzone (Kerckhof & Houziaux 2003), de enige volledige natuurlijke harde substraten in het BDNZ. Deze grindbedden vormen een belangrijk habitat o.a. voor de hervestiging van de Europese oester *Ostrea edulis*, en diens geassocieerde fauna van mosdierpjes, poliepen, zee-anemonen, dodemansduimen enz. (Houziaux et al. 2008), die als aparte bodemfaunagemeenschap kunnen worden beschouwd (Kerckhof & Houziaux 2003). Kunstmatig hard substraat is reeds lang aanwezig in de vorm van havenmuren en strandhoofden en als wrakken dieper in zee. De offshore windparken vormen sinds 2008 een nieuw habitat aan artificieel hard substraat, bestaande uit de turbines, hun funderingen en erosiewerende steenbestortingen.

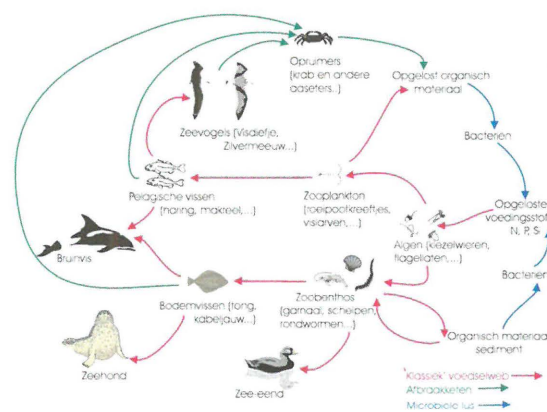
Tezelfdertijd heeft deze uitzonderlijke ligging ook een economische en maatschappelijke impact. Het Kanaal, en in het verlengde daarvan het BDNZ, is de op één na drukste scheepvaartroute ter wereld, met dagelijks zo'n 500 doorgaande bewegingen (Verhalle 2020). De kustlijn van nauwelijks 65 km telt vier havens en ontvangt via de Schelde en de IJzer effluënten en andere vormen van vervuiling vanuit het binnenland. Het BDNZ kent ook drukbezochte stranden die een belangrijke toeristische meerwaarde bieden. Daarnaast zijn nog heel wat andere gebruikers in dit kleine gebied actief, zoals zandwinners, baggeraars, vissers, kabelleggers, militairen, producenten van hernieuwbare energie en mogelijk straks ook kwekers van zeewier en schelpdieren (Verhalle 2020). Hoe dit intensieve gebruik van het BDNZ in evenwicht te brengen of houden met de economische activiteit en de biologische waarde is dan ook een continue uitdaging.

Shifting baselines

De huidige situatie is zeker niet meer representatief voor de historische situatie. Om te weten welke veranderingen de mens in het mariene ecosysteem heeft teweeggebracht, moeten we ons een beeld proberen te vormen van het natuurlijke milieu voor 1860. Toen kwam, met de opkomst van de industriële visserij en de aanleg van spoorwegen, de exploitatie van het mariene milieu in een stroomversnelling. Door gebrek aan historische data over de mariene biodiversiteit is dit beeld vormen echter

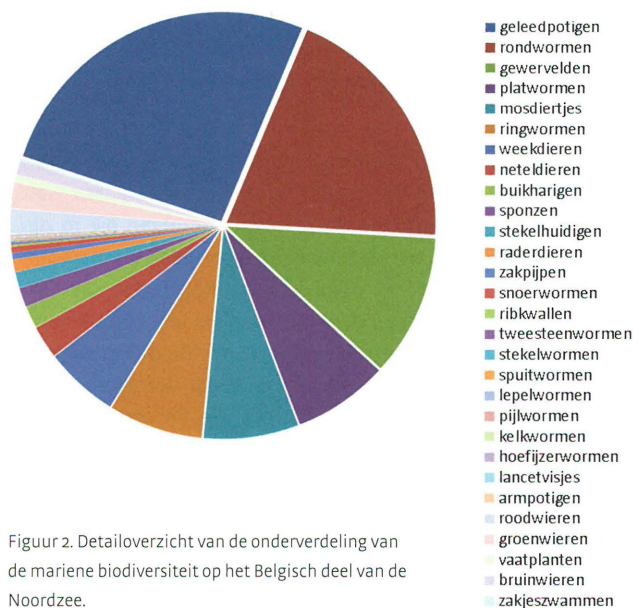
Box 1: Het voedselweb van de zee

Net als op het land nemen mariene plantaardige organismen een belangrijke plaats in aan de basis van het voedselweb. Fytoplankton (microscopische algen die in de waterkolom leven, bv. kiezelwieren) gebruiken immers de energie van zonlicht en opgeloste voedingsstoffen om via fotosynthese biomassa op te bouwen. In de waterkolom is dat fytoplankton een voedselbron voor dierlijk plankton (zoöplankton), dat op zijn beurt het dieet vormt van een groot aantal pelagische vissen. Op en in de zeebodem is dit fytoplankton (dood of levend) een voedselbron voor bodembewonende organismen (benthos), die op hun beurt worden geconsumeerd door bodembewonende vissen. Zowel benthos als vissen behoren tot de prooi-soorten van hogere trofische niveaus (vogels, zeezoogdieren). Opruimers, die doorgaans ook tot het benthos behoren, en allerlei micro-organismen (waaronder bacteriën) zorgen dan weer voor de afbraak van dood organisch materiaal tot opgeloste voedingsstoffen.



Het voedselweb van de zee (Claus & Cuvelier 2004)

zeer moeilijk. Abbé Mann (1777) is de eerste die ons mariene milieu beschrijft. Hij schrijft over de enorme aantallen Haring *Clupea harengus* en Sprot *Sprattus sprattus*, platvissen en roggen die in de zuidelijke Noordzee voorkwamen. Tegelijkertijd merkte hij toen al bezorgd op dat in 25 jaar tijd heel wat soorten er sterk op achteruit zijn gegaan. Mann vermeldt nog verschillende soorten roggen, maar bijna een eeuw later ziet Bortier (1861) het verdwijnen van de roggeneieren die vroeger ‘onze stranden bedekten’ als duidelijk bewijs van de ontvolking van de zee. Tegenwoordig zijn roggen en hun eikapsels zo zeldzaam dat er speciale aandacht voor gevraagd wordt via citizen science programma’s. Naast het uitbundig voorkomen van diverse vissoorten, werden ook historische oesterbanken voor onze kust ontdekt (Lanszweert 1868). Iets later beschrijft Van Beneden (1883) in lyrische bewoordingen zijn ontdekking van een gebied met stenen en talrijke interessante organismen: het Westhindergebied. Hij vermeldt een hele reeks soorten die nu verdwenen of zeldzaam zijn, zoals de Europese oester. Een gedetailleerd uitvlooiën van visserijarchieven lieten Kerckhof et



Figuur 2. Detailoverzicht van de onderverdeling van de mariene biodiversiteit op het Belgisch deel van de Noordzee.

al. (2018) toe om aan te tonen dat de oesterbedden op slechts enkele jaren (1868-1873) grotendeels zijn weggevisst, voornamelijk voor verkoop op de Engelse markt. Nog wat later, rond 1900, verzamelde Gustave Gilson een enorme en unieke collectie van organismen en sedimentmonsters van het BDNZ. Van die eens zo rijke biodiversiteit van het Westhindergebied vond Gilson nog restanten, waaronder enkele overgebleven oesters (Houziaux et al. 2008). Met het verdwijnen van oesters en de degradatie van natuurlijke harde substraten verdwenen ook heel wat soorten die daarvan afhankelijk zijn: opgerichte sponzen zoals Geweisspons *Haliclona oculata* of mosdiertjes zoals Bladachtig hoornwier *Flustra foliacea*. Het gebied werd ook ongeschikt als paaipplaats voor o.a. Haring, die ooit in enorme aantallen voor onze kust gevangen werd, maar waarvan de stock nu is gedecimeerd. Als visionair pleitte Gilson in 1921 voor het instellen van beschermde zones voor de voorplanting van Haring (Gilson 1921).

Veel meer nog dan in het historisch relatief goed bestudeerde terrestrische milieu, moeten we ons bij het streven naar behoud en herstel bewust zijn van de dramatische veranderingen die in de loop van minstens de voorbije 200 jaar hebben plaatsgevonden in het mariene milieu. Wetgeving en maatregelen ter bescherming van het mariene milieu gaan vaak voorbij aan wat de natuurlijke situatie was voordat de mens er drastisch ingreep. Successen worden afgemeten ten opzichte van referentiewaarden die worden bepaald aan de hand van recente metingen of observaties. Daarom is de bewering 'dat er 50% meer vis in de Europese zeeën zit dan tien jaar terug' uit het laatste rapport (2020) van de Europese wetenschappelijke visserijcomité (STECF 2020) eigenlijk geen hoerabericht als je de evolutie op lange termijn zou bekijken. Dit is een mooi voorbeeld van het 'shifting baseline' syndroom, waarbij men een toestandsverandering afmeet ten opzichte van een referentietoestand die op dat moment zelf al aan significante veranderingen onderhevig was (Pauly 1995). De problematiek van baselines blijkt ook al uit het artikel van Schoukens (2020) die elders in dit nummer ingaat op het belang van referenties bij eco-herstel.

Het BDNZ: een divers ecosysteem

Met 2.091 vastgestelde soorten, eencellige organismen zoals bacteriën, kiezelwieren en andere protisten niet meegerekend, is het BDNZ behoorlijk soortenrijk (VLIZ Belgian Marine Species Consortium 2010 onwards). Op nauwelijks 0,001% van het wereldwijde areaal aan oceaan en zeeën is 0,9% van alle soorten waargenomen (Worms Editorial Board 2020). Los van het productieve karakter van dit ondiepe zeegebied speelt hierin ook de lange traditie van biologisch onderzoek in een beperkt en goed bereikbaar gebied een rol.

Naast een kleine groep vloedmerkplanten (9), enkele schimmels (4) en een honderdtal voornamelijk groen- en roodwieren, gaat het om een uitgebreid en divers assortiment aan dieren. Slechts 12% ervan betreft de best bekende gewervelden (vissen, zeeschildpadden, zeevogels en zeezoogdieren: 240 soorten). Veel soortenrijker zijn de geleedpotigen (kreeftachtigen: 534 soorten) en de rondwormen (418). Ook mosdiertjes (157), platwormen (157), ringwormen (156) en weekdieren (schelpen, slakken, inktvissen: 122) scoren hoog (Figuur 2). Een goede honderd soorten zijn dwaalgast en als eerder eenmalige waarnemingen te beschouwen. Van nauwelijks 14 soorten wordt met zekerheid aangenomen dat ze verdwenen zijn in de voorbije 10 tot 30 jaar.

Daartegenover staan nieuwe soorten die hun verspreidingsgebied geleidelijk uitbreiden, bijvoorbeeld door de klimaatwijziging. Andere soorten maken grotere sprongen en slagen er met de hulp van de mens in zich vanuit verafgelegen gebieden in de Noordzee te vestigen. Voor niet minder dan 79 soorten is dit intussen het geval (webref 1). Ter vergelijking: de hele Noordzee kent zo'n 200 introducties, de Europese zeeën als geheel 824 (Tsiamis et al. 2019). De bij ons geïntroduceerde soorten hebben het mariene leven, vooral dan in de kustwateren, snel en ingrijpend veranderd. Ze worden argwanend in het oog gehouden, vermits deze nieuwe soorten het habitat kunnen veranderen, concurreren met inheemse soorten en ook economische schade veroorzaken (vnl. door sterke aangroei op de romp van schepen, sluisdeuren ...). Ongewervelden, en dan vooral kreeftachtigen



Figuur 3. Aanspoelsel op het Klein Strand van Oostende bestaande uit Filipijnse tapijtschelpen *Ruditapes philippinarum*, Japanse oesters *Magallana gigas*, Amerikaanse zwaardschedes *Ensis directus* en vervellingen van de Blaasjeskrab *Hemigrapsus sanguineus* als geïntroduceerde soorten naast mossels, alikruiken en kokkels als inheemse fauna. (© Francis Kerckhof)

(31 soorten) en weekdieren (10), vertegenwoordigen samen met zeewieren (12) de bulk aan mariene geïntroduceerde soorten.

Het gros van de geïntroduceerde soorten (**Figuur 3**) dat zich ook daadwerkelijk weet te vestigen, komt uit regio's met een vergelijkbaar klimaat. Vooral het Noord-Pacifische (38%) en Noord-Atlantische gebied (28%), dit laatste met overwegend Amerikaanse soorten, springen eruit. Negen soorten (11%) komen uit de Middellandse Zee of de Ponto-Kaspische regio. Kenmerkende soorten uit de noordelijke Pacific zijn de Japanse oester *Crassostrea gigas*, Filipijnse tapijtshell *Ruditapes philippinarum*, Wakame *Undaria pinnatifida*, Japans bessenwier *Sargassum muticum*, Blaasjes- en Penseelkrab *Hemigrapsus sanguineus* en *H. takanoi*. Gekende introducties van de oostkust van Amerika zijn het Muiltje *Crepidula fornicata*, de Amerikaanse zwaardschede *Ensis directus* en de Amerikaanse boommossel *Petricolaria pholadiformis*. Recent kwam daar nog de Amerikaanse strandschelp *Mulinia lateralis* bij. De oudst gekende introducties betreffen soorten als de Strandgaper *Mya arenaria* (1810) en Amerikaanse boommossel *P. pholadiformis* (1899), beide afkomstig uit het Noordwest-Atlantische gebied. Van soorten als de Brakwaterpok *Amphibalanus improvisus* is geen exacte datum van introductie bekend, maar hun aanwezigheid gaat ongetwijfeld veel verder terug in de tijd. Introductie geschiedt op velerlei wijzen. De twee belangrijkste zijn de scheepvaart (via ballastwater of aangroei op de romp) en de maricultuur. In dit laatste geval kan introductie bewust (bv. Japanse oester, Wakame, Filipijnse tapijtshell) plaatsvinden, of het gevolg zijn van een onbedoeld meeliften (bv. Muiltje, Amerikaanse boommossel, veel roodwieren). Van de 79 introducties in het BDNZ vond 58% plaats na 1990 (Kerckhof ongepubliceerd, Vandepitte et al. 2012).

Het is te verwachten dat een verdere globalisering, met versneld en verkort transport over grote afstanden, de introductie van snelgroeiende en opportunistische soorten nog zal versterken. Het verharden van de kust, door aanleg van offshore windparken, structuren voor kustbescherming, havens enz., resulteert bovendien in een netwerk van stapstenen voor soorten die het goed doen op harde substraten (Heery et al. 2018).

Menselijke activiteiten met een sterk effect

De vele menselijke activiteiten op het BDNZ (zie eerder) kunnen een sterk effect hebben op het ecosysteem. Een volledige opsomming hiervan zou ons te ver leiden. Hieronder bespreken we hoe drie belangrijke activiteiten of fenomenen het ecosysteem van het BDNZ hebben beïnvloed, als model voor hoe het ecosysteem blootstaat aan fysische en chemische druk. We selecteerden een traditionele en een recente zeegebonden activiteit (respectievelijk bodemberoerende visserij en de bouw en exploitatie van windmolenparken) en een fenomeen dat zijn oorsprong op het land kent (eutrofiëring).

Bodemberoerende visserij

Bodemberoerende vistechnieken hebben een sterke invloed op de structuur en het functioneren van het zeebodemeecosysteem (Kaiser et al. 2006, Hiddink et al. 2020). Bodemberoerende visserij maakt gebruik van visnetten en -tuig die de zeebodem raken, binnendringen en omwoelen en bodemdeeltjes doen opwarrelen



Figuur 4. Uiteinde van een boomkor met slof en kettingen (deel van de boomkor dat over de bodem sleept).

in de waterkolom. Ze veroorzaken met andere woorden sporen en meestal ook een stofwolk. De meest courante bodemberoerende vistuigen zijn de boomkor en bordennetten, waarbij het sleepnet wordt opgehouden met een kor of planken. De netopening is voorzien van kettingen of wekkers om platvis op te schrikken en het net in te jagen. Zo'n vistuigen hebben omwille van hun fysische verstoring een sterke invloed op de structuur en het functioneren van het ecosysteem van de zeebodem. De mate van deze verstoring is sterk afhankelijk van zowel het type tuig als het type bodem. In het algemeen is de impact op een slibrijke bodem hoger dan op een meer zandige. Een impactbeoordeling van visserij in een bepaald gebied gebeurt dan ook op basis van twee factoren (Rijnsdorp et al. 2020): de voetafdruk, als mate van fysische verstoring, en de gevoeligheid van de bodemfauna. De voetafdruk wordt berekend op basis van de penetratiediepte van het vistuig in de bodem en van de mate van opwarrelen van bodemdeeltjes in de waterkolom. De penetratiediepte verandert in functie van bodemtype, het gewicht van de boomkor en de aanwezigheid van sloffen, een kettingmat of wekkers (**Figuur 4**). Die factoren bepalen hoeveel bodemdieren in het spoor schade ondervinden of sterven. Een passage van een bodemberoerend vistuig zorgt in eerste instantie voor een daling in de aantallen bodemdieren en hun biomassa (Hiddink et al. 2020). Maar ook de biodiversiteit deelt in de klappen: bodemberoerende visserij zorgt voor een significante afname in langlevende soorten (> 3 jaar).



Figuur 5. Fluwelen zeemuis *Aphrodita aculeata*, een langlevende, kwetsbare borstelworm gevoelig voor boomkorverstoring. (© Hans Hillewaert)

Als we over bodemberoerende visserij in Belgische wateren spreken, dan gaat het vooral over boomkorvisserij op platvis en garnalen (Pecceu et al. 2014). Het is overwegend de Nederlandse vissersvloot die hier actief is. Met uitzondering van de windmolenparken en de Paardenmarkt voor de kust van Knokke-Heist wordt het volledige mariene grondgebied bevestigd, en dit meestal zeer intensief. Elk stukje zeebodem wordt gemiddeld minstens één tot meer dan drie keer per jaar omgewoeld. Hierdoor bestaat onze bodemfauna vooral uit kortlevende, weinig gespecialiseerde soorten die bestand zijn tegen fysische stress. Denk bijvoorbeeld aan de kleine borstelwormen *Spiophanes bombyx* en *Capitella capitata*. Door hun korte levensduur, vroegrijpheid, continue voortplanting en snelle groei kunnen die snel herstellen na een verstoring. De langlevende en kwetsbare soorten, zoals de Fluwelen zeemuis *Aphrodita aculeata* (Figuur 5), de Zeeklit *Echinocardium cordatum* en de Gewone artemisschelp *Dosinia exoleta* zijn in onze wateren duidelijk achteruitgegaan. Uit de opvolging van de toestand van de zeebodem op basis van de bodemfauna blijkt dat onze zanderige bodems een matige gezondheidsstatus hebben, maar dat de historisch rijke grindbedden er slecht aan toe zijn (Belgische staat 2018).

Eutrofiëring

Terwijl de gevolgen van bodemberoerende visserij voortvloeien uit een activiteit die op zee zelf wordt uitgevoerd, is nutriëntenaanrijking of eutrofiëring een voorbeeld van een verschijnsel dat zijn oorsprong grotendeels op het land heeft. Er zijn verschillende definities van eutrofiëring gangbaar (Andersen et al. 2006), maar allemaal verwijzen ze naar een te grote hoeveelheid nutriënten of voedingsstoffen in een watermassa, die explosieve bloei van eencellige algen in de waterkolom, het zogenaamde fytoplankton, veroorzaakt (Box 1). Als die uiteindelijk afsterven wordt het organisch

materiaal via microbiële processen afgebroken, wat op zijn beurt leidt tot zuurstofstress en mogelijk tot het ontstaan van zogenoemde 'dode zones' (Diaz & Rosenberg 2008). Daarnaast kan eutrofiëring leiden tot de explosieve bloei van de schuimvormende plaagalg *Phaeocystis*, tot bloei van toxische fytoplanktonsoorten en kan eivorming bij zoöplanktonsoorten verhinderd worden (Desmit et al. 2020). De hoeveelheid nutriënten in het BDNZ wordt bepaald door atmosferische depositie, de instroom van Atlantisch water (aangerijkt door Seine en Somme) en lokale aanvoer via de Schelde en de IJzer, en in mindere mate Rijn en de Maas (Nohe et al. 2020). De aanvoer van nutriënten via de rivieren was in stijgende lijn sedert de jaren 1960 en resulteerde in een maximale belasting van de kustwateren in de jaren 1980 (Billen et al. 2005). De fosforbelasting is sindsdien significant gedaald, onder meer als gevolg van het verbod op polyfosfaten in waspoeder. Ook de stikstofbelasting daalde, maar in mindere mate (Nohe et al. 2020). Het precieze gevolg van die daling is echter moeilijk in te schatten, omdat net in die periode ook de temperatuur van het zeewater toenam (circa 1,6 °C tussen 1988 en 2014, Desmit et al. 2020). Op dit moment staat het echter vast dat de combinatie van een veranderend klimaat en de maatregelen tegen eutrofiëring vanop het land hebben geleid tot een vermindering van de primaire productie in de Noordzee. Tegelijkertijd valt de voorjaarspiek van het fytoplankton sinds 2000 opmerkelijk vroeger in het jaar (Desmit et al. 2020). Dit kan leiden tot een mismatch met soorten die zich voeden met dat fytoplankton, waardoor ook het voedselweb beïnvloed kan worden (Schlüter et al. 2012). Nohe et al. (2020) merken verder op dat er ook meer schadelijke fytoplanktonsoorten voorkomen. Dergelijke soorten worden eerder verwacht af te nemen in minder eutrofe wateren, maar de verhoging van de zeewatertemperatuur resulteert in een grotere watermassa met een optimale temperatuur voor deze soorten.

Windmolenparken

In vergelijking met eutrofiëring is de installatie van windmolenparken op zee een veel recenter fenomeen, dat zich grotendeels tijdens het voorbije Biodiversiteitsdecennium deed gelden. In het BDNZ werden de eerste zes windmolens geïnstalleerd op de Thorntonbank in 2008 (Brabant & Degraer 2010). Momenteel zijn 318 turbines actief, verspreid over zes windmolenparken. Dat aantal zal tegen het eind van dit jaar aantal oplopen tot 399 (Rumes & Brabant 2019). Bovendien werd in het vernieuwde marien ruimtelijk plan een bijkomende zone (284 km²) voorzien waar energie kan gewonnen worden uit hernieuwbare bronnen. Deze zone overlapt deels met het Habitatrictlijngebied Vlaamse Banken (Rumes & Brabant 2019).

Tijdens de installatie van de turbines wordt de zeebodem verstoord, maar de bodemfauna herstelt snel (Coates et al. 2015). Het heien van de funderingspalen gaat gepaard met impulsief onderwatergeluid. Dat blijkt echter niet te leiden tot verhoogde mortaliteit van juveniele Zeebaars *Dicentrarchus labrax* (Debusschere et al. 2014), maar wel tot acute stress die de fitheid van de soort kan aantasten (Debusschere et al. 2016). Voor Kabeljauw *Gadus morhua* toonde experimenteel onderzoek aan dat heigeluid op korte afstand kan leiden tot beschadigingen aan de zwemblaas (De Backer et al. 2017). Een recente studie (Graham et al. 2019) bevestigt dat Bruinvissen *Phocoena phocoena* een vluchtreactie vertonen tijdens hei-activiteiten, maar die reactie neemt af naarmate de dieren zich verder van de geluidsbron vinden en het heien herhaald wordt. De laatste jaren worden met succes technische maatregelen genomen om de geluidsdruk tijdens het heien te beperken en zo de eventuele cumulatieve schade aan het milieu te beperken.

Boven het wateroppervlak hebben windmolens een wisselend effect op verschillende vogelsoorten. Voor Jan-Van-Gent *Morus bassanus*, Dwergmeeuw *Hydrocoloeus minutus*, Drieteenmeeuw *Rissa tridactyla* en Zeekoet *Uria aalge* werd ten opzichte van minstens sommige parken een duidelijk vermijdingsgedrag waargenomen, terwijl Grote mantelmeeuw *Larus marinus*, Zilvermeeuw *Larus argentatus* en Grote stern *Thalasseus sandvicensis* juist aangetrokken worden tot volledige windmolenparken of delen daarvan (Vanermen et al. 2017).

Onder water zijn de permanente gevolgen gerelateerd aan het verlies aan oorspronkelijk habitat en geassocieerde ecosystemfuncties, en een enorme toename aan artificieel hard substraat in een omgeving die van nature grotendeels uit zachte zeebodems bestaat (Dannheim et al. 2020). Dat artificieel hard substraat bestaat uit de turbine zelf en eventueel een erosiebeschermingslaag. Die laatste bestaat uit stenen die rond de turbines worden gelegd om verlies van sediment door stroming tegen te gaan. In tegenstelling tot scheepswrakken vormen turbines een fysische verbinding tussen de zeebodem en het zeeoppervlak en er vormen zich dus getijdenzones midden op zee. Deze structuren worden snel gekoloniseerd door een hoge diversiteit aan bewoners van harde substraten (De Mesel et al. 2015, **Figuur 6**). Dat gebeurt vaak in hoge aantallen (bv. minstens tienduizenden individuen per m² van de vlokreeft *Jassa herdmani*, De Mesel et al. 2015) en biomassa (gemiddeld 4.300 kg biomassa op een structuur met een oppervlakte van 1.280 m², Krone et al. 2013). Voornamelijk in het intertidaal worden ook niet-inheemse soorten aangetroffen (De Mesel et al. 2015). Dit gaat gepaard met aantrekking van sommige vissoorten (Kabeljauw en Steenbolk *Trisopterus*



Figuur 6. Diversiteit van de aangroeifauna op een windmolenturbine in het Belgisch deel van de Noordzee. (© Alain Norro/KBIN)

luscus) tijdens bepaalde fases van hun leven. Die vissen voeden zich daar met de abundant aanwezige voedselbronnen, wat resulteert in lokale verhoogde productie (Reubens et al. 2014). Ook voor Noordzeekrab *Cancer pagurus* werd een verhoogde productie vastgesteld rond turbines. Dit wordt niet alleen verklaard door het grote voedselaanbod, maar ook door het feit dat de erosiebeschermingslaag dienst kan doen als schuilplaats tegen predatoren en als kraamkamer voor jonge dieren (Krone et al. 2017). Tevens werden verhoogde densiteiten van Europese kreeft *Homarus gammarus* aangetroffen in windmolenparken in het Verenigd Koninkrijk, toegeschreven aan verminderde visserijdruk (Roach et al. 2018). In Belgische windmolenparken is het aantal occasionele waarnemingen van Europese kreeft eveneens sterk toegenomen (Vandendriessche et al. 2013). Ook platvis, voornamelijk Schol *Pleuronectes platessa*, zou deze windmolengebieden gebruiken als voedsel- en schuilplaats (De Backer et al. 2018). Een ander gevolg van de hoge dichtheden aan organismen is terug te vinden in het omringende sediment. De organismen op de turbines filteren niet alleen grote volumes zeewater, ze scheiden ook grote hoeveelheden organisch materiaal af als (pseudo)faeces. In de zeebodem dicht bij de turbines worden verhoogde concentraties organisch materiaal gemeten, die samen met een verfijning van het sediment kunnen leiden tot een verandering van de bodemgemeenschappen (Coates et al. 2012).

Wetgevend kader natuurbescherming op zee

Mariene habitats en soorten hebben een wijde verspreiding, over de grenzen heen. België heeft echter slechts jurisdictie over een heel klein stukje Noordzee. Dat is dan ook de reden waarom beschermingsmaatregelen vaak voortvloeien uit internationale overeenkomsten en wetgeving. Dergelijke overeenkomsten hadden in eerste instantie tot doel om conflicten te vermijden. Zo werden via Zeerechtverdragen vanaf de jaren 1960 afspraken gemaakt over de rechten van staten met betrekking tot het gebruik van grondstoffen en visstocks: tot hoe ver uit de kust heeft een land soevereiniteit? Verregaande vervuiling en een sterke afname van visstocks leidden daarna tot een snelle opeenvolging van initiatieven die meer gericht waren op het beschermen van het mariene milieu op zich: zo kon het niet verder.

Het valt in de huidige tijdsgeest nog moeilijk te begrijpen, maar tot 1992 werd chemisch afval nog op zee verbrand. Radioactief afval werd in zee gestort en afgedankte boorplatformen liet men afzinken. Elk jaar spoelden duizenden met olie besmeurde zeevogels aan. Acties van onder meer Greenpeace bleven niet zonder gevolg. Een eerste Noordzeeconferentie werd georganiseerd in 1984. Alle landen met rivieren die uitmonden in de Noordzee en de Europese Commissie onderschreven doelstellingen om het tij te keren. Die leidden later tot concrete en wettelijk bindende regelgeving voor een gezonder en duurzamer marien milieu, onder meer in het kader van de Europese Unie en binnen het OSPAR Verdrag inzake de bescherming van het mariene milieu in het noordoostelijk deel van de Atlantische Oceaan dat in 1992 werd gesloten. In België behoort het beheer van het deel van het BDNZ onder de laagwaterlijn tot de federale bevoegdheden.

Specifiek om soorten en habitats die het moeilijk hadden een betere wettelijke bescherming te bieden, werden de Europese Vogelrichtlijn (1979) en de Habitatrichtlijn (1992) aangenomen. Deze Europese wetgeving leidde in het BDNZ tot het instellen van drie vogelrichtlijngebieden en twee habitatrichtlijngebieden en tot het Koninklijk Besluit betreffende de soortenbescherming in de zeegebieden onder de rechtsbevoegdheid van België dat vanaf 2001 bepaalde soorten wettelijk bescherming biedt, ongeacht waar ze zich bevinden in Belgische wateren (André et al. 2010). Als gevolg van deze wetgeving werden onder andere het habitat van de ondiepe zandbanken, de grindbedden en de aggregaties van de Schelpkokerworm *Janice conchilega* beschermd, net zoals een aantal zeevogels die in bepaalde delen van het BDNZ overwinteren of er in de broedperiode foerageren.

Het KB soortenbescherming vindt zijn oorsprong in de Wet van 20 januari 1999 tot bescherming van het mariene milieu in de zeegebieden onder de rechtsbevoegdheid van België, beter bekend als de Wet Marien Milieu. Die wet biedt een juridisch kader rond mariene verontreiniging en behoud, herstel en ontwikkeling van natuur. In deze wet zijn belangrijke principes opgenomen, zoals de vervuiler betaalt en bij schade moet het mariene milieu, in de mate van het mogelijke, worden hersteld.

Als gevolg van de Habitat- en Vogelrichtlijnen werd binnen Europa langzaam een Natura 2000 netwerk van belangrijke gebieden voor soorten en habitats opgebouwd. Dit bleek echter niet voldoende. Zeker op zee was een meer holistische aanpak noodzakelijk: het was duidelijk dat een betere integratie van milieu in andere domeinen, zoals visserij, zandwinning en scheepvaart, noodzakelijk was om natuur- en milieudoelstellingen te bereiken. Die aanpak kwam er in 2008 met de Europese Kaderrichtlijn Mariene Strategie (KRMS) (webref 2). Die heeft tot doel het duurzaam gebruik van de Europese zeeën en oceanen te bevorderen. Elke Lidstaat van de Europese Unie moet een strategie aannemen voor de bescherming, het behoud en het herstel van het mariene milieu in al zijn facetten. Doelstellingen moeten aangenomen worden voor onder meer soorten, habitats, visstocks, niet-inheemse soorten, chemische verontreiniging, afval en onderwatergeluid. Die doelstellingen worden om de zes jaar geëvalueerd, gebaseerd op een uitgebreid monitoringprogramma. Daarnaast worden er maatregelen aangenomen om ze te bereiken.

Verder bleek het ook noodzakelijk om duidelijke afspraken te maken over de ruimtelijke verdeling van activiteiten op zee. In ons kleine stukje Noordzee vinden steeds meer activiteiten plaats: visserij, scheepvaart, zandwinning en baggerstorten, opwekken van energie, militair gebruik, maricultuur toerisme en recreatie. Die moeten hun plaats vinden, waarbij ook nog ruimte moet bestaan voor natuur. Om met de beperkte ruimte zo efficiënt mogelijk om te springen, werd in 2014 een marien ruimtelijk plan (MRP) opgemaakt, nog ver voor dit een verplichting werd onder de Europese Kaderrichtlijn voor Maritieme Ruimtelijke Planning. Die Kaderrichtlijn werd in 2014 aangenomen, waardoor het voor de lidstaten een verplichting wordt om tegen 2021 een ruimtelijk plan voor de mariene omgeving op te stellen. Het Belgische MRP wordt elke zes jaar herzien: het meest recente MRP werd van kracht in 2020 (Verhalle & Van de Velde 2020).

België neemt, in uitvoering van internationale wetgeving, nog een aantal concrete maatregelen, bijvoorbeeld ter bescherming van zeezoogdieren. Bij ons komen slechts vijf zeezoogdieren inheems voor, naast een veel groter aantal dwaalgasten of zeldzame bezoekers: drie walvisachtigen (Bruinvis, Witsnuitdolfijn *Lagenorhynchus albirostris* en Tuimelaar *Tursiops truncatus*) en twee zeehonden (Gewone en Grijze zeehond *Phoca vitulina* en *Halichoerus grypus*). Zeehonden doen het de laatste jaren goed: hun populaties in de zuidelijke Noordzee zijn sterk in omvang toegenomen. Sinds kort bestaat een permanente rustplaats van Gewone zeehonden in de haven van Nieuwpoort, met vaak bijna twintig dieren samen. Ook op andere plaatsen langs de kust vindt men nu rustende zeehonden, ook Grijze zeehond. Lokale initiatieven zoals het vermijden van verstoring van de rustplaatsen kunnen deze toppredatoren helpen. De Bruinvis is tegenwoordig dan weer de enige walvisachtige die steeds aanwezig is in onze wateren en komt zeker in het voorjaar in relatief hoge dichtheden voor (gemiddeld meer dan één Bruinvis per km² zeegebied). De grootste directe bedreiging voor Bruinvissen is incidentele vangst in visnetten (kieuw- en warrelnetten). Bijvangst van Bruinvissen bij professionele visserij wordt aangepakt binnen de Europese gezamenlijke visserijpolitiek. Recreatief gebruik van kieuw- en warrelnetten beneden de laagwaterlijn werd in 2001 verboden via koninklijk besluit, terwijl die visserij op het strand aan banden gelegd werd via een besluit van de Vlaamse Regering in 2015 (Verleye et al. 2019). Daarnaast zijn een aantal maatregelen genomen voor het beperken van de impact van de erg hoge geluidsniveaus bij de constructie van windmolenparken op zee. Zo is er een verbod ingesteld op heien van palen tijdens de maanden met de meeste Bruinvissen en moet een akoestische waarschuwing voorzien worden, naast een bellengordijn dat de geluidsniveaus beperkt. Deze maatregelen worden opgelegd door de minister van de Noordzee, na advies van KBIN (BMM), als toepassing van de hogergenoemde KRMS.

Een blik op de toekomst

Het is moeilijk in te schatten wat de toekomst zal brengen voor het mariene milieu. Voor een aantal zaken is het mogelijk om via wetgeving en handhaving het mariene ecosysteem te vrijwaren van een aantal belastende factoren (zie hierboven). Het blijft echter een feit dat deze maatregelen een lokaal effect kunnen hebben, maar het mariene systeem staat ook onder grote druk van de klimaatveranderingen. In het BDNZ nam de temperatuur van het zeewater met circa 1,6 °C toe in de periode 1988-2014 (Desmit et al. 2020). Zeeën en oceanen bufferen die klimaatopwarming omdat ze wereldwijd per uur 1 miljoen ton CO₂ uit de atmosfeer opnemen (Brewer 2009). Dat leidt dan weer tot oceaanzuivering omdat die opname een daling van de pH van het zeewater veroorzaakt. Voor de open oceaan wordt een daling van 0,3 tot 0,4 pH eenheden voorspeld tegen het eind van de eeuw (Orr et al. 2005). In bepaalde kustgebieden, zoals in het Nederlands deel van de Noordzee, is die daling echter een grootteorde sneller (Provoost et al. 2010). De gecombineerde effecten van de onlosmakelijk met elkaar verbonden temperatuurstijging en pH-daling (verzuuring) van het zeewater op mariene organismen zijn complex en vaak versterken ze elkaar (Harvey et al. 2013). Onderzoek in het BDNZ en de Westerschelde toonde aan dat zowel biogeochemische processen in het sediment (Braeckman et al. 2014) als interactienetwerken tussen

organismen en hun omgeving (Van Colen et al. 2020) worden beïnvloed. Dergelijke wereldwijde fenomenen kunnen alleen worden gecontroleerd via internationale afspraken rond CO₂-uitstoot.

Wat wel mogelijk is op regionaal niveau, is het afbakenen van beschermde gebieden of gebieden met striktere beperkingen wat betreft economische activiteiten. Qua visserijbeleid bijvoorbeeld zijn er twee mogelijke strategieën om gebieden die er slecht aan toe zijn ademruimte te geven (McConnaughey et al. 2020): de sluiting van gebieden en een vermindering van de visserij-inspanning, vooral voor bodemberoerende visserij. Dat laatste zorgt ervoor dat de frequentie van verstoring vermindert, maar die zal al zeer sterk moeten verminderen om een effect te hebben op traag herstellende soorten. Sluitingen moeten dus vooral gericht zijn op gebieden met een kwetsbare zeebodem, waar zich nog steeds langzaam herstellende soorten bevinden of opnieuw kunnen worden verwacht. Ook in gebieden waar de bestaande visserij-inspanning gering is, kan een sluiting overwogen worden. De mogelijkheden tot (snel) herstel zijn daar groter dan in intensief beviste gebieden en dit is ook gemakkelijker te organiseren want vissers moeten hun inspanningen dan minder verplaatsen. Momenteel zijn er binnen het Maritieme Ruimtelijk plan 2020-2026 drie zoekzones afgebakend waarin de mogelijkheden voor herstel en het uitsluiten van visserij-activiteiten worden onderzocht (Verhalle & Van de Velde 2020).

Er worden tegelijkertijd plannen uitgewerkt voor lokaal herstel van grindbedden (binnen zoekzones). Zoals aangegeven waren grotere delen van het BDNZ ter hoogte van de Hinderbanken vroeger bedekt met grindbedden (Houziaux et al. 2008) gekenmerkt door een hoge biodiversiteit (Van Beneden 1883). Een recente studie resulteerde in aanbevelingen omtrent een mogelijke testlocatie, materiaalkeuze en opvolging voor een mogelijk restauratieproject voor grindbedden (IMDC 2017). Een andere studie toonde dan weer aan dat het mogelijk is om aan oesterbedherstel te doen op plaatsen die samenvallen met de natuurlijke grindbedden (De Mesel et al. 2018). Oesterbedden filteren water en zijn kraam- en foerageergebied voor zowel commercieel belangrijke als niet-commerciële soorten en vormen een natuurlijk hard substraat voor heel wat ongewervelden (Christianen et al. 2018). Zowel grindbedden als oesterriffen kunnen actief hersteld worden in het BDNZ (IMDC 2017, De Mesel et al. 2018). Maar voor een succesvol herstel van de oesterpopulatie is het ontbreken van enige bodemberoerende activiteit een absolute voorwaarde (De Mesel et al. 2018).

Ten slotte wordt recent ook de piste onderzocht van het natuurinclusief bouwen van windmoleninstallaties op zee. Dit verwijst naar opties die worden geïntegreerd in of toegevoegd aan het design van een windmolenpark, die geschikt habitat bieden voor soorten of gemeenschappen die onder druk staan (Hermans et al. 2020). Hierbij kan gedacht worden aan erosiebeschermingslagen die geschikt gemaakt worden voor grindbedfauna, Europese oester, Europese kreeft en Noordzeekrab, en vishotels voor soorten zoals Kabeljauw (Hermans et al. 2020). Verplichtingen tot natuurinclusief bouwen kunnen worden opgelegd via de vergunningsprocedure die moet doorlopen worden vooraleer een concessie kan verworven worden.

ABSTRACT

Vanaverbeke J., Degraer S., Haelters J., Kerckhof F., Seys J., Van Hoey G., Vandendriessche S. & Vandepitte L. 2020. A glance at sea. Biodiversity and protection of the marine life of the Belgian part of the North Sea. *Natuur.focus* 19(2): 86-95 [In Dutch].

The Belgian part of the North Sea is a small but unique part of the Southern North Sea, as it is characterised by a high habitat diversity. Historically the combination of mobile sands, sandbanks and gravel beds harboured rich and diverse communities, encompassing oyster beds, a rich gravel bed fauna and fish communities that were abundantly present. The present situation is different, as the gravel and oyster habitats have (almost) disappeared due to bottom trawling activities. In addition to bottom trawling, the marine ecosystem of the Belgian part of the North Sea has been exposed to a multitude of pressures related to many human activities, which can be both located at sea (i.e. off shore wind farming) or find their origin on land (i.e. eutrophication). While legislation exists and measures are taken to protect the biodiversity and the functioning of the marine ecosystem, they regulate local activities but do not act on the exposure of the marine ecosystem to global changes (sea surface temperature warming, ocean acidification). Future initiatives to strengthen the impoverished communities in the Belgian part of the North Sea can include decreasing fishing pressure and the delineation of no-take zones. In addition future offshore windfarms can be installed according to a nature-inclusive design, to create habitat for native species whose natural habitat has been reduced or degraded.

DANKWOORD

De auteurs willen graag Pieter Vanormelingen en Krien Hansen bedanken voor het kritisch nalezen van dit artikel en voor de waardevolle suggesties, die de kwaliteit van dit artikel zeer ten goede zijn gekomen.

AUTEURS

Dr. Jan Vanaverbeke, Dr. Steven Degraer, Francis Kerckhof en Jan Haelters zijn onderzoekers verbonden aan het Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen (KBIN), Operationele Directie Natuurlijk Milieu. Dr. Jan Seys en Leen Vandepitte werken bij het Vlaams Instituut voor de Zee (VLIZ). Dr. Gert Van Hoey en Dr. Sofie Vandendriessche zijn verbonden aan het Instituut voor Landbouw-Visserij- en Voedingsonderzoek (ILVO).

CONTACT:

Jan Vanaverbeke, Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen, Operationele Directie Natuurlijk Milieu, MARECO, Vautierstraat 29, 1000 Brussel.

E-mail: jvanaverbeke@naturalsciences.be

REFERENTIES

- Andersen J.H. et al. 2006. Coastal eutrophication: recent developments in definitions and implications for monitoring strategies. *Journal of Plankton Research* 28: 621-628.
- André F. et al. 2010. Federaal milieuraapport 2004-2008: Finaal rapport. Federale Overheidsdienst Volksgezondheid, Veiligheid van de Voedselketen en Leefmilieu.
- Belgische Staat. 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.
- Billen G. et al. 2005. Nutrient fluxes and water quality in the drainage network of the Scheldt basin over the last 50 years. *Hydrobiologia* 540: 47-67.
- Bortier. 1861. Faut-il laisser détruire la pêche maritime? Imprimerie de C. Maignien, épouse Bogaert, Bruges.

- Brabant R. & Degraer S. 2010. A brief introduction to offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea. in: Degraer S., Brabant R. (Eds.). Offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea: State of the art after two years of environmental monitoring. Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Management Unit of the North Sea Mathematical Models, Marine ecosystem management unit, Brussels.
- Braeckman U. et al. 2014. Empirical evidence reveals seasonally dependent reduction in nitrification in coastal sediments subjected to near future ocean acidification. *PLoS ONE* 9:e108153.
- Breine N.T. et al. 2018. Structural and functional diversity of soft-bottom macrobenthic communities in the Southern North Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 214: 173-184.
- Brewer P.G. 2009. A changing ocean seen with clarity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 106: 12213-12214.
- Christianen M.J.A. et al. 2018. Return of the native facilitated by the invasive? Population composition, substrate preferences and epibenthic species richness of a recently discovered shellfish reef with native European Flat Oysters *Ostrea edulis* in the North Sea. *Marine Biology Research* 14: 590-597.
- Coates D.A. et al. 2014. Enrichment and shifts in macrobenthic assemblages in an offshore wind farm area in the Belgian part of the North Sea. *Marine Environmental Research* 95: 1-12.
- Coates D.A. et al. 2015. Rapid macrobenthic recovery after dredging activities in an offshore wind farm in the Belgian part of the North Sea. *Hydrobiologia* 756: 3-18.
- Costanza R.R. et al. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387(6630): 253-260.
- Dannheim J. et al. 2020. Benthic effects of offshore renewables: identification of knowledge gaps and urgently needed research. *ICES Journal of Marine Science* 77: 1092-1108.
- Debusschere E. et al. 2014. In situ mortality experiments with juvenile Sea Bass *Dicentrarchus labrax* in relation to impulsive sound levels caused by pile driving of windmill foundations. *PLoS ONE* 9.
- Debusschere E. et al. 2016. Acoustic stress responses in juvenile Sea Bass *Dicentrarchus labrax* induced by offshore pile driving. *Environmental Pollution* 208: 747-757.
- Degraer S. et al. 2003. Macrobenthic zonation patterns along a morphodynamical continuum of macrotidal, low tide bar/rip and ultra-dissipative sandy beaches. *Estuarine and Coastal Shelf Science* 56(3-4): 459-68.
- De Mesel I. et al. 2015. Succession and seasonal dynamics of the epifauna community on offshore wind farm foundations and their role as stepping stones for non-indigenous species. *Hydrobiologia* 756: 37-50.
- De Mesel I. et al. 2018. *Ostrea edulis* restoration in the Belgian part of the North Sea: Feasibility study. Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Operational Directorate Natural Environment, Marine Ecology and Management.
- Desmit X. et al. 2020. Changes in chlorophyll concentration and phenology in the North Sea in relation to de-eutrophication and sea surface warming. *Limnology and Oceanography* 65: 828-847.
- Diaz R.J. & Rosenberg R. 2008. Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science* 321: 926-929.
- Gilson G. 1921. Les poissons d'Ostende. Société Anonyme belge d'Imprimerie. Bruxelles.
- Graham I.M. et al. 2019. Harbour Porpoise responses to pile-driving diminish over time. *Royal Society Open Science* 6: 190335.
- Harvey B.P. et al. 2013. Meta-analysis reveals complex marine biological responses to the interactive effects of ocean acidification and warming. *Ecology and Evolution* 3: 1016-1030.
- Heery E.C. et al. 2017. Identifying the consequences of ocean sprawl for sedimentary habitats. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 492: 31-48.
- Hermans A. et al. 2020. Nature-inclusive design: a catalogue for offshore wind infrastructure. Technical report. Witteveen & Bos.
- Hiddink J. et al. 2020. Selection of indicators for assessing and managing the impacts of bottom trawling on seabed habitats. *Journal of applied ecology*. doi: 10.1111/1365-2664.13617.
- Houziaux J.-S. et al. 2008. The Hinder banks : yet an important region for the Belgian marine biodiversity? ('HINDERS'). Belgian Science Policy Office, Final report.
- IMDC. 2017. Design study for the restoration of a gravel bed in the Hinder Banks area. Report FOD Volksgezondheid, Veiligheid van de Voedselketen en Leefmilieu. DG Leefmilieu, Dienst Marien Milieu.
- Kaiser M.J. et al. 2006. Global analysis of response and recovery of benthic biota to fishing. *Marine Ecology Progress Series* 311: 1-14.
- Kerckhof F. et al. 2018. Recent findings of wild European Flat Oysters *Ostrea edulis* in Belgian and Dutch offshore waters. New perspectives for offshore oyster reef restoration in the southern North Sea. *Belgian Journal of Zoology* 148(1): 13-24.

- Kerckhof F. & Houziaux J.-S. 2003. Biodiversity of the Belgian marine areas, in: Peeters M. et al. Biodiversity in Belgium.
- Krone R. et al. 2017. Mobile demersal megafauna at common offshore wind turbine foundations in the German Bight (North Sea) two years after deployment. Increased production rate of *Cancer pagurus*. Marine Environmental Research 123: 53–61.
- Krone R. et al. 2013. Epifauna dynamics at an offshore foundation. Implications of future wind power farming in the North Sea. Marine Environmental Research 85: 1–12.
- Mann D. 1777. Mémoire sur l'histoire-naturelle de la Mer du Nord & sur la pêche qui s'y fait. Mémoires de l'Académie Impériale et Royale de Bruxelles (1772–1795) II: 159–222.
- Mathys M. 2010. Het onderwaterreliëf van het Belgisch deel van de Noordzee. De Grote Rede 26: 16–26.
- McConnaughey R.A. et al. 2020. Choosing best practices for managing impacts of trawl fishing on seabed habitats and biota. Fish and Fisheries 21(2): 319–337. <https://doi.org/10.1111/faf.12431>
- Nohe A. et al. 2020. Marked changes in diatom and dinoflagellate biomass, composition and seasonality in the Belgian part of the North Sea between the 1970s and 2000s. Science of the Total Environment 716: 136316.
- Orr J.C. et al. 2005. Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. Nature 437: 681–686.
- Pauly D. 1995. Anecdotes and the shifting baseline syndrome of fisheries. Trends in Ecology and Evolution 10(10): 430.
- Pecceu E. et al. 2014. Beschrijving van de visserijactiviteiten in het Belgisch deel van de Noordzee in functie van de aanvraag bij de Europese Commissie voor visserij maatregelen in de Vlaamse Banken (Habitatrichtlijngebied). ILVO mededeling 156.
- Provoost P. et al. 2010. Seasonal and long-term changes in pH in the Dutch coastal zone. Biogeosciences 7: 3869–3878.
- Reubens J.T. et al. 2014. The ecology of benthopelagic fishes at offshore wind farms: a synthesis of 4 years of research. Hydrobiologia 727:121–136.
- Rijnsdorp A.D. et al. 2020. Different bottom trawl fisheries have a differential impact on the status of the North Sea seafloor habitats. ICES Journal of Marine Science. doi:10.1093/icesjms/fsaa050.
- Roach M. et al. 2018. The effects of temporary exclusion of activity due to wind farm construction on a lobster *Homarus gammarus* fishery suggests a potential management approach. ICES Journal of Marine Science 75: 1416–1426.
- Rumes B. & Brabant R. 2019. Offshore renewable energy development in the Belgian part of the North Sea, in: Degraer S., Brabant R., Rumes B., Vigin L. (Eds). Environmental impacts of offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea. Royal Belgian Institute of Natural Sciences, OD Natural Environment, Marine Ecology and Management.
- Schoukens H. 2020. Ecologisch herstel als fata morgana in het Europese milieubeleid. De moeilijke weg van beleidsdoel naar harde juridische verplichting. Natuur.focus 19(2).
- Schlüter M.H. et al. 2012. Long-term changes in the seasonality of selected diatoms related to grazers and environmental conditions. Journal of Sea Research 67: 91–97.
- Trouw K. et al. 2015. De zee, een wirwar van stromingen. De Grote Rede 42: 12–17.
- Tsiamis K. et al. 2019. Non-indigenous species refined national baseline inventories: a synthesis in the context of the European Union's Marine Strategy Framework Directive. Marine Pollution Bulletin 145: 429–435.
- Van Beneden E. 1883. Compte rendu sommaire des recherches entreprises à la Station biologique d'Ostende pendant les mois d'été 1883. Bulletin de l'Académie Royale des Sciences, Littérature et Beaux-Arts de Belgique. 3me Série T6 no. 11 II.
- Van Cauwenberghe C. 1971. Hydrografische analyse van de Vlaamse banken langs de Belgische-Franse kust. Het Ingenieursblad 40 (19): 563–576.
- Van Colen C. et al. 2020. Clam feeding plasticity reduces herbivore vulnerability to ocean warming and acidification. Nature Climate Change 10: 162–166.
- Vandepitte L. et al. 2012. Niet-inheemse soorten van het Belgisch deel van de Noordzee en aanpalende estuaria. VLIZ Special Publication, 59.
- Van de Walle B. & Seys J. 2002. Het mysterie van het getij. De Grote Rede 6: 2–6.
- Vanermen N. et al. 2017. Seabird monitoring at the Thornton bank offshore wind farm. In: Environmental impacts of offshore wind farms in the Belgian part of the North Sea. Degraer S., Brabant R., Rumes B., Vigin L. (Ed.) Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Operational Directorate Natural Environment, Marine Ecology and Management.
- Verhalle J. 2020. Er beweegt wat op zee. Het Marien Ruimtelijk Plan 2020–2026. De Grote Rede 51: 4–11.
- Verhalle J. & Van de Velde M. 2020. Er beweegt wat op zee. FOD Volksgezondheid, Veiligheid van de Voedselketen en Leefmilieu.
- Verleye T.J. et al. 2019. Beleidsinformerende Nota: Recreatieve zeevisserij in België anno 2018. Feiten en cijfers. VLIZ Beleidsinformerende nota's BIN 2019_002.
- VLIZ Belgian Marine Species Consortium. 2010 onwards. Belgian Register of Marine Species. www.marinespecies.org/berms en www.vliz.be/vmdcdata/berms/
- Wet ter bescherming van het mariene milieu in de zeegebieden onder de rechtsbevoegdheid van België van 20 januari 1999. Belgisch Staatsblad van 12 maart 1999, gewijzigd bij Koninklijk Besluit van 17 september 2005. Belgisch Staatsblad van 13 oktober 2005.
- WoRMS Editorial Board. 2020. World Register of Marine Species. www.marine-species.org doi:10.14284/170.

WEBREFERENTIES

- Webreferentie 1: www.vliz.be/wiki/Lijst_niet-inheemse_soorten_Belgisch_deel_Noordzee_en_aanpalende_estuaria
- Webreferentie 2: <https://odnature.naturalsciences.be/msfd/nl/>