

# HET MACROBENTHOS VAN HET BELGISCH DEEL VAN DE VLAKTE VAN DE RAAN IN EEN RUIMER PERSPECTIEF

Steven Degraer<sup>1</sup>, Els Verfaillie<sup>2</sup> en Magda Vincx<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sectie Mariene Biologie, Vakgroep Biologie, Universiteit Gent, Krijgslaan 281/S8, B-9000 Gent, België. Email: [steven.degraer@ugent.be](mailto:steven.degraer@ugent.be)

<sup>2</sup> Renard Center voor Mariene Geologie (RCMG), Vakgroep Geologie en Bodemkunde, Universiteit Gent, Krijgslaan 281/S8, B-9000 Gent, België

## Samenvatting

Het macrobenthos van het Belgisch deel van de Noordzee werd reeds grondig bestudeerd en in kaart gebracht. Er worden vier macrobenthische gemeenschappen frequent aangetroffen in de zachte sedimenten. Hiervan vormt de *Abra alba* gemeenschap de uitgesproken rijkste gemeenschap.

In de ruime omgeving van de 'Vlakte van de Raan' worden drie gemeenschappen aangetroffen: (1) de rijke *Abra alba* gemeenschap in het noordelijke deel (i.e. kustnabije zone), (2) de *Macoma balthica* gemeenschap in het zuidelijke deel (i.e. kustzone) en (3) de *Nephtys cirrosa* gemeenschap ter hoogte van de baggerstortplaats 'Sierra Ventana'. De meest algemene soorten omvatten de borstelwormen *Spiophanes bombyx*, Cirratulidae en *Scoloplos armiger*, alsook de tweekleppige *Abra alba*. De habitatingenieurs *Lanice conchilega* (zandkokerworm) en *Owenia fusiformis* zijn het best vertegenwoordigd in het noordelijke deel.

Voor de top van de 'Vlakte van de Raan' zijn momenteel geen gegevens beschikbaar. Op basis van het HABITAT model wordt het volgende voorspeld: een dominant voorkomen van de rijke *Abra alba* gemeenschap in 2/3 van het gebied, gevolgd door de *Nephtys cirrosa* gemeenschap in de andere 1/3 van het gebied. Ook de *Macoma balthica* gemeenschap heeft een reële kans op voorkomen op de top van de 'Vlakte van de Raan'. In vergelijking met het Belgisch deel van de Noordzee, wordt de 'Vlakte van de Raan' dan ook beschouwd als een gebied divers en rijk aan macrobenthos.

Een Biologische Waarderingskaart, gericht op de weergave van de geïntegreerde natuurbehoudswaarde van het Belgisch deel van de Noordzee, wordt verwacht vanaf november 2006.

## 1. Het macrobenthos van het Belgisch deel van de Noordzee

### 1.1. Macrobenthos

De bodemdieren of het benthos van de zee hebben een vrijwel 'onzichtbaar' bestaan. Veelal is men verrast van de hoeveelheid dieren die terug te vinden is tussen de zandkorrels van het strand of van de zeebodem. Maar in het mariene voedselweb is het benthos zeer belangrijk, onder meer als voedsel voor de vissen (o.a. tong *Solea solea*, pladijs *Pleuronectes platessa*, tarbot *Scophthalmus maximus*, ...), maar ook voor vogels (o.a. zwarte zee-eend *Melanitta nigra*). De aanwezigheid van benthos wordt sterk bepaald door de kwaliteit van het zeewater en van de zeebodem. Vandaar dat het mariene benthos veelal gebruikt wordt als bio-indicator voor de 'kwaliteit van de zee'.

Naast de vier andere benthische ecosysteemcomponenten (i.e. microbenthos, meiobenthos, epibenthos en hyperbenthos), omvat het macrobenthos alle organismen levend in en op de bodem van de zee en weerhouden door een zeef met maaswijdte 1 mm.

Doorgaans wordt het macrobenthos van zachte sedimenten – het overgrote deel van het Belgisch deel van de Noordzee (BDNS) – verzameld met behulp van een Van Veen grijper.

Deze grijper hapt een stuk uit de bodem over een oppervlakte van 0.1m<sup>2</sup> en tot een diepte van ongeveer 10cm. Door het verzamelde sediment te zeven over een zeef met maaswijdte 1mm, worden de macrobenthische organismen uit het sediment geëxtraheerd.

Totnogtoe werden 338 macrobenthische soorten in het BDNS gevonden. De talrijkste vertegenwoordigers van het macrobenthos van het BDNS zijn de Polychaeta of borstelwormen, de Bivalvia of tweekleppigen en de Amphipoda of vlokreeftjes. Daarnaast worden regelmatig macrobenthische Decapoda of krabben en garnalen, Echinodermata of stekelhuidigen en Gastropoda of slakken aangetroffen.

## **1.2. Organisatie**

De macrobenthische rijkdom is niet overal gelijk in het BDNS: zones met een hoge rijkdom worden afgewisseld met zones met een lagere rijkdom. Een hoge soortenrijkdom (tot maximum 81 soorten per station) en densiteit (tot maximum 144 493 macrobenthische organismen per m<sup>2</sup>) worden waargenomen ter hoogte van de westelijke kustzone, het oostelijke deel van de Vlaamse Banken en het zuidelijke deel van de Zeelandbanken (ten noorden van de top van de 'Vlakte van de Raan').

De macrobenthische soorten zijn niet willekeurig verspreid over het BDNS. Een soort kan enkel overleven in een geschikt habitat. Het habitat wordt hier gedefinieerd als de omgeving waarbinnen de soort voorkomt. Sommige soorten worden in een breed omgevingspectrum gevonden (eurytope soorten), terwijl andere beperkt zijn tot een heel nauwe omgeving (stenotope soorten). Het habitat wordt gekarakteriseerd door onder meer de sedimentsamenstelling (o.a. slibgehalte en mediane korrelgrootte), de stromingspatronen, de zuurstof- en voedselbeschikbaarheid en de aanwezigheid van andere soorten.

Soorten, die eenzelfde habitat prefereren, worden veelal samen aangetroffen. De combinatie van deze soorten wordt een gemeenschap genoemd. In de zachte sedimenten van het BDNS worden momenteel vijf gemeenschappen onderscheiden. Elk van deze gemeenschappen is genoemd naar de meest typische soort of soorten binnen de gemeenschap (Degraer *et al.*, 2003; Van Hoey *et al.*, 2004). De gemeenschappen kunnen geordend worden langs een gradiënt van grof naar fijn sediment en van lage naar hoge slibgehalten. In grofzandige sedimenten, voornamelijk ver van de kust, wordt de *Ophelia limacina* gemeenschap gevonden. Deze gemeenschap wordt gekenmerkt door een zeer lage soortenrijkdom (gemiddeld: 5 soorten per 0.1m<sup>2</sup>) en dichtheid (gemiddeld: 190 ind.m<sup>-2</sup>) (Fig. 1). De *Nephtys cirrosa* gemeenschap – de wijdst verbreide gemeenschap in het BDNS – komt voor in iets fijnzanderige sedimenten en heeft een lage soortenrijkdom (gemiddeld: 7 soorten per 0.1m<sup>2</sup>) en dichtheid (gemiddeld: 402 ind.m<sup>-2</sup>). Wanneer het sediment nog fijner wordt en aangerijkt wordt met een weinig slib vinden we de *Abra alba* gemeenschap. Deze gemeenschap wordt gekenmerkt door een hoge soortenrijkdom (gemiddeld: 30 soorten per 0.1m<sup>2</sup>) en een hoge dichtheid (gemiddeld: 6 432 ind.m<sup>-2</sup>) en wordt beschouwd als de rijkste macrobenthische gemeenschap van de zachte substraten van het BDNS. We vinden haar voornamelijk terug in de kustnabije zone. Bij een verdere verfijning van het sediment en een verdere aanrijking van het slib, daalt de soortenrijkdom (gemiddeld: 7 soorten per 0.1m<sup>2</sup>) en dichtheid (gemiddeld: 967 ind.m<sup>-2</sup>) opnieuw en bevinden we ons in het habitat van de *Macoma balthica* gemeenschap. Deze is voornamelijk waar te nemen in de oostelijke kustzone. Uiteraard bestaan geen scherpe grenzen tussen deze gemeenschappen, maar gaan ze eerder geleidelijk in elkaar over: dergelijke overgangen worden overgangsassociaties genoemd.

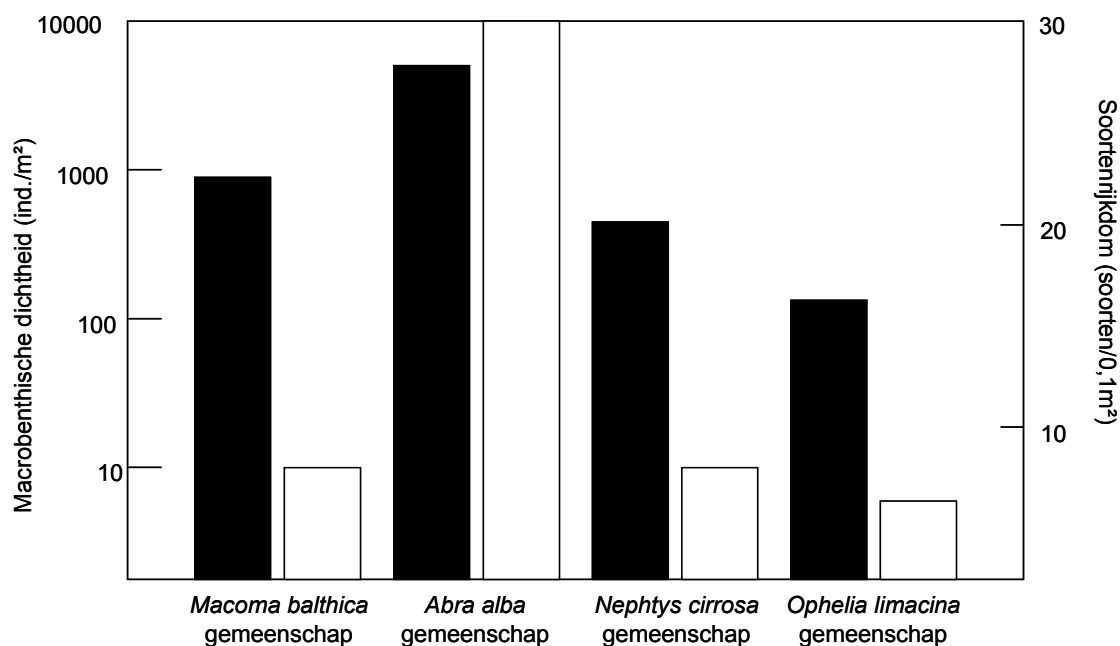


Fig. 1. De macrobenthische dichtheid (ind.m<sup>-2</sup>) en soortenrijkdom (soorten per 0.1m<sup>2</sup>) zijn sterk afhankelijk van de gemeenschap. Zwarte staven: macrobenthische dichtheid; witte staven: macrobenthische soortenrijkdom.

De *Barnea candida* gemeenschap vormt de enige uitzondering op dit patroon. Deze gemeenschap – met een lage diversiteit en dichtheid – wordt typisch gevonden op plaatsen waar compacte, tertiaire kleilagen dagzomen. De zeldzaamheid van deze gemeenschap is onmiddellijk gekoppeld aan de zeldzaamheid van haar habitat, waar momenteel slechts enkele vindplaatsen van gekend zijn.

Voor een volledig beeld van de huidige kennis van de macrobenthische rijkdom van het BDNS wordt verwezen naar het BelSPO project 'MACROBEL' (coördinatie: UGent-Sectie Mariene Biologie; partner: ILVO-Visserij; projectwebsite: <http://www.vliz.be/vmdcdata/macobel>). De resultaten van dit project werden tevens vastgelegd in de samenvattende en overzichtelijke 'Macrobenthosatlas van het Belgisch deel van de Noordzee' (Degraer *et al.*, 2006). Een exemplaar van deze atlas kan gratis verkregen worden via [http://www.belspo.be/belspo/home/publ/index\\_nl.stm](http://www.belspo.be/belspo/home/publ/index_nl.stm). De atlas is beschikbaar in een Nederlandse, Franse en Engelstalige versie.

## 2. Het macrobenthos van de 'Vlakte van de Raan' en ruime omgeving: biologische gegevens

### 2.1. Databeschikbaarheid

De Sectie Mariene Biologie (Universiteit Gent, Vakgroep Biologie) verzamelde sinds 1994 een totaal van 165 macrobenthosstalen in de ruime omgeving van de 'Vlakte van de Raan' (*i.e.* incl. 10km perimeter). Deze stalen zijn afkomstig van 99 verschillende staalnameplaatsen. De staalnameplaatsen zijn echter niet homogeen over het gebied verspreid: het merendeel van de stalen werd verzameld in de omgeving van de baggerstortplaats(en) 'Sierra Ventana' en de noordelijke flank van de 'Vlakte van de Raan' (*i.e.* kustnabije zone), gevolgd door de kustzone. Voor de top van de 'Vlakte van de Raan' zijn momenteel geen gegevens beschikbaar.

## 2.2. Gemeenschapssamenstelling

Binnen de ruime omgeving van de 'Vlakte van de Raan' worden drie van de vier frequent in het BDNS voorkomende macrobenthische gemeenschappen algemeen aangetroffen: enkel de *Ophelia limacina* gemeenschap is er zeer zeldzaam (slechts 2% van de staalnameplaatsen). De drie frequent voorkomende gemeenschappen bezetten elk een heel specifieke zone binnen het gebied (Fig. 2). De rijke *Abra alba* gemeenschap (60% van de staalnameplaatsen) wordt voornamelijk in het noordelijk deel van het gebied (i.e. de kustnabije zone) gevonden, terwijl de *Macoma balthica* gemeenschap het zuidelijke deel (i.e. de kustzone) domineert. De *Nephtys cirrosa* gemeenschap wordt voornamelijk gevonden in het gebied van de baggerstortplaats 'Sierra Ventana'.

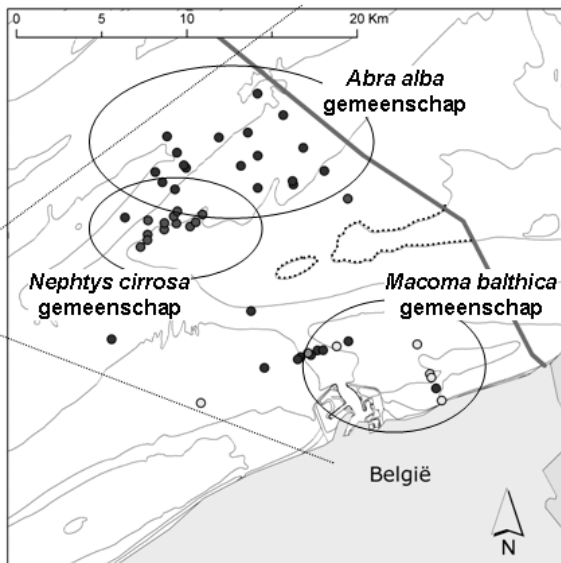


Fig. 2. De drie frequent voorkomende gemeenschappen in de ruime omgeving van de 'Vlakte van de Raan' (de *Abra alba*, *Macoma balthica* en *Nephtys cirrosa* gemeenschappen) bezetten elk een heel specifieke zone binnen het gebied.

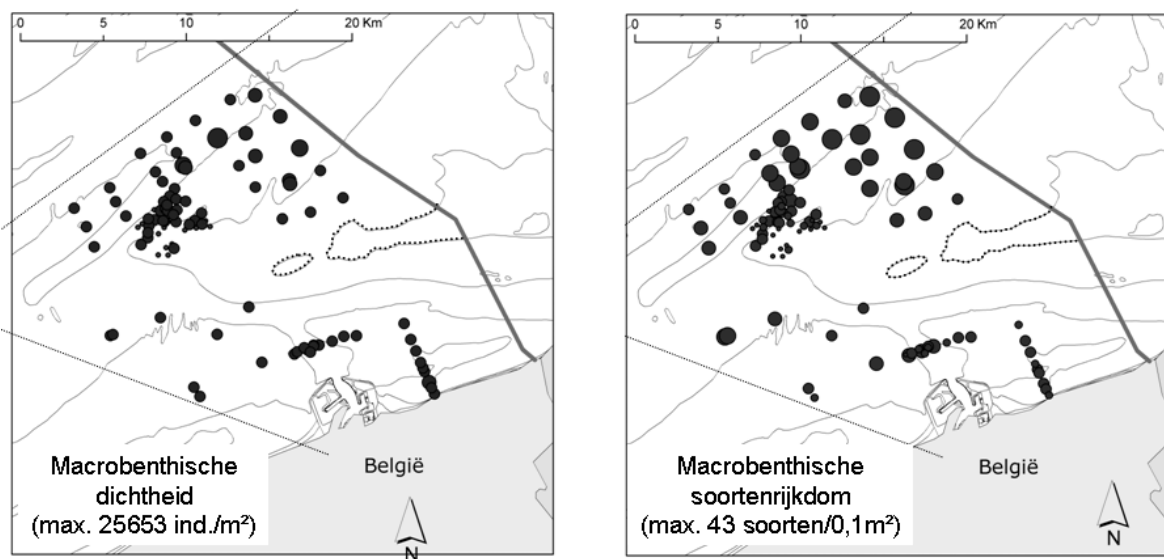


Fig. 3. De macrobenthische dichtheid en soortenrijkdom zijn maximaal (tot 25 653 ind.m<sup>-2</sup> en 43 soorten per 0.1m<sup>2</sup>, respectievelijk) in de noordelijke zone en minimaal in de omgeving van de baggerstortplaats 'Sierra Ventana'. Hoe groter de diameter van de cirkel, hoe hoger de macrobenthische dichtheid of soortenrijkdom.

Deze verspreiding van de gemeenschappen vertaalt zich verder in de verspreiding van de macrobenthische soortenrijkdom en dichtheid: beide zijn maximaal (tot 25 653 ind.m<sup>-2</sup> en 43 soorten per 0.1m<sup>2</sup>, respectievelijk) in de noordelijke zone en minimaal in de omgeving van de baggerstortplaats 'Sierra Ventana' (Fig. 3). In dit laatste gebied worden zelfs regelmatig plaatsen, gekenmerkt door de afwezigheid van macrobenthos, aangetroffen (15 stalen).

### 2.3. Kenmerkende soorten

Met een maximum van 11 793 ind.m<sup>-2</sup> en een verspreiding voornamelijk beperkt tot de noordelijke zone, is de borstelworm *Spiophanes bombyx* de meeste abundante macrobenthische soort binnen het gebied (Fig. 4). Op de tweede plaats wat betreft dichtheid komen de borstelwormen behorende tot de familie Cirratulidae. Deze borstelwormen, met een maximale dichtheid van 10 205 ind.m<sup>-2</sup>, zijn in hun verspreiding evenwel beperkt tot de zuidelijke zone van het gebied.

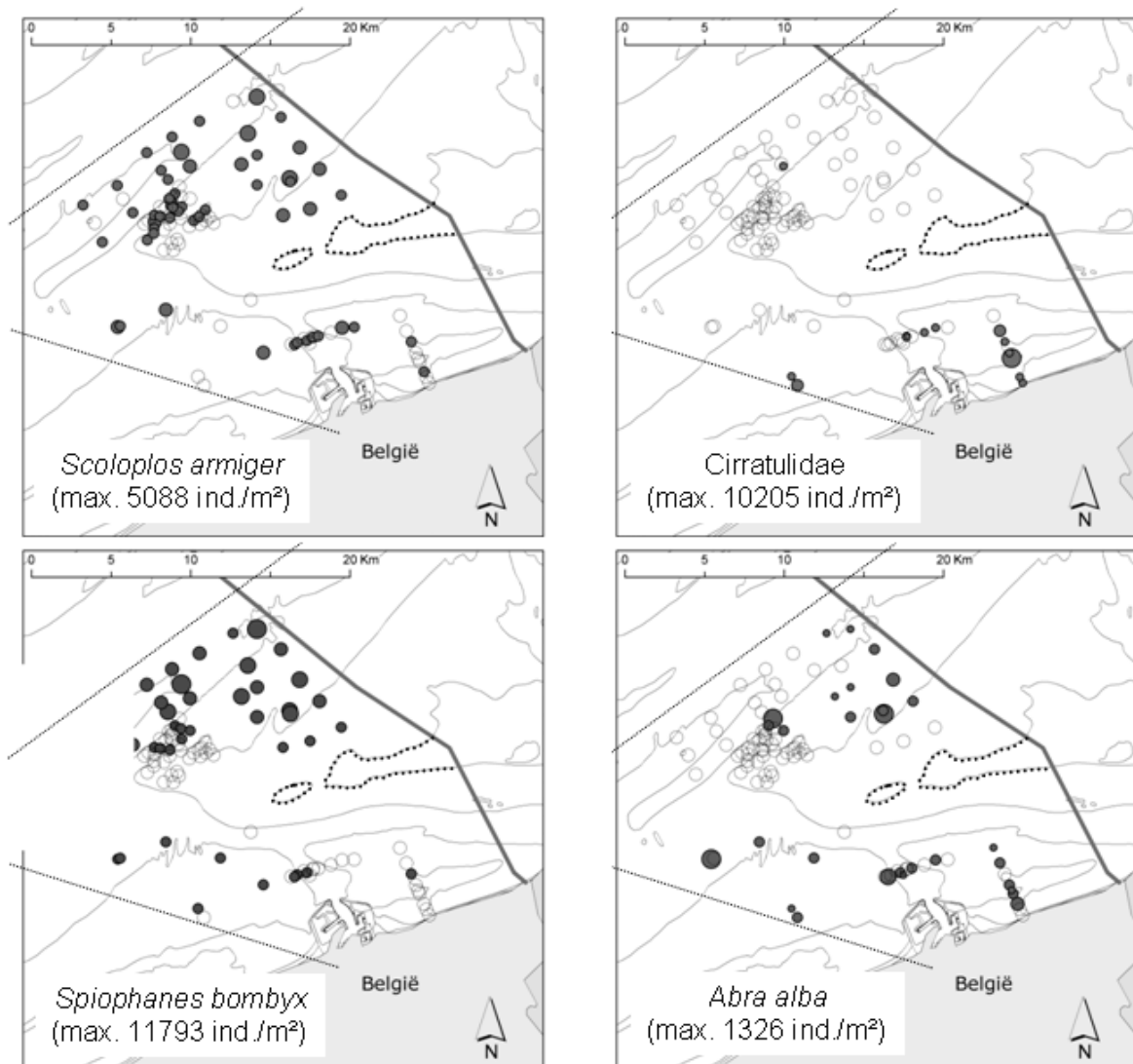


Fig. 4. De vier meest abundante macrobenthische soorten nemen elk een specifieke plaats in binnen de ruime omgeving van de 'Vlakte van de Raan'. Hoe groter de diameter van de cirkel, hoe hoger het aantal individuen.

Verder is de borstelworm *Scoloplos armiger* wijd verbreid in de ruime omgeving van de 'Vlakte van de Raan', waar deze dichtheden tot 5 088 ind.m<sup>-2</sup> bereikt. De soort lijkt geen specifieke voorkeur te vertonen voor een bepaalde zone. De enige tweekleppige, dewelke hoge dichtheden in het gebied bereikt, is de witte dunschaal *Abra alba*. Deze soort kan zowat overal in het gebied worden gevonden, maar bereikt haar piekdichtheden (tot 1 326 ind.m<sup>-2</sup>) in het noordelijke deel van het gebied.

Twee soorten, die hier verder de nodige aandacht verdienen, zijn de borstelwormen *Lanice conchilega* (zandkokerworm) en *Owenia fusiformis*. Beide borstelwormen worden gecatalogeerd als habitatingenieurs. Habitatingenieurs oefenen door hun aanwezigheid een belangrijke invloed uit op de fysische omgeving, waardoor deze geschikt wordt voor bezetting door een hele lijst andere (macro)benthische soorten. In de aanwezigheid van deze soorten kan de macrobenthische dichtheid en soortenrijkdom oplopen met een factor 2 tot 3 ten opzichte van het onmiddellijk omringende sediment (Van Hoey *et al.*, in voorbereiding).

De beide soorten zijn in hun verspreiding voornamelijk beperkt tot het noordelijke deel van de ruime omgeving van de 'Vlakte van de Raan' (Fig. 5). Daar bereiken ze dichtheden tot 9 327 ind.m<sup>-2</sup> (*Lanice conchilega*) en 731 ind.m<sup>-2</sup> (*Owenia fusiformis*). Binnen deze zone bereiken de beide soorten dichtheden die tot de hoogste in het BDNS behoren.

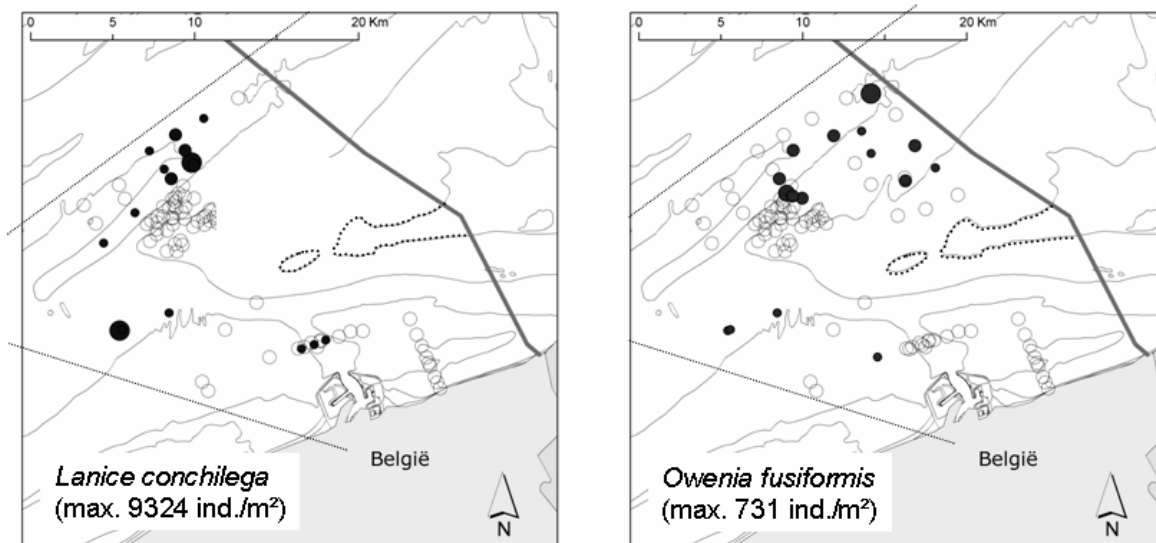


Fig. 5. De twee habitatingenieurs *Lanice conchilega* en *Owenia fusiformis* worden in hoge dichtheden ten noorden van de 'Vlakte van de Raan' aangetroffen. Hoe groter de diameter van de cirkel, hoe hoger het aantal individuen.

### 3. Het macrobenthos van de top van de 'Vlakte van de Raan': gemodelleerde gegevens

#### 3.1. Het HABITAT model

Zoals eerder aangehaald wordt de verspreiding van de verschillende macrobenthische gemeenschappen sterk bepaald door de fysische omgeving. De korrelgrootteverdeling van het sediment – meer bepaald de mediane korrelgrootte en het slibgehalte – blijkt hierbij sterk structurerend te zijn. Via het HABITAT model wordt de relatie tussen het voorkomen van de macrobenthische gemeenschappen enerzijds en de mediane korrelgrootte en het slibgehalte anderzijds op een mathematisch objectieve manier gekoppeld (Fig. 6).

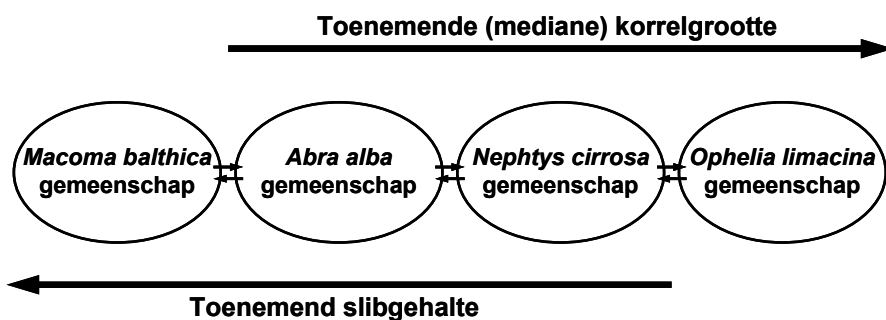


Fig. 6. De korrelgrootteverdeling van het sediment – meer bepaald de mediane korrelgrootte en het slibgehalte – blijkt sterk structurerend te zijn voor de verspreiding van de vier frequent voorkomende macrobenthische gemeenschappen in het Belgisch deel van de Noordzee.

Op deze manier wordt een habitatgeschiktheidsmodel voor elk van de macrobenthische gemeenschappen opgesteld. Bij de opstelling van het HABITAT model werd enkel rekening gehouden met de vier algemeen voorkomende macrobenthische gemeenschappen. Overgangen tussen de gemeenschappen en de *Barnea candida* gemeenschap werden niet in rekening gebracht. Deze strategie werd geselecteerd om een optimale communicatie betreffende de resultaten van het model met beleidsmensen te verzekeren (Degraer *et al.*, 2005).

Het model is gebaseerd op een Discriminant Functie Analyse (DFA). Een dergelijke analyse laat toe: (1) de omgevingsvariabelen, dewelke het best de structuur in de macrobenthische data verklaren, objectief te selecteren en (2) een model op te stellen waarmee stalen, waarvan enkel gegevens betreffende de omgevingsvariabelen voorhanden zijn, aan een macrobenthische gemeenschap toe te kennen met een accuraatheid hoger dan door toeval (d.m.v. automatisch gegenereerde classificatie functies).

Uit een lijst van verschillende aan de DFA aangeboden omgevingsvariabelen (o.a. diepte, mediane korrelgrootte, helling en slibgehalte), weerhield de DFA de mediane korrelgrootte en het slibgehalte als meest en statistisch significant structurerend. De DFA leverde verder classificatiefuncties aan. Deze laten toe de kans te berekenen waarmee een staal op basis van enkel en alleen gegevens betreffende de mediane korrelgrootte en het slibgehalte tot één van de vier gemeenschappen behoort (*i.e.* HABITAT model). De *a posteriori* accuraatheid van het HABITAT model werd bepaald op 67 tot 88% (gemeenschapsafhankelijk), met een gemiddelde van 77%. Momenteel wordt een wetenschappelijke publicatie over het HABITAT model en haar toepassing in het BDNS voorbereid (Degraer *et al.*, in voorbereiding).

### **3.2. Gebiedsdekkende kartering van de sedimentsamenstelling**

De mediane korrelgrootte en het slibgehalte van de ruime omgeving van de 'Vlakte van de Raan' werden aangeleverd door het Renard Center voor Mariene Geologie (RCMG) (Fig. 7). Hierbij werd met behulp van een statistisch en geomorfologisch onderbouwde strategie (Verfaillie *et al.*, in druk) een gebiedsdekkende mediane korrelgrootte en slibgehaltekaart geproduceerd. Dit op basis van de talrijke meetpunten in het gebied, waarvan verschillende gelegen op de top van de 'Vlakte van de Raan'.

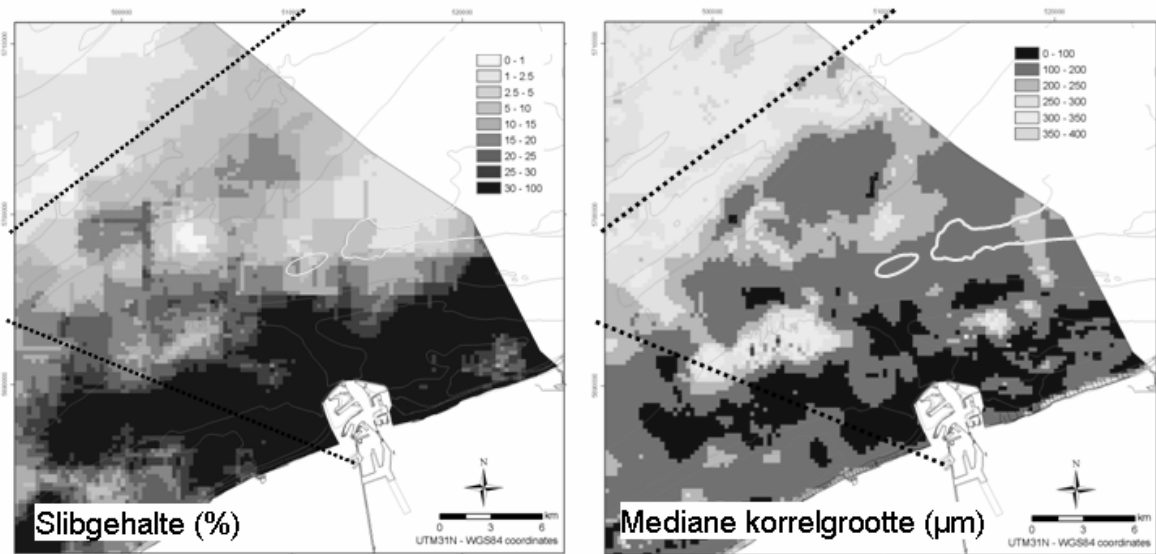


Fig. 7. De gebiedsdekkende slibgehalte en mediane korrelgroottekaart (Verfaillie *et al.*, in druk) dienden als basis voor de voorspelling van de verspreiding van de macrobenthische gemeenschappen op de top van de 'Vlakte van de Raan'.

### 3.3. Voorspelde gemeenschapsverspreiding op de top van de 'Vlakte van de Raan'

Een combinatie van het HABITAT model en de gebiedsdekkende mediane korrelgrootte en slibgehaltekaarten laten toe de ruimtelijke verspreiding van de macrobenthische gemeenschappen op de top van de 'Vlakte van de Raan' te voorspellen.

Van de vier frequent op het BDNS voorkomende macrobenthische gemeenschappen wordt enkel de *Ophelia limacina* gemeenschap niet verwacht op de top van de 'Vlakte van de Raan' (Fig. 8). Van de overige drie heeft vooral de macrobenthisch rijke *Abra alba* gemeenschap de hoogste kans van voorkomen en zou deze ongeveer 2/3 van het gebied beslaan, onmiddellijk gevolgd door de *Nephtys cirrosa* gemeenschap (ongeveer 1/3 van het gebied). De *Macoma balthica* gemeenschap zou volgens het model niet onmiddellijk op de top van de 'Vlakte van de Raan' voorkomen, maar wel nabij het meest westelijke deel van de top heel dicht in de buurt.

### 4. Naar een bepaling van de geïntegreerde intrinsieke natuurwaarde van de 'Vlakte van de Raan'

Via het BelSPO project 'BWZee' (coördinatie: UGent-Sectie Mariene Biologie; partners: UGent-RCMG; INBO en ILVO-Visserij) wordt momenteel gewerkt aan de opstelling van de Biologische Waarderingskaart van het BDNS. Biologische waarde wordt hier gedefinieerd als 'de intrinsieke waarde van biodiversiteit, zonder enige aandacht voor het eventuele antropogene gebruik', met andere woorden 'de natuurbehoudswaarde van biodiversiteit'.

Om tot een Biologische Waarderingskaart van het BDNS te komen wordt het BDNS opgedeeld in een ecosysteemcomponent-afhankelijke grid (vb. voor macrobenthos: 250 x 250m) en worden alle beschikbare gegevens, betreffende de ecosysteemcomponenten macrobenthos, zeevogels, hyperbenthos, epibenthos en demersale vissen, per grid bevroegd aan de hand van bij consensus geselecteerde criteria: zeldzaamheid, aggregatie, fitheidsgevolgen, natuurlijkheid en proportioneel belang (Deraus *et al.*, ingediend). Een integratie van de scores voor elk van de criteria en voor elk van de ecosysteemcomponenten laat toe een geïntegreerde biologische waarde per gridcel te berekenen.



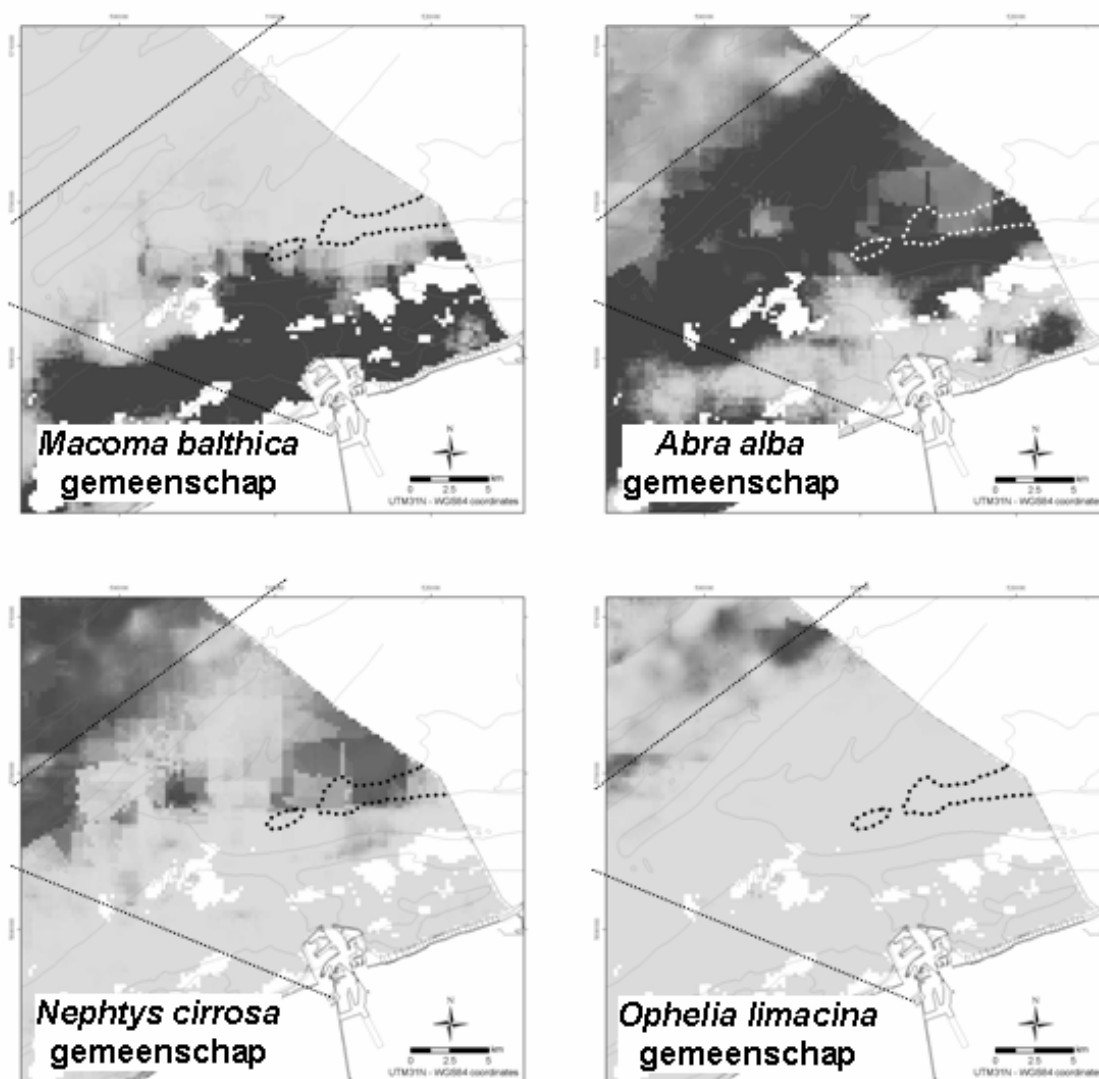


Fig. 8. De kans op het voorkomen van de vier macrobenthische gemeenschappen, berekende aan de hand van HABITAT model. Hoe donkerder ingekleurd, hoe hoger de kans op voorkomen.

De Biologische Waarderingskaart bevindt zich momenteel in een proces van afwerking. De kaarten en het bijhorende projectverslag worden verwacht via de projectwebsite <http://www.vliz.be/projects/bwzee> beschikbaar gesteld te worden in de loop van november 2006. Deze kaarten zullen een uitstekend hulpmiddel zijn bij de bepaling van het relatieve 'biologische belang' van o.a. de 'Vlakte van de Raan'.

## Referenties

- Degraer S., Van Lancker V., Moerkerke G., Van Hoey G., Vanstaen K., Vincx M. en Henriët J.P. (2003). Evaluation of the ecological value of the foreshore: habitat-model and macrobenthic side-scan sonar interpretation: extension along the Belgian Coastal Zone. Final report. Ministry of the Flemish Community, Environment and Infrastructure Department. Waterways and Marine Affairs Administration - Coastal Waterways. 63 pp.
- Degraer S., Willems W., Adriaens E. en Vincx M. (2005). Ecological zonation. p. 14-22. In: Towards a Spatial Structure Plan for Sustainable Management of the Sea: Mixed actions - Eindrapport. Maes F., De Batist M., Van Lancker V., Leroy D. en Vincx M. (Eds.). Federaal Wetenschapsbeleid, PODO II (MA/02/006).

- Degraer S., Wittoeck J., Appeltans W., Cooreman K., Deprez T., Hillewaert H., Mees J., Van den Berghe W. en Vincx M. (2006). De macrobenthosatlas van het Belgisch Continentaal Plat. Federaal Wetenschapsbeleid D/2005/1191/5. 164 pp.
- Degraer S., Willems W., Adriaens E. en Vincx M. (in voorbereiding). Modelling the macrobenthic community habitat suitability: The case of the Belgian Continental Shelf.
- Derous S., Agardy T., Hillewaert H., Hostens K., Jamieson G., Lieberknecht L., Mees J., Moulaert I., Olenin S., Paelinckx D., Rabaut M., Roff J., Stienen E., Van Lancker V., Verfaillie E., Weslawski J.M., Vincx M. en Degraer S. (ingediend). A concept for biological valuation in the marine environment. *Oceanologia*.
- Van Hoey G., Degraer S. en Vincx M. (2004). Macrobenthic communities of soft-bottom sediments at the Belgian Continental Shelf. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 59: 601-615.
- Van Hoey G., Vincx M. en Degraer S. (in voorbereiding). The impact of *Lanice conchilega* on the soft-bottom benthic ecosystem in the North Sea.
- Verfaillie E., Van Lancker V. en Van Meirvenne M. (in druk). Multivariate geostatistics for the predictive modelling of the surficial sand distribution in shelf seas. *Continental Shelf Research*.