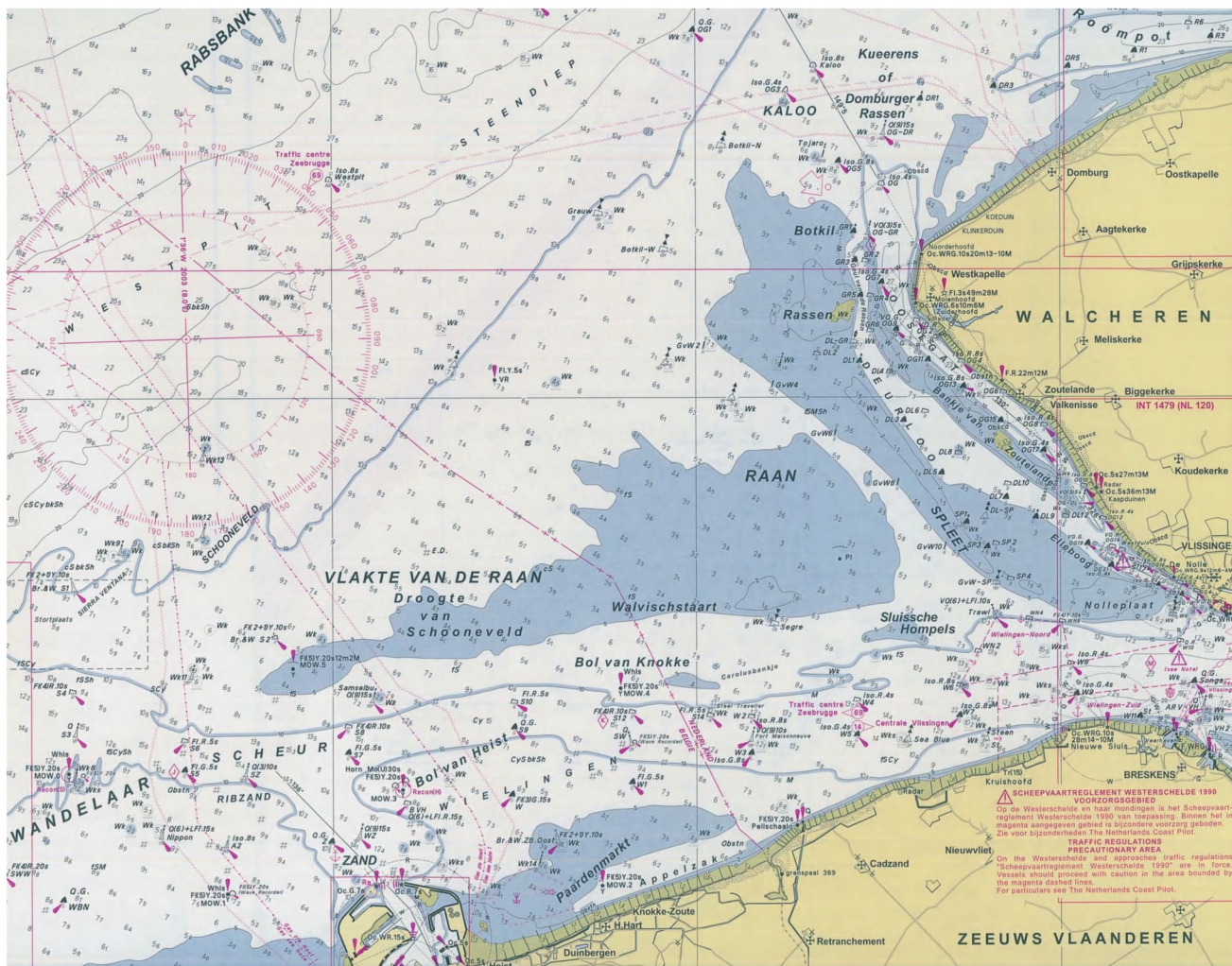




STUDIEDAG

De Vlakte van de Raan van onder het stof gehaald

13 oktober 2006
Vlaams Instituut voor de Zee
Oostende, België

Jon Coosen, Jan Mees,
Jan Seys en Nancy Fockedeij (Eds)

VLIZ SPECIAL PUBLICATION 35

Georganiseerd door:

Vlaams Instituut voor de Zee (VLIZ)
ProSes2010

i.s.m. FOD Volksgezondheid, Veiligheid van de
Voedselketen en Leefmilieu – Directoraat Generaal
Leefmilieu, sectie Marien Milieu



STUDIEDAG

De Vlakte van de Raan van onder het stof gehaald

13 oktober 2006
Vlaams Instituut voor de Zee
Oostende, België

**Jon Coosen, Jan Mees,
Jan Seys en Nancy Fockedey (Eds)**

VLIZ SPECIAL PUBLICATION 35

Georganiseerd door:

Vlaams Instituut voor de Zee (VLIZ)
ProSes2010

i.s.m. FOD Volksgezondheid, Veiligheid van de
Voedselketen en Leefmilieu – Directoraat Generaal
Leefmilieu, sectie Marien Milieu



Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Coosen J., Mees J., Seys J. en Fockedey N. (Eds.). Studiedag: De Vlake van de Raan van onder het stof gehaald. Oostende, 13 oktober 2006. Vlaams Instituut voor de Zee (VLIZ). VLIZ Special Publication, 35: Oostende, België. iii + 135 p.

Vlaams Instituut voor de Zee (VLIZ)
Wandelaarkaai 7
B-8400 Oostende
Tel. + 32 (0)59-34 21 30
Fax. + 32 (0)59-34 21 31
Email: info@vliz.be
www.vliz.be

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

ISSN 1377-0950

INHOUDSTAFEL

Jan Mees

Inleiding tot de studiedag 1

Guido Dumon, Nathalie Balcaen, Marc Huygens, Philippe Hyde en Piet Haerens

Hydrodynamica ter hoogte van de 'Vlakte van de Raan' 2

Isabel Du Four, Kristien Schelfaut, Sytze Vanheteren, Thaiënne Van Dijk en Vera Van Lancker

Geologie en sedimentologie van het Westerscheldemondingsgebied..... 16

Jean Jacques Peters

Belang van de 'Vlakte van de Raan' voor de morfologische evoluties van het
Schelde-estuarium 30

Johan Termote

De 'Vlakte van de Raan' in historisch-geografisch perspectief..... 43

Inge Zeebroek, Ine Demerre, Tom Lenaerts en Marnix Pieters

De Scheldemonding vanuit (maritiem) archeologisch oogpunt 52

Wouter Courtens, Eric Stienen en Nicolas Vanermen

Zeevogels en zeezoogdieren van de 'Vlakte van de Raan' 59

Koen Sabbe, Koenraad Muylaert, Jacco Kromkamp en Wim Vyverman

Primaire productie op het kruispunt van estuarium en kustzone 73

Johan Craeymeersch, Vincent Escaravage, Josien Steenbergen, Jeroen Wijsman, Sander Wijnhoven en Belinda Kater

De bodemfauna in het Nederlandse deel van de Scheldemonding 85

Steven Degraer, Els Verfaillie en Magda Vincx

Het macrobenthos van het Belgisch deel van de 'Vlakte van de Raan' in een
ruimer perspectief 106

Kris Hostens en Ine Moulaert

De epi-, macro- en visfauna op de 'Vlakte van de Raan' 116

INLEIDING TOT DE STUDIEDAG

Jan Mees

Vlaams Instituut voor de Zee (VLIZ), Wandelaarkaai 7, B-8400 Oostende, België. Email: jan.mees@vliz.be

Op het kruispunt van de Schelde en de Noordzee, op de grens van België en Nederland, ligt een uniek zeegebied: de 'Vlakte van de Raan'. Als een ondiepe, wigvormige zandbank strekt dit gebied zich uit over een belangrijk deel van de Scheldemonding tussen Zeebrugge en Walcheren.

De 'Vlakte van de Raan' heeft fascinerende natuur- en historische waarden, en vervult een niet onbelangrijke vis-, paai- en kraamkamerfunctie. Tevens bevindt het zich op een cruciale plek ten aanzien van de veiligheid en toegankelijkheid van het Schelde-estuarium en vereist het vanuit deze eigenheid een geïntegreerde, grensoverschrijdende beleidsmatige aanpak. Vanwege zijn natuurwaarden zijn delen van de 'Vlakte van de Raan' aan beide zijden van de grens bovendien voorgesteld of aangemeld als beschermde zone in opvolging van Europese regelgeving.

Ter ondersteuning van dit beleid is een diepgravende wetenschappelijke onderbouwing essentieel. Omdat nogal wat informatie niet publiek toegankelijk blijkt te zijn, beslisten het Vlaams Instituut voor de Zee en de Projectdirectie voor de uitvoering van de Ontwikkelingsschets 2010 Schelde-estuarium (ProSes2010) aan dit gebied een wetenschappelijke studiedag te wijten. Vandaag (13 oktober 2006) zal zoveel mogelijk informatie over het gebied van onder het stof worden gehaald, rond thema's zo ruim als hydrografie, geomorfologie, ecologie, historiek en archeologie.

HYDRODYNAMICA TER HOOGTE VAN DE VLAKTE VAN DE RAAN

Guido Dumon¹, Nathalie Balcaen¹, Marc Huygens², Philippe Hyde² en Piet Haerens²

¹ Afdeling Kust, Agentschap voor Maritieme Dienstverlening & Kust, Vlaamse Overheid,
Vrijhavenstraat 3, B-8400 Oostende, België. E-mail: guido.dumon@mow.vlaanderen.be

² Soresma Haecon nv, Poortakkerstraat 41, 9051 Sint-Denijs-Westrem, België

Samenvatting

Het gebied rond de 'Vlakte van de Raan', gelegen in het mondingsgebied van de Westerschelde, wordt als grensoverschrijdende ondiepte door zowel het Meetnet Vlaamse Banken als het ZEGE Meetnet bemeten. Meetgegevens die het getij, wind- en golfklimaat omschrijven zijn in voldoende mate aanwezig, doch er ontbreken lange tijdreeksen van waarnemingen om de heersende hydrodynamica van het gebied voldoende in detail in beeld te brengen. Zowel de meetlocaties 'Scheur-Oost', 'Scheur-West', 'Bol van Heist' en 'Bol van Knokke' langs Vlaamse zijde als 'Vlakte van de Raan', 'Wielingen' en 'Deurloo' langs Nederlandse zijde, leveren waardevolle data op voor, enerzijds direct gebruik bij scheepvaartbegeleiding of stormvloedwaarschuwingen (of voorspellingen) en anderzijds indirect gebruik bij talrijke applicaties. De opgemeten oceanografische en meteorologische parameters kunnen tevens aangewend worden ter ijking van mathematische, hydrodynamische en zelfs morfodynamische modellen.

De analyse van de bestaande meetreeksen, opgemeten op meetlocaties rond de 'Vlakte van de Raan', tonen alvast aan dat de waarnemingen in overeenkomst zijn met gangbare theorieën omtrent golfrefractie, shoaling, windsnelheid en waterstand. Verder blijkt dat uit lange tijdreeksen tendensen kunnen afgeleid worden. Door het voortdurend verbeteren van sensoren en algoritmes, en het toenemend aantal waarnemingen, zal het belang van assimilatie voor operationele en hindcast toepassingen meer en meer toenemen.

1. Inleiding

De 'Vlakte van de Raan', een grensoverschrijdende ondiepte, vormt door zijn ligging een uniek gebied in de Noordzee. Als uitloper van het mondingsgebied van het Westerschelde-estuarium naar de Noordzee vormt deze zandbank de overgang tussen een rivierestuarium en de open zee. Daardoor past de heersende hydrodynamica niet direct binnen het getijperspectief van een rivierestuarium, noch van een ontwikkelde zee. De complexe stroming, tijvariatie en golfpatronen reflecteren precies de fysische overgang van mondingszone naar open zee.

Mede doordat het gebied op een grensoverschrijdende locatie ligt, zijn vanuit het verleden geen lange tijdreeksen van waarnemingen beschikbaar om de heersende hydrodynamica van het gebied in beeld te brengen. In de volgende bijdrage wordt een overzicht gegeven van:

- de samenstelling van het grensoverschrijdende meetnet
- de beschikbare meetgegevens
- de reeds beschikbare (statistische) analyse van relevante gegevens voor de 'Vlakte van de Raan'
- een hydrodynamisch beeld van de betreffende locatie
- de meest significante besluiten omtrent het stroom- en golfbeeld op de 'Vlakte van de Raan'

2. Een grensoverschrijdend meetnet

De ligging van het Westerschelde-estuarium ten opzichte van de landsgrenzen van Nederland en Vlaanderen maakt dat de zone bemeten wordt door twee overheden. Beide meetnetten zijn op elkaar afgestemd en complementair. Aan Vlaamse zijde bestaat het Meetnet Vlaamse Banken. Dit meetnet valt onder de bevoegdheid van de Vlaamse Overheid - Afdeling Kust.

Aan Nederlandse zijde bestaat het meetnet ZEGE, beheerd door Hydro-Meteo-Centrum Zeeland - Rijkswaterstaat. Als algemene kennisgeving wordt hieronder een overzicht gegeven van de respectievelijke meetnetten en de verschillende parameters die binnen deze netten geregistreerd worden.

De diverse meetinstrumenten die gebruikt worden bevinden zich in meetboeien of op meetpalen (Fig. 1 en 2). Het zijn de directional waverider (golfhoogte en golfrichting), de waverider (golfhoogte), de stappenbaak (golfhoogte), de radar (golfhoogte), de waterstandmeter en de windsensor (windrichting, windsnelheid).

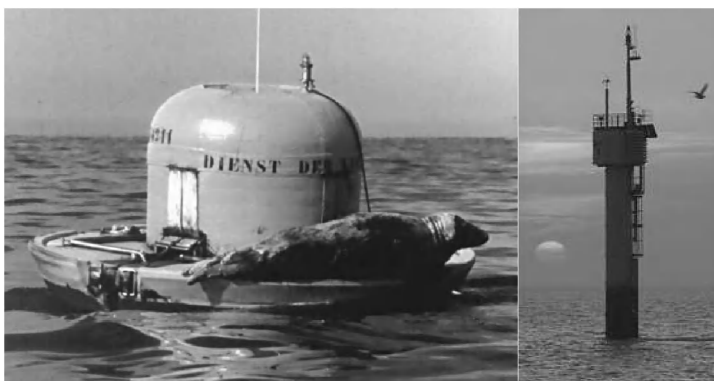


Fig. 1. Wavec meetboei (links) en meetpaal (rechts) binnen het Meetnet Vlaamse Banken.



Fig. 2. Meetboei Deurloo (links) en Meetpaal Vlake van de Raan (rechts) binnen het ZEGE Meetnet

2.1. Meetnet Vlaamse Banken

Het Meetnet Vlaamse Banken, oorspronkelijk opgestart ter ondersteuning van de ontwerpstudie van de haven van Zeebrugge, is intussen uitgebreid tot een volwaardig meetnet voor de systematische opvolging van oceanografische en meteorologische parameters langs de Vlaamse kust en op het Belgisch Continentaal Plat. Het meetnet, genoemd naar de groep onregelmatige zandbanken die zich voor de westelijke helft van de Vlaamse kust bevinden, bestaat uit een centraal computernetwerk operationeel vanuit Oostende, twee meteoparken aan wal en verschillende offshore meeteenheden (boeien en meetpalen) geïnstalleerd voor de Vlaamse kust. Een overzicht van de locaties van de verschillende actueel operationele meeteenheden – in totaal bijna vijftien – is weergegeven in Fig. 3.

Het Meetnet Vlaamse Banken is opgebouwd uit meetpalen en golfmeetboeien die voorzien zijn van specifieke hydrometeosensoren. Het netwerk op zee is een uitermate belangrijke informatiebron voor de opmaak van de dagelijkse informatieberichten met hydrometeo-informatie. Deze hydrometeo-berichten bestaan uit voorspellingen van tijhoogten, golven, wind en zichtbaarheid langsheen de Vlaamse kust en in de scheepvaartroutes naar de havens toe. Op die manier worden ondermeer de nautische autoriteiten dagelijks voorzien van accurate hydrometeorologische informatie omtrent dit druk bevaren stuk van het Kanaal. De data worden ook aangewend voor het opvolgen van kustverdedigingsactiviteiten, havenactiviteiten, baggerwerken, hydrografische waarnemingen, berging van wrakken, ... Tevens zijn de real-time gegevens van het Meetnet een zeer belangrijke bron van informatie voor stormvloedwaarschuwingen en als validatie/ijkingsgegevens voor numerieke modellen van deze kuststrook.

Naast de belangrijkste oceanografische parameters, zijnde golfkarakteristieken, tijhoogte, stromingen en watertemperatuur, worden meteorologische parameters zoals wind, luchtdruk, luchttemperatuur en neerslag in real-time opgemeten en doorgestuurd naar het centrale datacentrum in Oostende. Tabel I geeft een overzicht van de parameters die binnen het Vlaamse meetnet, per locatie, real-time ingemeten worden en naar het centraal datacentrum doorgestuurd worden.

De data worden continu op de verschillende locaties opgemeten en naar het meetnetsysteem verzonden. In het centraal datacentrum worden de gegevens verder verwerkt, gevalideerd, omgezet naar hydro- en meteoparameters en wordt een statistische analyse uitgevoerd.

Mede door de recente ontwikkeling omtrent offshore windmolenparken op de Vlaamse Banken wordt de omgeving van de 'Vlakte van de Raan' op dit ogenblik intensiever bemeten.

Tabel I. Meetnet Vlaamse Banken: Locatie van de meeteenheden en de opgemeten parameters

Locatie	Golfhoogte	Golfperiode	Golfrichting	Golfenergie	Temperatuur Zeeewater	Getijhoogte	Windsnelheid	Windrichting	Temperatuur Lucht	Luchtdruk	Neerslag
	H	T	α	E	t	cmTAVV	s	θ	t	p	
A2-Boei	x	x		x	x	x				x	
Appelzak						x				x	
Bol van Heist	x	x	x	x	x	x					
Bol van Knokke	x	x	x	x		x					
Nieuwpoort						x					
Oostende	x	x		x		x					
Trapegeer	x	x		x							
Wandelaar					x	x	x	x		x	
Westhinder	x	x	x	x							
Westhinder (MP7)					x	x	x	x	x	x	
Zeebrugge - Daminstrumentatie							x	x	x	x	x
Zeebrugge - Leopold II-dam						x					
Zeebrugge - Meteopark							x	x	x	x	x
ZW-Akkaert	x	x		x							

2.2 ZEGE Meetnet van de Nederlandse overheid

Het meetnetwerk van de Vlaamse overheid is interactief gekoppeld aan het ZEGE (ZEeuwse GEtijdenwateren) Meetnet van Rijkswaterstaat, dat zich focust op de Westerschelde en de provincie Zeeland. Dit meetnet telt een 60-tal meetlocaties, waar een 14-tal parameters opgemeten en geregistreerd worden (Fig. 4).

Het ZEGE Meetnet heeft, net zoals zijn Vlaamse tegenhanger, tot doel het automatisch inwinnen en verwerken van hydrologische en meteorologische grootheden (wind, luchtdruk, watertemperatuur, zoutgehalte, waterstanden en golven) en dit ten behoeve van onder andere storm- en hoogwaterwaarschuwing en de ijking van stromingsmodellen. De oorsprong van het meetnet situeert zich omstreeks 1980. Het meetnet werkt volgens een algemene standaard, opgezet binnen Rijkswaterstaat, zodat hydro- en meteogegevens van de verschillende diensten steeds op dezelfde uniforme manier gemeten en verwerkt worden. De parameters worden continu op de verschillende meetlocaties gemeten, verwerkt en naar het meetnetsysteem doorgezonden. Er wordt gebruik gemaakt van een vijftal ontvangstposten, die geografisch over de regio van het meetnet verspreid staan opgesteld. Door de koppeling van beide meetnetten (VL-NL) beschikken beide instanties over een volledige gegevensbank voor dit stuk van de Noordzee.

2.3 Relevante meeteenheden rond de 'Vlakte van de Raan'

Rond de 'Vlakte van de Raan', een grensoverschrijdende ondiepte grotendeels gelegen op Nederlands grondgebied in het hart van de Westerscheldemonding, bevinden zich verschillende meetlocaties van zowel het Vlaamse als Nederlandse meetnet, waarvan de voornaamste zijn:

Meetnet Vlaamse Banken:

Scheur Wielingen (RWS - Scheur-Oost)
Wandelaar (RWS - Scheur-West)
Bol van Heist (MOW3)
Bol van Knokke (MOW4)

Meetnet ZEGE:

CADZ (Cadzand-Zuid)
CADW (Cadzand-West)
DELO (Deurlo)
VR (Vlakte van de Raan)

Deze meetlocaties leveren gegevens omtrent de voornaamste hydrodynamische parameters, zijnde het golfklimaat (significante golfhoogte, significante golfperiode, golfhoofdrichting en deining), het getij (waterhoogte), het windregime (windrichting, windsnelheid en windstoot) en het zeewater (temperatuur en chloridgehalte). De data worden als volgt gemeten:

1. Golfdata:

Meetnet Vlaamse Banken:

- Golfmeetboei (waverider), Scheur Wielingen: herhalingsstijd = 15 minuten
- Golfmeetboei (waverider), Bol van Heist: herhalingsstijd = 15 minuten
- Golfmeetboei (directional waverider), Bol van Heist: herhalingsstijd = 30 minuten
- Radarsensor (waveguide wave), Bol van Knokke: herhalingsstijd = 15 minuten
- Geregistreerde data omvatten: golfhoogte, golfperiode, laagfrequente golfenergie en golfrichting

ZEGE Meetnet:

- Golfmeetboei (directional waverider), Deurlo: herhalingstijd = 10 minuten
- Stappenbaak, Cadzand-West: herhalingstijd = 10 minuten
- Golfmeetboei (directional waverider), Cadzand-West: herhalingstijd = 10 minuten
- De standaard voor de opslag van golfgegevens voor golfklimatologie bestaat uit het energiedichtheidsspectrum, het golfrichtingsspectrum en acht veel toegepaste statistische parameters

2. Winddata:**Meetnet Vlaamse Banken:**

- In de onmiddellijke omgeving van de 'Vlakte van de Raan' zijn geen windgegevens beschikbaar.
- De meest dichtbij gelegen meetlocatie is de Wandelaar: herhalingstijd = 10 minuten

ZEGE Meetnet:

- De winddata komen van de windsensoren Vlakte van de Raan (VR) en Cadzand-Zuid (CADZ), waar windrichting en windsnelheid met een frequentie van 0.1Hz gemeten worden: herhalingstijd = 10 minuten

3. Getijdata:**Meetnet Vlaamse Banken:**

- Bol van Heist en Bol van Knokke: 5-min gemiddelde waterstand t.o.v. T.A.W.

ZEGE Meetnet:

- Meeteenheden Vlakte van de Raan (VR) en Cadzand kust (CADZ)
- Deze bestanden bevatten, met een herhalingstijd van 10 minuten, de gemeten waterstand t.o.v. N.A.P.

3. Analyse van relevante data

Uitgaande van het ruwe meetsignaal kunnen andere specifieke parameters, zoals sommige periodematen, uit het golfspectrum bepaald worden. Dit levert na verdere (statistische) analyse in hoofdzaak volgende parameters op:

Tabel II. Parameters na statistische analyse.

Waterstand	Golven	Wind
Gemeten waterstand t.o.v. T.A.W. en N.A.P.	H_{m0} , H_s Significante golfhoogte	Windsnelheid
Astronomisch verwachte waterstand	H_{LF} Laagfrequente golfhoogte (= gebaseerd op energie met frequenties kleiner dan 0,1 Hz)	Windrichting
Rechte opzet van de waterstand (= gemeten waterstand - astronomisch verwachte waterstand)	$T_{0,2}$ Golfperiode gedefinieerd als $\sqrt{m_0/m_2}$	
	$T_{0,1}$ Golfperiode gedefinieerd als m_1/m_0	
	Piekperiode	
	Golfrichting	
	Richtingsspreiding	

In onderstaande paragrafen wordt van het golfklimaat, de waterstand, het windregime en de stromingspatronen, op basis van de (statistisch) afgeleide meetdata, een analyse uitgevoerd en worden de voornaamste conclusies opgesomd met betrekking tot het hydrodynamisch karakter van het gebied van en rond de 'Vlakte van de Raan'.

3.1 Golfklimaat

Om een idee te krijgen van het golfklimaat op en nabij de 'Vlakte van de Raan' is uitgegaan van een aantal beschikbare meetdata, waarvan per meetlocatie voor de vier beschouwde golfparameters (H_{m0} , H_{LF} , $T_{0,2}$, $T_{0,1}$) gemiddelden, maxima en de waarden met een overschrijdingskans van 0.1%, 1%, 5%, 10%, 50% geanalyseerd zijn. Uit deze hele reeks meetdata kunnen volgende conclusies vastgesteld worden:

3.1.1. Invloed van de geografische ligging van de meetboeien

- De golfhoogte neemt toe naarmate de afstand van de meetlocatie tot de kustlijn toeneemt. Zo is op de meest landinwaartse locatie rond de 'Vlakte van de Raan', i.e. de locatie Wielingen (waterdiepte -10m N.A.P.), de gemiddelde golfhoogte nog ongeveer 62% van de gemiddelde golfhoogte op de meest zeewaartse locatie rond de 'Vlakte van de Raan', i.e. locatie Deurlo (waterdiepte -11m N.A.P.) (Gautier en van den Boomgaard, 2003).
- De golfhoogte vermindert van gemiddeld 1.47m ter hoogte van de meetlocatie Westhinder, over 1.27m ter hoogte van de meetlocatie Akkaert Zuid, naar 1.03m ter hoogte van de meetlocatie Bol van Heist, zoals blijkt uit de bijgevoegde roosgrafieken voor de periode 1977-2001 (Fig. 5.1, 5.2 en 5.3).
- Ook de golfhoogte die 1% van de tijd zal worden overschreden is, vergeleken met de meetlocatie Wielingen, slechts 72% van de golfhoogte voor de locatie Deurlo (Gautier en van den Boomgaard, 2003).

3.1.2. Invloed van de waterdiepte

- Theoretisch zal de golfhoogte lager zijn in ondiepere gedeeltes dan in dieper gelegen gedeeltes.
- De locaties Deurloo en Scheur-West liggen ongeveer even ver van de kust, op min of meer vergelijkbare diepte. Hun overschrijdingscurven van H_{m0} zijn logischer wijze dan ook bijna identiek. De meetlocatie Schouwenbank en Westhinder liggen het diepst en het verst op zee met duidelijk hogere golven waarneembaar dan voor de eerder vermelde meetlocaties (Gautier en van den Boomgaard, 2003).

3.1.3. Invloed van refractie

Het fenomeen refractie, waarbij afbuiging van de golfstralen optreedt bij het naderen van de kustlijn als gevolg van verschillen in waterdieptegolven, is eveneens waar te nemen aan de hand van de gemeten golfrichting op verschillende meetlocaties. Zo is ter hoogte van de meetpaal Westhinder de golfrichting voor $\pm 37\%$ uit de richting W-NW, terwijl bij Cadzand reeds meer dan de helft ($\pm 53\%$) van de tijd de golven uit de richting W-NW komen. Dit is niet verwonderlijk, aangezien dit de richting is die min of meer loodrecht op de kust bij Cadzand staat.

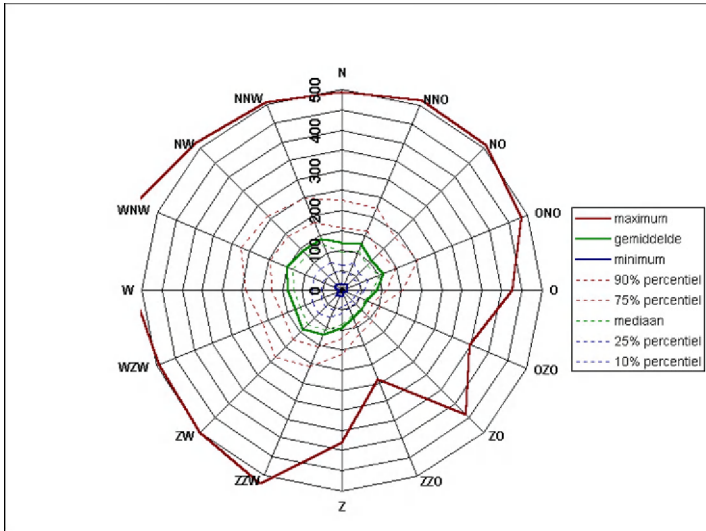


Fig. 5.1. Roosgrafiek Westhinder.

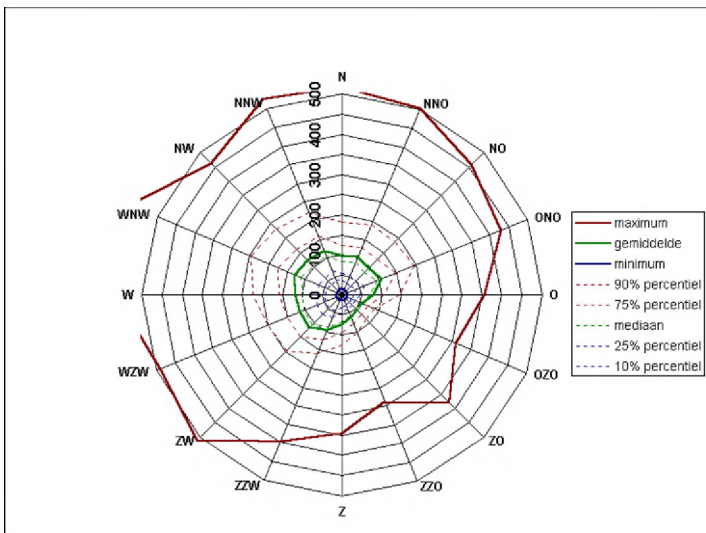


Fig. 5.2. Roosgrafiek Akkaert Zuid.

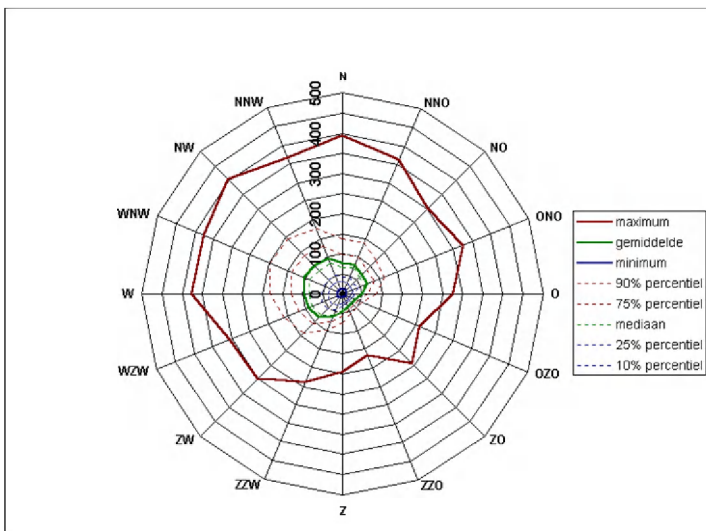


Fig. 5.3. Roosgrafiek Bol van Heist.

3.2 Metingen waterstand – getijmeting

Bij deze analyse wordt gebruik gemaakt van de meetlocaties op de Vlake van de Raan (VR) en bij Cadzand-Zuid (CADZ). Als karakteristieken van de waterstandmetingen kunnen per meetlocatie de volgende waarden bepaald worden:

- het minimum en maximum van de drie waterstandparameters (gemeten waterstand, astronomisch verwachte waterstand en opzet van de waterstand)
- het gemiddelde van de gemeten waterstandhoogte
- de waarden van de opzet van de waterstand met een overschrijdingskans van 0.1%, 1%, 5%, 10%, 50%, 90 %, 95 % en 99%.

Uit de resultaten is goed te zien dat de gemeten getijslag kleiner is en de astronomische verwachte waterstand lager is op de zeelocaties dan op de locaties op de Westerschelde zelf. Dit bevestigt natuurlijk het theoretisch reeds gekende bekkeneffect binnen een estuarium (trechterwerking).

Verder blijkt dat in de monding een vergroting van het getijverschil vastgesteld is van 4% per eeuw (Kornman *et al.*, 2000). Vermoed wordt dat de oorzaak hiervan ligt in een combinatie van de zeespiegelstijging, de werken die zijn uitgevoerd in het kader van het Deltaplan en/of de antropogene impact binnen het Westerschelde-estuarium.

3.3 Windregime

Als karakteristieken van de windmetingen worden per windmeetlocatie de volgende waarden bepaald:

- het maximum van de windsnelheid van de gehele meetperiode, met de daaraan gekoppelde windrichting.
- de waarden van de windsnelheid met een overschrijdingskans van 0.1%, 1%, 5%, 10%, en 50% voor de windsnelheid over de gehele meetperiode.

Uit de meetresultaten blijkt dat de windsnelheden opgemeten op de meest zeewaartse locaties significant hoger zijn dan deze dicht bij de kust. Zo bedraagt de gemiddelde windsnelheid voor de dominante windrichting ZW bij de Westhinder op volle zee het dubbele in vergelijking met deze opgemeten voor de locatie Meteostation Zeebrugge aan wal (Fig. 6.1 en 6.2).

Verder blijkt uit metingen dat de gemiddelde windsnelheden op de 'Vlake van de Raan' lager zijn dan op locaties meer naar het noorden. Bovendien is de afname van de windsnelheid richting kust sterker op deze locatie. Dit wordt verklaard door de oriëntatie van de kustlijn, die er voor zorgt dat de wind vanuit de belangrijkste zuidelijke en zuidwestelijke richtingen sterker wordt verstoord dan op de meer noordelijke (zeewaartse) locaties.

Op de 'Vlake van de Raan' zijn de richtingen Z-ZW en ZW-W het best vertegenwoordigd, ruim 40% van de tijd komt de wind uit deze hoek. Bovendien komen de hoogste windsnelheden uit deze richtingen. De oostelijke sector (90° - 135°) komt het minst voor. De helft van de tijd is de windsnelheid hoger dan 7.5m.s⁻¹, terwijl een windsnelheid van 20m.s⁻¹ voor 0.13% van de tijd wordt overschreden, gebaseerd op de halfuurswaarden van 1 januari 1998 tot 31 december 2000 (Gautier en van den Boomgaard, 2003).

Daarnaast is duidelijk te zien dat de windsnelheid op de 'Vlake van de Raan', in de aanloop van een storm, ruim hoger is dan de windsnelheid bij Vlissingen: het verschil loopt op tot 0.5m.s⁻¹. Deze lagere windsnelheid in de monding kan bij het opstellen van golfmodellen deels de onderschatting van de golfhoogte in de monding verklaren (Jacobse, 2003).

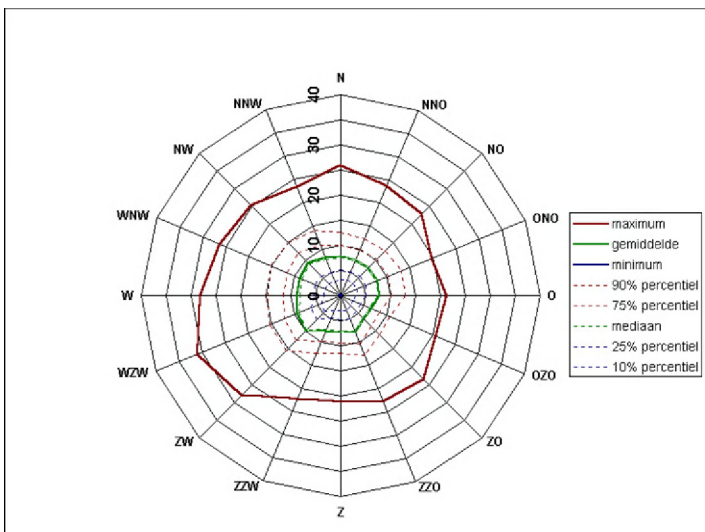


Fig. 6.1. Windroos Westhinder.

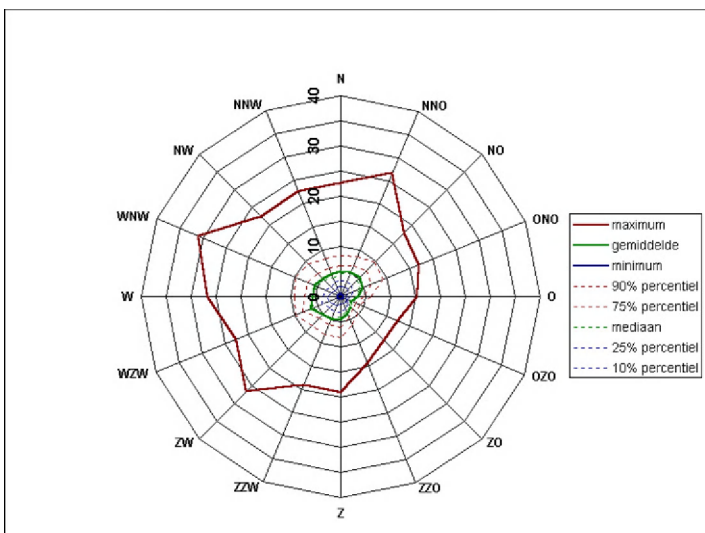


Fig. 6.2. Windroos Meteostation Zeebrugge.

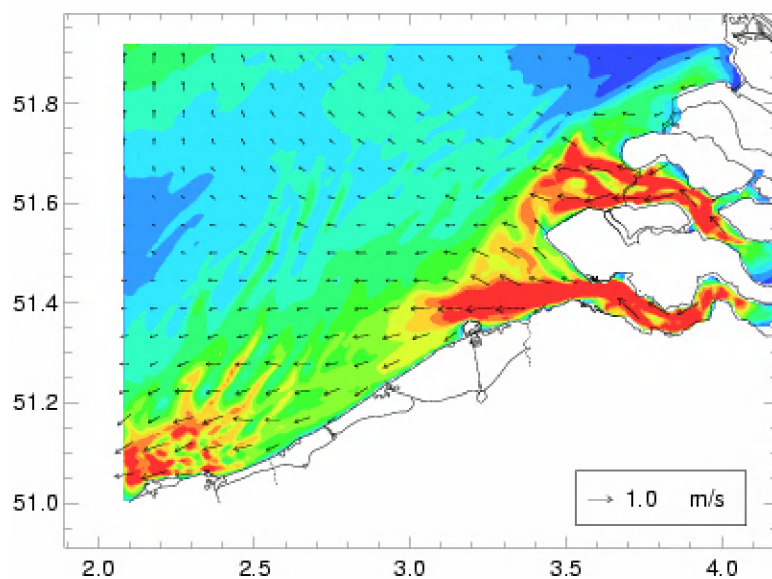
3.4 Stromingspatroon

De kennis van het stromingspatroon is niet alleen belangrijk voor de scheepvaart, maar vormt tevens de belangrijkste aandrijvende kracht voor het sedimenttransport. Dit laatste is immers evenredig met een vierde of vijfde macht van de stroomsnelheid, zodat een klein verschil in stroomsnelheid een aanzienlijk gewijzigd sedimenttransport kan veroorzaken. Zo zal bijvoorbeeld bij het verruimen van een geul de optredende stroomsnelheid beïnvloed worden. Deze veranderende stroming veroorzaakt op zijn beurt een wijziging in het sedimenttransport, wat uiteindelijk weer leidt tot een wijzigende bathymetrie. Zo ontstaat een continu interactief proces dat resulteert in een aangepaste evenwichtstoestand.

Ter hoogte van de 'Vlakte van de Raan' ontstaat de stroming in hoofdzaak door de getijdenbeweging. Bij vloed wordt het estuarium van de Westerschelde gevuld door de trechtervormige opening: het water wordt als het ware in het estuarium geduwd en er treden grote stroomsnelheden op. Uit onderstaande data, afgeleid van opgemeten stroomsnelheidsmetingen (Tabel III), blijkt duidelijk dat de gemiddelde stroomsnelheden bij springtij sterk variëren in de tijd. Verder blijkt ook dat de stroomsnelheden in de geul 'Scheur' beduidend hoger zijn dan deze op de 'Vlakte van de Raan' zelf (Consemulder, 2000).

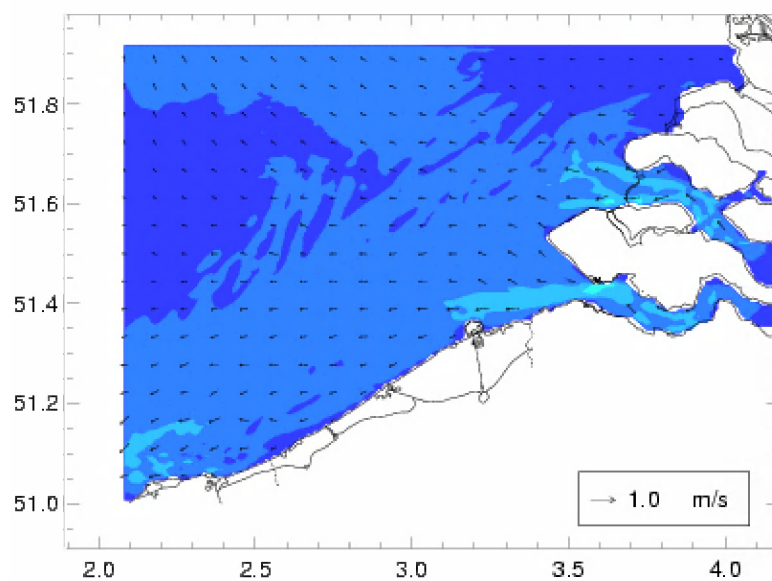
Tabel III. Gemiddelde stroomsnelheden tijdens springtij in cm.s^{-1} in de laag van 0 tot 5 m beneden het wateroppervlak.

Tijd t.o.v. hoog water	HW-6h	HW-4h	HW-2h	HW	HW+2h	HW+4h	HW+6h
Wielingen Cadzand	72	5	102	82	26	108	51
Oostgat Westkapelle	46	118	82	0	87	57	0
Vlakte van de Raan	57	62	77	46	72	41	36



Kracht en richting van de oppervlakte stromingen
07 september 2006 17:00 (UTC) / OPTOS-BCZ
(c) MUMM | BMM | UGMM 2006 <http://www.mumm.ac.be/>

Fig. 7. Kracht en richting van de stromingen bij eb aan het oppervlak (MUMM/BMM, 2006).



Kracht en richting van de bodem stromingen
07 september 2006 17:00 (UTC) / OPTOS-BCZ
(c) MUMM | BMM | UGMM 2006 <http://www.mumm.ac.be/>

Fig. 7. Kracht en richting van de stromingen bij eb tegen de bodem (rechts) (MUMM/BMM, 2006).

De opgemeten gegevens kunnen bijvoorbeeld worden gebruikt om mathematische, hydrodynamische en zelfs morfodynamische modellen op te stellen, zoals in Fig. 7.1 en 7.2 geïllustreerd wordt (MUMM/BMM, 2006). Uit dit laatste blijkt dat zowel de oppervlactestromingen als de bodemstromingen in hoofdzaak langs de geul 'Scheur' plaatsvinden. Met dergelijke modellen kan vanuit enkele singuliere tijdsopnamen (ter hoogte van de meetlocaties) aldus een volledig ruimtelijk beeld binnen het Noordzeegebied gegenereerd worden voor eenzelfde (tij)periode.

Zo bieden mathematische modellen een uitgebreide aanvulling bij de geregistreerde terreingegevens en vormen zij als één geheel een zeer handige beheersinstrument voor de Noordzee.

4. Hydrodynamica op de 'Vlakte van de Raan'

De 'Vlakte van de Raan' is gelegen tussen twee scheepvaartgeulen, de 'Wielingen' langs de kust van Zeeuws-Vlaanderen en het 'Oostgat' en de 'Sardijngeul' langs de kust van Walcheren (Fig. 8). Het is de grootste ondiepte in dit gebied, met een oppervlakte van ongeveer 5 x 15 km, die bij laagwater toch nog enkele meters onder het wateroppervlak blijft liggen. De diepteligging van de 'Vlakte van de Raan' varieert van -1.2m GLLWS in het zuiden tot -5m GLLWS in het westen (Zeekaart D11 Noordzee - Vlaamse Banken; MD&K - Afdeling Kust, 2006).

De 'Vlakte van de Raan' maakt deel uit van een groter deelsysteem in het mondingsgebied van de Westerschelde. Dit mondingsgebied bevat naast de 'Vlakte van de Raan', de 'Droogte van Schooneveld' en de geulen 'Spleet', 'Geul van de Walvischstaart' en de 'Deurloo-West'. Aan de noordwest rand wordt het gebied begrensd door de Noordzee (-20m NAP lijn).

De 'Vlakte van de Raan' en de geulen 'Deurloo-West' en 'Walvischstaart' bleven in de laatste 30 jaar morfologisch vrij stabiel. Deze laatste twee geulen zijn in noordwestelijke richting gemigreerd door de splitsing van de 'Deurloo'. De grootste veranderingen van de geulen traden op in de 19^{de} eeuw en in het begin de 20^{ste} eeuw (Kornman, 2000).

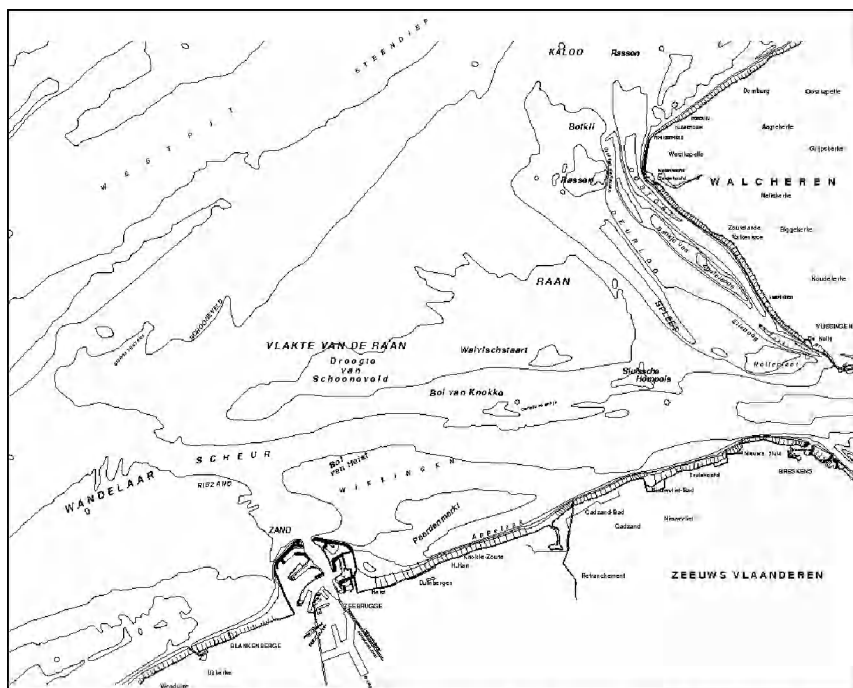


Fig. 8. Overzichtskartaal van het mondingsgebied van de Westerschelde.

De Westerscheldemonding vertoont over het algemeen grote overeenkomsten met het algemene beeld van de morfologie van een buitendelta. De 'Scheur/Wielingen' is als duidelijke hoofdgeul aanwezig en heeft een OW oriëntatie. Een andere belangrijke geul is het 'Oostgat', alhoewel ze qua getijvolume kleiner is dan de 'Scheur/Wielingen'. Het 'Oostgat' vervult een kortsluitfunctie tussen de Westerschelde en de Noordzee. Aan de westzijde van het 'Oostgat' bevinden zich de 'Geul van de Rassen' en de 'Deurloo-Oost'. Deze twee geulen worden van het 'Oostgat' gescheiden door het 'Bankje van Zoutelande'. De getijvolumes en het eb- en vloeddebiet, gemeten ter hoogte van Dishoek, worden gegeven in Table IV (Hordijk, 2002).

Tabel IV. Getijvolumes herleid naar gemiddeld jaarlijks getij (Meetdienst Zeeland, 1998).

	Ebvolume (x 10 ⁶ m ³)	Vloedvolume (x 10 ⁶ m ³)	Q _{max} (Eb) (x 10 ⁶ m ³)	Q _{max} (Vloed) (x 10 ⁶ m ³)
Oostgat	127.5	185.4	9.6	9.6
Deurloo-Oost	196.6	180.9	15.2	14.5
Wielingen	1003.0	996.3	68.1	92.5

De huidige 'Spleet' is het restant van de oude, omvangrijkere geul. Door het verdiepen van de 'Wielingen' is de 'Spleet' minder stroom gaan trekken en is de geul sterk afgenomen in omvang. De stroomtrekkende functie is nu overgenomen door de 'Scheur'.

Voor zover gesproken kan worden over een meergeulenstelsel in de 'Raan' ('Scheur/Wielingen' en 'Spleet'), neigt dit deel van het systeem recent naar een één-geulstelsel door de teloorgang van de 'Spleet'. De functie van het bankengebied de 'Raan' als golfbreker is erg belangrijk voor de achterliggende kusten en de ingang van de Westerschelde. De 'Raan' vormt als het ware een buffer tussen het zeeklimaat en de trechtermond van het Westerschelde-estuarium en tempert dan ook het invallend hydrodynamisch patroon (golf & stroming). Over het platengebied is echter geen dominante stroomrichting aanwezig.

De 'Vlakte van de Raan', met de bijhorende geulen, bleef de laatste decennia een stabiel gebied. De belangrijkste veranderingen treden op in de zuidwestelijke punt en zijn het gevolg van stortingen in dat gebied. De stroomtrekkende functie van de 'Spleet' is overgenomen door de verdiepte 'Scheur/Wielingen'. De geul 'Scheur-Wielingen' is eb gedomineerd (Kornman *et al.*, 2000). Modelberekeningen geven een vervroeging van het getij bij Vlissingen van 25 seconden per 10 jaar ten gevolge van de verdieping van de 'Scheur/Wielingen'. Dit komt overeen met de gemeten gegevens, een vervroeging van het getij bij Vlissingen van ca. 2 minuten sinds 1971/1972 (Blik, 1997).

De hydrodynamica op de 'Vlakte van de Raan' wordt dus duidelijk gedomineerd door de sterke dynamiek van enerzijds het estuarium van de Westerschelde en het stromingspatroon van de Noordzee, zoals ook blijkt uit Fig. 7 van de waterstand en de kracht en richting van de stromingen.

Referenties

- MD&K - Afdeling Kust, Vlaamse Hydrografie (2006). Zeekaart D11 Noordzee Vlaamse Banken Van Gravelines tot Oostkapelle, uitgave juni 2006.
- Blik B. (1997). Getijanalyse Westerscheldemond. Studie in opdracht van het RIKZ als onderdeel van het onderzoeksproject K2000*KOP van het onderzoeksprogramma KUST*2000. Svašek Hydraulics.
- Consemulder J. (2000). Beperkte toestandbeschrijving van de monding van de Westerschelde (KTS Voordelta), Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ.

- Gautier C. en van den Boomgaard M. (2003). Rapportage veldmetingen Westerschelde september 1997 t.e.m. december 2002. Svašek Hydraulics.
- Hordijk D. (2002). Geulwandsuppletie Oostgat Westerschelde – Voorstudie. M. Sc. Thesis, TU Delft.
- Jacobse S. (2003). Evaluatie van de ontwerpwaarden voor golfcondities in de Westerschelde. Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ.
- Kornman B., Arends A. en Dunsbergen D. (2000). Westerscheldemonnd 1970 – 2020: Een morfologische blik op de toekomst. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ.
- Meetdienst Zeeland (1998). Debietmeting Westerscheldemonnd.
- MUMM/BMM (2006). Hydrodynamisch Model, Beheerseenheid van het Mathematisch Model van de Noordzee en het Schelde-estuarium.

GEOLOGIE EN SEDIMENTOLOGIE VAN HET WESTERSCHELDE-MONDINGSGBIED

Isabel Du Four¹, Kristien Schelfaut¹, Sytze Vanheteren², Thaiënne Van Dijk² en Vera Van Lancker¹

¹ Renard Center voor Mariene Geologie (RCMG), Vakgroep Geologie en Bodemkunde, Universiteit Gent, Krijgslaan 281/S8, B-9000 Gent, België. E-mail: isabelle.dufour@ugent.be

² Geological Survey of the Netherlands, TNO Bouw en ondergrond, Princetonlaan 6, Postbus 80015, 3508 TA Utrecht, Nederland

Samenvatting

Het Westerscheldemondingsgebied is zeer complex wat betreft de geologie en sedimentologie. Het Brabantmassief vormt de paleozoïsche sokkel, die pas vanaf het Late Krijt werd overspoeld, en waarop later een serie van paleocene, pleistocene en holocene sedimenten werden afgezet. Op sommige plaatsen is het quaternaire dek minder dan 2.5m dik, waardoor resistente tertiaire lagen dagzomen en kunnen eroderen. Deze resistente geologische lagen kunnen de morfologische ontwikkelingen van een gebied sterk vertragen. De samenstelling van de bodemsedimenten in het Westerscheldemondingsgebied is zeer heterogeen. Deels is dit te wijten aan de natuurlijke omgeving waarin het zich bevindt, maar ook de mens beïnvloedt dit gebied sterk door onder meer bagger- en stortactiviteiten. Zowel zandige sedimenten als slib komen onder verschillende vormen voor.

1. Inleiding

De Westerscheldemonding is een – op geologische tijdschaal – dynamisch gebied met bijzondere ecologische en kustmorfologische waarden, welke beïnvloed worden door de geologie en de sedimentologie van zowel de zeebodem als de ondergrond. De morfologische evolutie van de Westerscheldemonding is belangrijk voor mariene ecologie, maar ook voor bijvoorbeeld veilige scheepvaart.

Het Westerscheldemondingsgebied wordt vanuit morfologisch standpunt gesitueerd tussen de kust van Walcheren en Zeeuws-Vlaanderen (Fig. 1). De oostgrens wordt gevormd door de lijn Breskens-Vlissingen, die tevens vanuit geografisch oogpunt de monding van de Westerschelde voorstelt. Meer naar het noordwesten toe, wordt het gebied begrensd door de kust van Walcheren tussen Westkapelle en Vlissingen. Het gebied wordt in het noordoosten begrensd door de 'Domburger Rassen', de natuurlijke scheiding tussen het Ooster- en Westerscheldegebied. De kust van Zeeuws-Vlaanderen tot aan Blankenberge vormt de meest zuidelijke grens. Het meest westelijke punt wordt gevormd door de 'Droogte van Schooneveld'. De noordwestelijke grens van het studiegebied wordt in Nederlandse studies vastgelegd op de -20m NAP lijn (Van der Slikke, 1999). Omwille van het verschil in de gehanteerde referentievlakken tussen Nederland en België, wordt voor de huidige synthese de -20m GLLWS lijn gehanteerd als de meest noordwestelijke begrenzing van het mondingsgebied.

Binnen het mondingsgebied lopen twee belangrijke scheepvaartgeulen: de 'Wielingen' langs de kust van Zeeuws-Vlaanderen, die naar het oosten toe overgaat in de 'Scheur-Oost', en het 'Oostgat', overgaand in de 'Sardijngeul' langs de kust van Walcheren (Fig.1). Daarnaast zijn er verschillende stortplaatsen voor gebaggerd materiaal, afkomstig uit de vaargeulen en de haven van Zeebrugge: S1, S2, Zeebrugge-Oost (Z&BO), S3 en R4. De twee laatste worden enkel gebruikt in geval van nood.

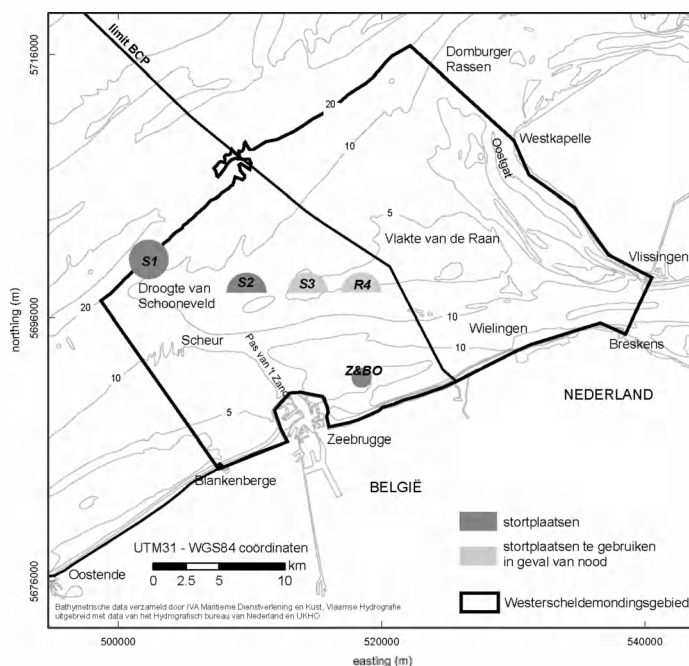


Fig. 1. Situering van het Westerscheldemondingsgebied.

Dit artikel beschrijft in een eerste deel de geologie en in een tweede deel de sedimentologie van de Westerscheldemonding, ten einde het effect van de geologie op de kustevolutie te kunnen verklaren.

2. Geologie

De grootschalige bodembewegingen in het gebied bestaan enerzijds uit een langzame daling van de Noordzeebodem en anderzijds uit een geleidelijke stijging van het 'Massief van Brabant' (De Mulder *et al.*, 2003). Het Brabantmassief vormt de paleozoïsche sokkel, die pas vanaf het Late Krijt werd overspoeld en waarop later een serie van paleocene, pleistocene en holocene sedimenten zijn afgezet (Le Bot *et al.*, 2003, 2005) (Fig. 2).

In dit deel wordt een overzicht gegeven van de verschillende belangrijke geologische lagen. Vooraf worden de technieken aangegeven, die toelaten de geologische gesteldheid te doorgronden.

2.1. Meettechnieken en data

De studie van de geologische lagen gebeurt door middel van verschillende technieken. *Seismische instrumenten* worden aangewend om de distributie en de interne structuur van de geologische lagen te bepalen. Zij maken gebruik van de voortplanting van geluidsgolven in de zeebodem, die weerkaatst worden als er een akoestisch impedantiecontrast aanwezig is. Dit wordt geïnduceerd door een contrast in compactheid, interne patronen en/of het type sediment of steen.

Sinds 1978, heeft het Renard Centre of Marine Geology (RCMG) aan de hand van verschillende seismische technieken een dichts raster van seismische lijnen op het Belgisch Continentaal Plat (BCP) opgebouwd. Voor het Nederlandse gedeelte van de Westerscheldemonding heeft de toenmalige Rijks Geologische Dienst, in samenwerking met Rijkswaterstaat-Directie Noordzee en Directie Zeeland, tussen 1968 en 1991 seismische data opgenomen (Ebbing *et al.*, 1992) en recenter in 1996 (Van der Spek *et al.*, 1997) en 2006 voor de 'Vlakte van de Raan'.

CENOZOÏCUM	QUARTAIR		Neogeen	Holoceen	
	(TERTIAIR)	Paleogeen		Pleistoceen	Weichseliaan Eemiaan Saaliaan Eburoniaan Tigliaan Praetigliaan
				Pliocene	
				Mioceen	
MESOZOÏCUM	Krijt	Paleogeen	Oligoceen		
			Eoceen		
			Paleoceen		
PALEOZOÏCUM	Jura				
	Trias				

Fig. 2. Geologische tijdschaal (naar Gradstein *et al.*, 2005).

Seismische profielen van de ondergrond geven continue informatie langsheen een lijn en worden geëvalueerd met *boorkernen*, die een 1D verticaal beeld geven van de opbouw van de verschillende geologische lagen. Er zijn in totaal 324 boringen genomen in de Westerscheldemonding. Daarnaast worden ook *penetrometertesten* uitgevoerd ter evaluatie van de seismische resultaten. Zij verschaffen kwantitatieve data over de draagkracht van de verschillende lagen, waardoor naast de aard, ook de stratificatie en de dikte van de geologische lagen kunnen bepaald worden. Hierbij wordt een kegelvormige schacht in de grond geduwd en vervolgens wordt de draagkracht gemeten. Deze testen werden echter hoofdzakelijk op land uitgevoerd, met uitzondering van enkele metingen in de buurt van de haven van Zeebrugge (Depret, 1981).

2.2. Tertiaire afzettingen

De tertiaire afzettingen in het Westerscheldemondingsgebied zijn gedefiniëerd door De Batist (1989) en Ebbing *et al.* (1992) (Fig. 3). De tertiaire afzettingen duiken onder een zwakke hoek naar het noordoosten, wat resulteert in het onderduiken van jongere strata onder de sub-horizontale basis van de quartaire afzettingen naar het noordoosten toe (Fig. 4) (Le Bot *et al.*, 2003). De formaties variëren in ouderdom van het Midden-Eoceen tot het Boven-Pliocene en bestaan uit verschillende sedimenten. De oudste tertiaire sedimenten bestaan uit zandige klei, vervolgens wordt zowel klei, kleig zand als zand aangetroffen. Op de grens van België en Nederland komt de formatie van Zelzate voor, die gekenmerkt wordt door een alternatie van zand en klei. Deze wordt opgevolgd door de Boomse kleien en de zandige sedimenten van de jongste formatie, die van Brielle (Fig. 5, Tabel I). De dikte van de paleogene afzettingen verschilt sterk van eenheid tot eenheid, maar is vrij constant binnen eenzelfde eenheid. De diepte van de afzettingen, die varieert van 10 tot 30m in het studiegebied, toont min of meer de morfologie van het tertiaire oppervlak en markeert de overgang tussen het Paleoceen en het Pleistoceen/Holoceen (Fig. 6). Het oppervlak bestaat uit *cuestas*'s, uitgeschuurde valleien, hellingsbreuken, glooiingen en paleovalleien (Liu *et al.*, 1992).

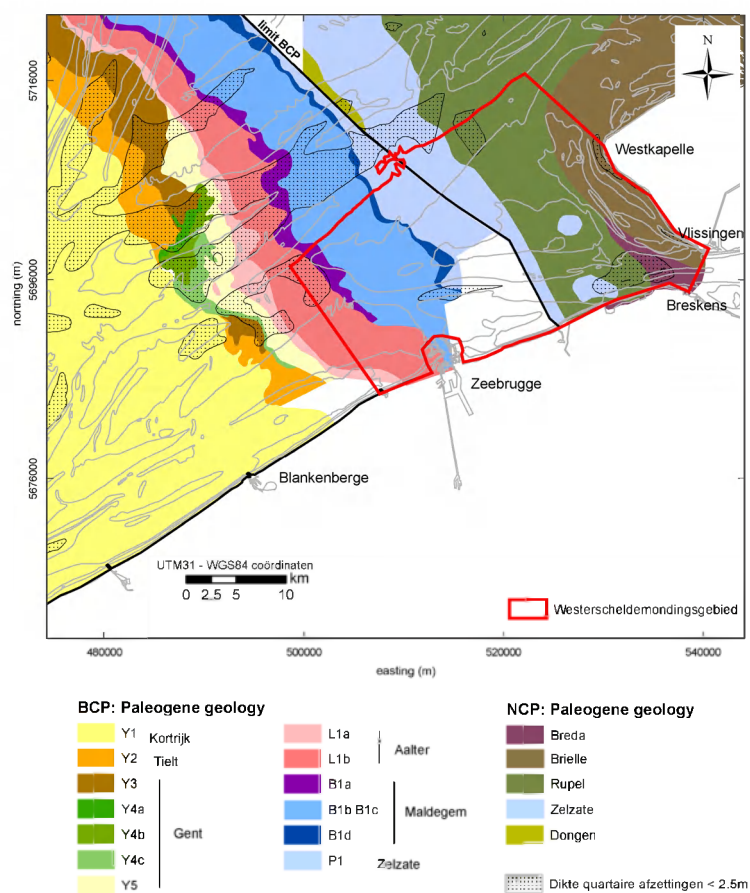


Fig. 3. Voorkomen van tertiaire afzettingen (Le Bot *et al.*, 2003) (BCP data: compilatie naar Maréchal *et al.*, 1986; De Batist, 1989; De Batist en Henriët, 1995. NCP data: Ebbing *et al.*, 1992). Ten oosten van Zeebrugge, in de kustzone van het Belgisch Continentaal Plat, zijn geen betrouwbare data beschikbaar door de ophoping van methaangas.

Tabel I. Naamgeving en lithologische eigenschappen van de paleogene eenheden. Synthese van de beschikbare data (Le Bot *et al.*, 2003; Ebbing *et al.*, 1992).

Seismische eenheid	Formatie	Geologisch tijdperk	Lithologie	Dikte (m)
BCP				
L1a	Aalter	Midden-Eoceen	Grijs-groen gebioturbeerde glauconiethoudend kleig fijn zand	25-30
L1b	Aalter	Midden-Eoceen	Zeer stijve tot hard siltig tot zandige klei met zandige delen	25-30
B1a	Maldegem	Midden-Eoceen	Grijs glauconiethoudend licht kleig fijn zand met zandstenen	45-60
B1b/c	Maldegem	Midden-Eoceen	Klei/ zandige klei / kleig zand (met bioturbatie)	45-60
B1d	Maldegem	Midden-Eoceen	Stijve tot zeer harde klei met verscheidene hoeveelheden zand	45-60
P1	Zelzate	Boven-Eoceen	Stijf en lichtjes zandig, groen-grijze klei	40-90
NCP				
	Breda	Mioceen	Glauconiethoudend zand	tot 70
	Brielle	Boven-Pliocene	Uiterst tot matig fijn zand met schelpen en glauconiet	<1 tot 60
	Rupel	Oligoceen	Boomse klei met een variërend aantal zandlagen	tot 60
	Zelzate	Boven-Eoceen	Glauconiet- en micohoudend uiterst tot matig fijn siltig zand, plaatselijk zand	tot 125
	Dongen	Midden-Eoceen	Klakhoudende kleien met ingeschakelde zandsteenopeenvolgingen	tot 60

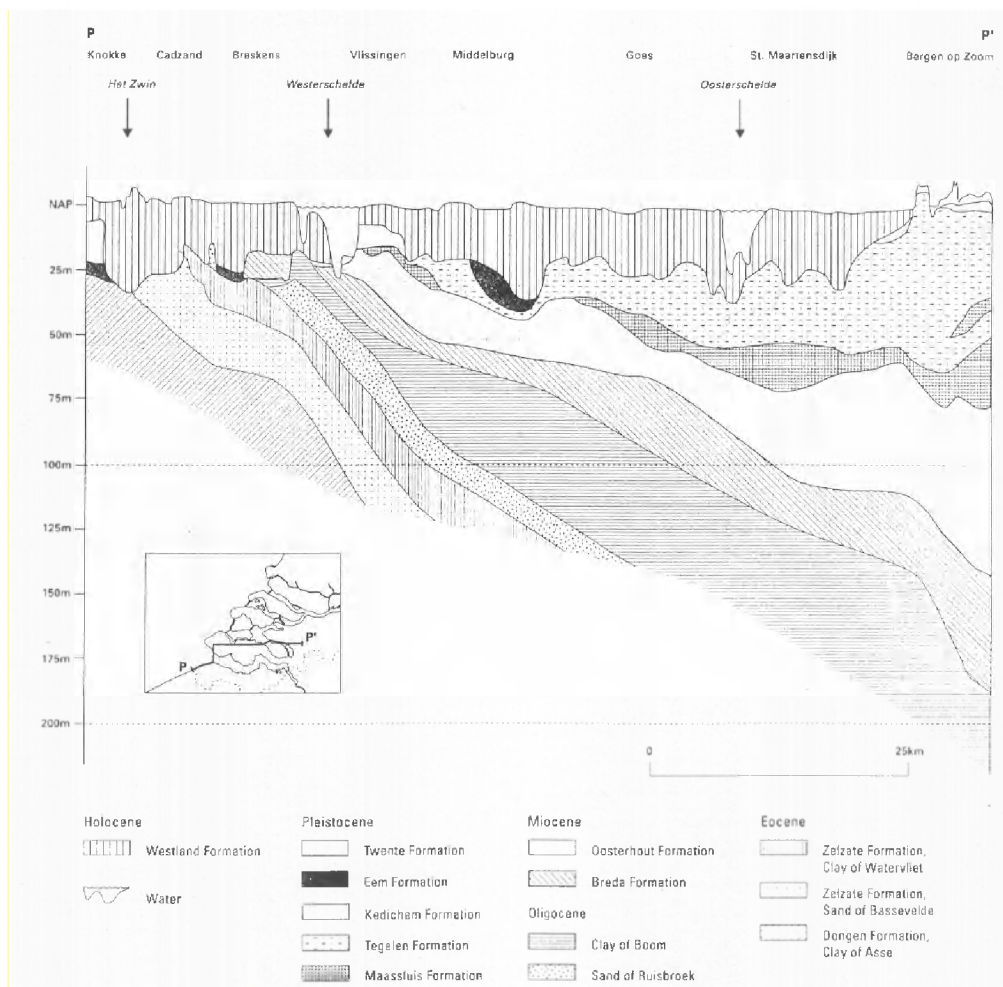


Fig. 4. Dwarsdoorsnede door de tertiaire en pleistocene afzettingen in Zeeland van Knokke naar Bergen op Zoom (uit: Vos en van Heeringen, 1997). De dwarsdoorsnede laat zien hoe de genoemde lagen in noordoostelijke richting wegduiken.

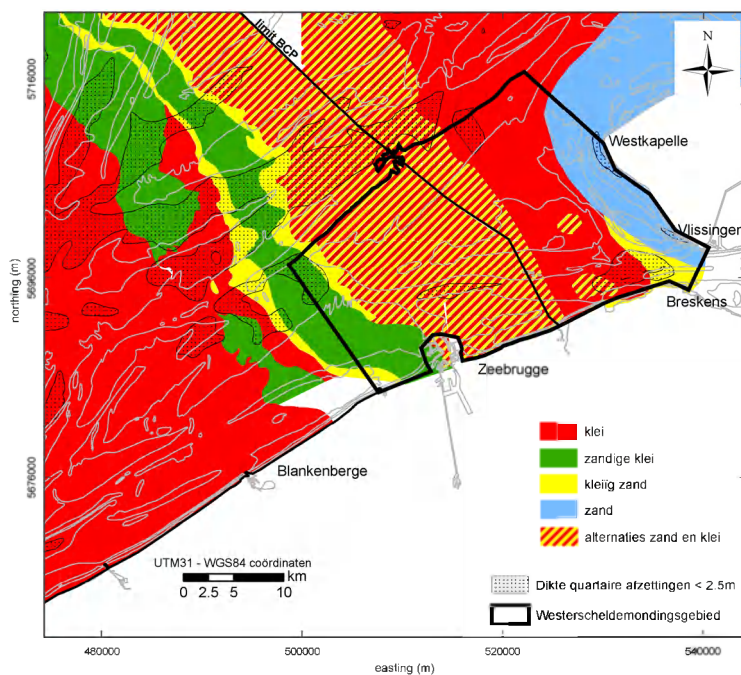


Fig. 5. Distributie van klei en zand in de paleogene afzettingen.

Aan Nederlandse kant wordt eerst een band van siltig zand aangetroffen, waarna de kleiband – genaamd de Boomse klei – opnieuw opduikt. Tegen de Nederlandse kust wordt zand aangetroffen (Fig. 5, Tabel I). De dikte van de paleogene afzettingen verschilt sterk van eenheid tot eenheid, maar is vrij constant binnen eenzelfde eenheid. De diepte van de afzettingen, die varieert van 10 tot 30m in het studiegebied, toont min of meer de morfologie van het tertiaire oppervlak en markeert de overgang tussen het Paleoceen en het Pleistoceen/Holoceen (Fig. 6). Het oppervlak bestaat uit *cuestas*'s, uitgeschuurde valleien, hellingsbreuken, glooiingen en paleovalleien (Liu *et al.*, 1992).

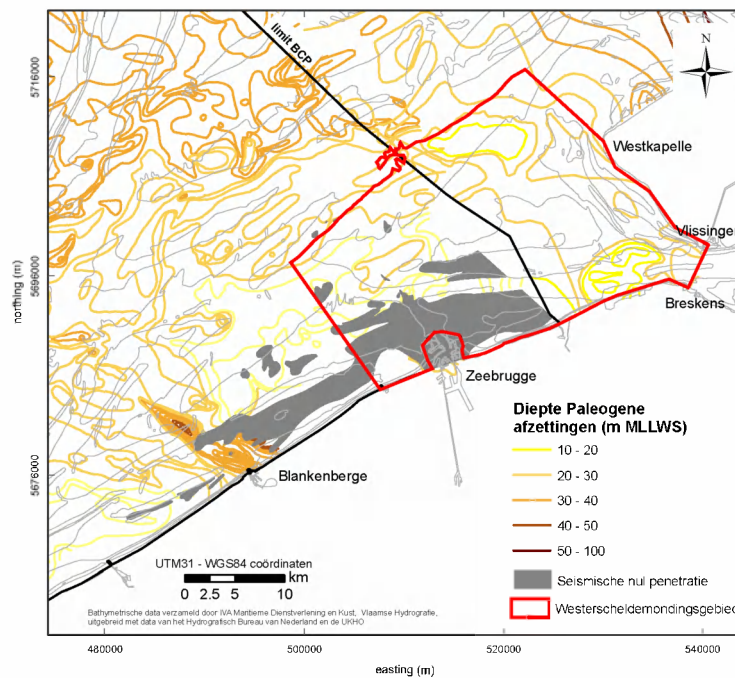


Fig. 6. Dieptelijnen van het transitievlak tussen de tertiaire en quartaire afzettingen (Liu, 1990).

2.3. Quartaire afzettingen

De quartaire afzettingen zijn jongere, niet-gecementeerde sedimenten. Een deel van hen zijn relict, maar het overgrote deel is mobiel onder de huidige getijdenstromingen. Het Quartair wordt gekarakteriseerd door een, zowel lateraal als verticaal, heterogene en complexe sedimentsamenstelling. Deze sedimenten bestaan uit zand met sporadische schelpen. Echter, op de 'Vlakte van de Raan' en in de omgeving van Zeebrugge komen veel klei, klei-zand alternaties en veeninsluitels voor (Le Bot *et al.*, 2003, 2005). De belangrijkste afzettingen zijn pleistocene opvullingen van valleien, uitgeschuurd in de paleogene ondergrond, en holocene getijdenzandbanken.

De dikte van de quartaire afzettingen varieert tussen 0 tot 10m. Op verschillende plaatsen in de Westerscheldemonding is het quartaire dek minder dan 2.5m dik (Maréchal en Henriët, 1983; Maréchal *et al.*, 1986; Ebbing *et al.*, 1992), waardoor meer resistente tertiaire sedimenten aan het oppervlak komen (Fig. 7). Een van deze lagen is de Boomse klei (Formatie van Rupel), die door de 'Wielingen' ten noorden van Zeeuws-Vlaanderen wordt aangesneden (Van der Spek *et al.*, 1997). De Boomse klei bemoeilijkt de westwaartse en noordelijke migratie van de diepere delen van de 'Wielingen'. Ook in het Belgisch deel van de 'Wielingen' zijn tertiaire afzettingen aangetroffen (Haecon, 1997 in Haecon 1999). Dit betekent dat resistente geologische lagen de morfologische ontwikkelingen van een gebied sterk kunnen vertragen.

Het is echter, volgens Van der Spek *et al.* (1997), niet waarschijnlijk dat de geologische ondergrond de morfologische ontwikkelingen stuurt. Wel kan de geologische ondergrond de snelheid van de morfologische veranderingen beïnvloeden. In 'Scheur-Oost' wordt een opeenvolging aangetroffen van klei, en zand met klei. De bovenste twee lagen zijn beide ongeveer 3m dik. In oostelijke richting neemt de dikte van het bovenste kleipakket af en komt het dieper te liggen. In 'Scheur-West' liggen de oudere kleilagen op grotere diepte (persoonlijke commentaar R. Adams, Haecan, geciteerd in Van der Slikke, 1999). Langs de zuidwestkust van Walcheren komt ook een resistente ondergrond voor, waardoor de ontwikkeling van diepere delen van het 'Oostgat' kan vertraagd worden.

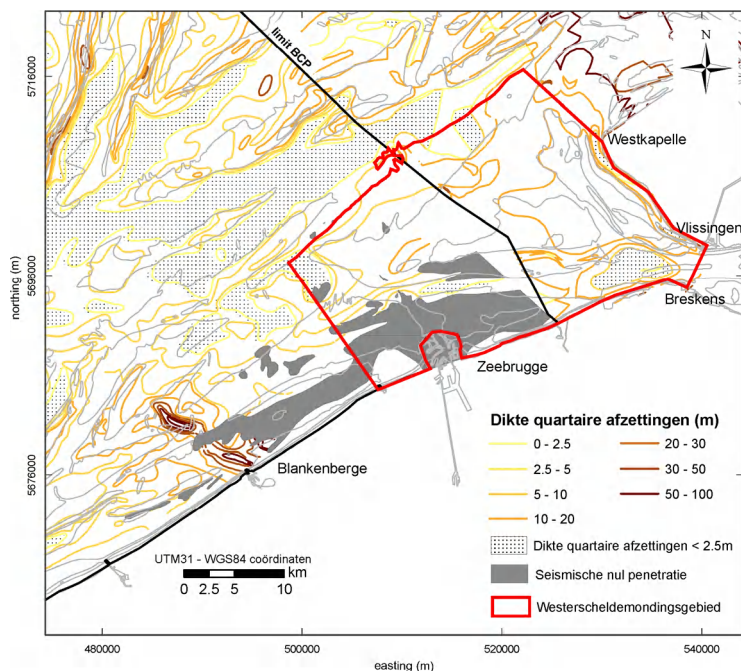


Fig. 7. Dikte van de quartaire sedimenten, met aanduiding van de plaatsen waar de dikte van het quartaire dek minder is dan 2.5m (BCP data: Liu, 1990. NCP: Ebbing *et al.*, 1992).

2.3.1. Pleistocene afzettingen

Het Pleistoceen (< 10 000 jaar) werd gekenmerkt door een opeenvolging van glaciale (ijstijden) en interglaciale. Gedurende de glaciale trad een sterke daling van de zeespiegel op, ten gevolge van het ontstaan van gletsjers op het noordelijk halfrond. Hierdoor viel een groot deel van de Noordzee droog en domineerde een sterke winderosie. Gedurende interglaciale werden grote hoeveelheden sediment aangevoerd door de belangrijkste rivieren.

De oudste voorkomende quartaire afzettingen zijn erosieresten van mariene afzettingen uit het Onder-Pleistoceen (Ebbing *et al.*, 1992). Na een langdurig hiaat in de sedimentatie, vond pas tijdens het Laat-Saalian of het Vroeg-Eemian hernieuwde sedimentatie plaats. Hier ging een periode van erosie aan vooraf, tijdens welke de bovengenoemde afzettingen uit het Onder-Pleistoceen grotendeels verdwenen. Plaatselijk zijn deze sedimenten herwerkt en vormen ze nu de basis van de Eem Formatie (Fig. 8). Er zijn sterke aanwijzingen dat de sedimentatie tijdens het Eemian terrasgewijs plaatsvond. Met name in België is geconstateerd dat de sedimentatie per terras eindigde met wadafzettingen. Deze afzettingen worden gekarakteriseerd door fijn tot zeer grof zand met weinig tot zeer veel schelpen en grind en met plaatselijk kleilagen of – laminae. Deze hardere afzettingen kunnen tevens de morfologische ontwikkelingen in het gebied afremmen.

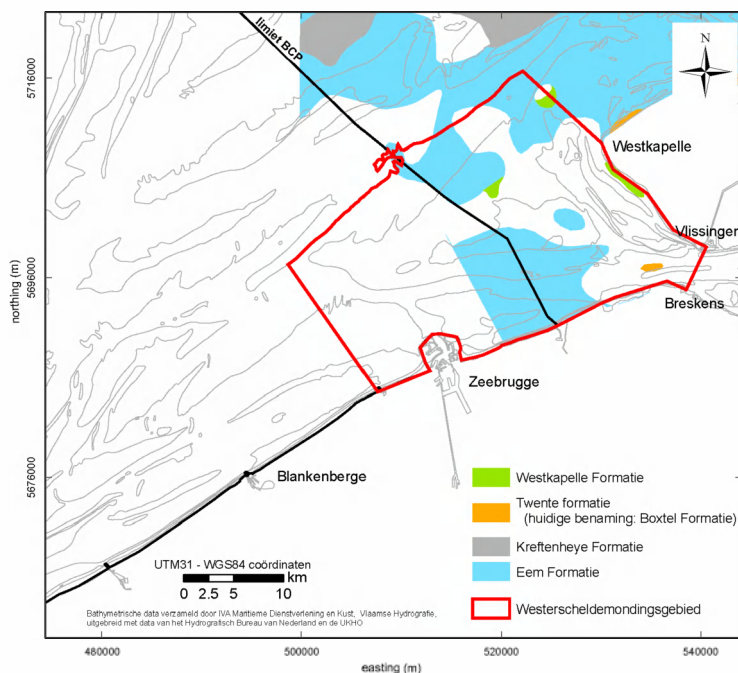


Fig. 8. Voorkomen van pleistocene afzettingen (Ebbing *et al.*, 1992).

Het Pleistoceen eindigde met eolische afzettingen behorende tot de Twente Formatie (tegenwoordig is dit de Bostel Formatie – Rijdsijk *et al.*, 2005), maar slechts in een tweetal boringen in de mond van de Westerschelde werden deze sedimenten aangetroffen. Waarschijnlijk hebben Belgische rivieren aan het eind van het Pleistoceen en het begin van het Holoceen een groot deel van deze afzettingen opgeruimd (Ebbing *et al.*, 1992).

2.3.2. Holocene afzettingen

Het Holoceen begon 10 000 jaar geleden en stelt de huidige interglaciale periode voor. De ontwikkeling tijdens deze periode werd in sterke mate bepaald door de zeespiegelstijging, veroorzaakt door het smelten van de landijskappen. Hierdoor kwam de kustvlakte geleidelijk onder water te staan. In het landwaardse gedeelte van de kustvlakte ontstond er een moerasvegetatie, waardoor er zich een veenpakket ontwikkelde (Baeteman en Van Strijdonck, 1989).

In het meest zeewaartse gebied zijn de pleistocene afzettingen bijna volledig geërodeerd (Baeteman en Denys, 1997) en/of herwerkt tot getijgeïnduceerde wadafzettingen, estuariene zandplaten en strandafzettingen. In de meest ondiepe plaatsen werd door de veranderde condities de groei van veen geïnduceerd, elders onstonden schorren en slikken. De bacteriële afbraak van het organisch materiaal van veenresten is hoogstwaarschijnlijk verantwoordelijk voor de vorming van methaangas. Offshore heeft de aanwezigheid van dit gas als gevolg dat het akoestische signaal van seismische bronnen niet ver in de bodem doordringt. Deze zone van seismische nulpenetratie is aangeduid op de kaarten.

Tenslotte, gedurende het laatste deel van het Holoceen, leidde een herhaaldelijke herwerking en verplaatsing van het fijne materiaal tot een afzetting van zand, dat later deelnam aan de opbouw van de zandbanken. Het werd ook door de werking van de recente getijdenstromingen omgevormd tot planaire afzettingen, kleine en grote bodemvormen (Eisma en Kalf, 1979). De Holocene sedimenten bestaan hoofdzakelijk uit mariene en kustzanden, maar ook grind, klei en veen komen voor. Kleirijke afzettingen en veenresten kunnen door het gewicht van de bovenliggende lagen ontwaterd en geconsolideerd zijn.

3. Sedimentologie

De sedimentologie van de Belgische kustzone werd in het verleden door verschillende onderzoeken in kaart gebracht (Van Mierlo, 1899; Van Veen, 1936; Houbolt, 1968; Bastin, 1974; MOW, 1976-1982; MOW, 1984-1986; Ceuleneer en Lauwaert, 1987; Rijks Geologische Dienst en Belgische Geologische Dienst, 1990). Recente kaarten van de mediane korrelgrootte en de slib/kleifractie werden aangemaakt in het kader van het MAREBASSE project¹ (Van Lancker et al., 2006) (Fig. 9). Deze kwamen tot stand door de sedimentdataset (sedisurf@database, sedert 1976 aangemaakt door het RCMG – Universiteit Gent) te interpoleren, gestuurd door de variatie van een bathymetrisch digitaal terreinmodel (Verfaillie et al., in press). Voor het Westerscheldemondingsgebied werd deze dataset aangevuld met sedimentdata van de Nederlandse organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek (TNO).

De samenstelling van de bodemsedimenten in het Westerscheldemondingsgebied is zeer heterogeen. Deels is dit te wijten aan de natuurlijke omgeving waarin het zich bevindt, maar ook de mens beïnvloedt dit gebied sterk door onder meer bagger- en stortactiviteiten (Fig. 9). Zowel zandige sedimenten als slib komen voor en worden respectievelijk besproken.

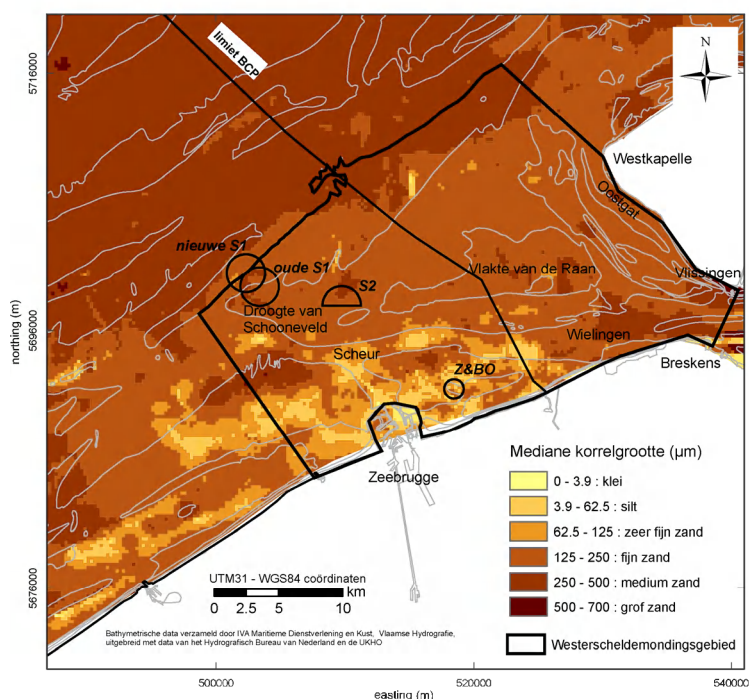


Fig. 9. Mediane korrelgroottekaart, aangemaakt op basis van een interpolatie van de sedimentdataset (sedisurf@database, sedert 1976 aangemaakt door het RCMG – Universiteit Gent), aangevuld met sedimentdata van TNO, en gestuurd door de variatie van een bathymetrisch digitaal terreinmodel (Verfaillie et al., in press).

¹ MAREBASSE, *Management, Research and Budgeting of Aggregates in Shelf Seas related to End-users*. [Beleid, onderzoek en budgettering van aggregaten in continentale zeeën in relatie tot eindgebruikers]. Federaal Wetenschapsbeleid, PODO II (2002-2006).

3.1. Zandige sedimenten

De mediane korrelgroottekaart toont aan dat de 'Vlakte van de Raan' en de ondieptes en geulen, gelegen in het zuidwestelijk deel van de Westerscheldemonding, hoofdzakelijk worden gekarakteriseerd door fijn zand (Fig. 9). Dit is een gevolg van de omwerking en uitwassing door de hier brekende golven. Op de 'Droogte van Schoneveld' wordt fijn tot medium zand aangetroffen (BMM en AWZ, 1993; Du Four en Van Lancker, in voorbereiding) (Fig. 8). Het gebied omvat de loswallen S2 en de oude loswal S1, die in 1999 werd gesloten wegens het bereiken van zijn maximale capaciteit en vervolgens verplaatst werd naar het noordwesten. De loswal Zeebrugge-Oost (Z&BO) wordt gekarakteriseerd door fijn zand en slibhoudend zand (BMM en AWZ, 1993) (Fig. 9). Nochtans wordt de gestorte baggerspecie gekenmerkt door een vrij hoog slibgehalte (BMM en AWZ, 1993). Het zandige karakter van de stortplaatsen wordt verklaard door het optreden van een hydraulisch scheidingsmechanisme gedurende de stortactiviteiten (Malherbe, 1991; Van Parijs *et al.*, 2002). Dit mechanisme veroorzaakt een scheiding tussen de zandfractie, die overwegend achterblijft op de stortplaats, en de slibfractie, die meegevoerd wordt door de stromingen. Metingen, uitgevoerd door Haecon (1994), tonen aan dat 80 - 90% van het gestorte zand achterblijft op de loswal S1, terwijl de rest terug getransporteerd wordt naar de vaargeul 'Scheur'. Tracer-experimenten, die later werden bevestigd door modelresultaten, toonden aan dat de slibfractie verspreid wordt over een groot gebied onder invloed van de heersende meteorologische omstandigheden. Bij kalm weer vloeit het slib terug naar de kust (Van den Eynde, 2004).

Er is echter wel een verschil in sedimentatie tussen de stortplaatsen gelegen op een zandplaat, zoals S2 en de oude S1, en zij die gelocaliseerd zijn in een getijdengeul, zoals de nieuwe S1 en de loswal Zeebrugge-Oost. De eersten zijn zandlichamen, terwijl op de laatsten een typische getijden/stormsequentie wordt aangetroffen met een afwisseling van zand- en sliblaagjes (BMM en AWZ, 1993; Du Four en Van Lancker, in voorbereiding). De loswal Zeebrugge-Oost wordt daarenboven beïnvloed door de morfologische veranderingen ten gevolge van de uitbouw van de haven van Zeebrugge.

Het grofste zand komt voor in de 'Wielingen', wat verklaard wordt door sterke stromingen die zich voordoen in de hals van het Westerscheldemonding. Van der Spek *et al.* (1997) gaf echter aan dat de Boomse klei (Formatie van Rupel) er wordt aangesneden (Fig. 5). Dit verschil wordt verklaard doordat enkel de bovenste centimeters van de bodemstalen in rekening werd genomen bij de interpolatie in Fig. 9.

3.2 Slib- en kleihoudende sedimenten

Het Westerscheldemondingsgebied wordt gekarakteriseerd door 'storende kleilagen', een hoge turbiditeit en slibvelden. 'Storende kleilagen' zijn kleilagen met een dikte van meer dan 10cm en komen voor in grote delen van het gebied. De hoge concentraties aan gesuspendeerd materiaal – waarden van 100mg.l⁻¹ zijn niet ongewoon – worden bereikt ter hoogte van Zeebrugge en verspreiden zich verder tot Oostende. De processen, mogelijks verantwoordelijk voor de vorming van deze hoge turbiditeitszone, zijn de vermindering in grootte van het residueel transport, het ondiepe karakter van de Belgische kustwateren en de import van gesuspendeerd materiaal doorheen de 'Straat van Dover' (Fettweis en Van den Eynde, 2003).

De slibsedimenten zijn cohesief en bestaan uit een mengsel van water, kleimineralen, slib, carbonaten, organisch materiaal en zand. Op basis van de bulkdensiteit (ρ) worden ze ingedeeld in 4 klassen:

- sterk tot zeer sterk geconsolideerd slib: paleogene klei, die voorkomt als kleigranules in zandige gebieden ($\rho > 1\,800\text{kg.m}^{-3}$)
- zwak tot medium geconsolideerd: holoceen slib, dat voorkomt als gelaagde cohesieve sedimenten met zandige horizonten ertussen ($\rho = 1\,500 - 1\,800\text{kg.m}^{-3}$)
- recent afgezet slib, dat voorkomt als een dun mobiel laagje ($< 2\text{cm}$) of als dikke pakketten ($> 0.5\text{m}$) ($\rho = 1\,300 - 1\,500\text{kg.m}^{-3}$)
- vloeibaar slib

De verspreiding van slibsedimenten in het Westerscheldemondingsgebied (Fig. 10) werd opgemaakt in het kader van het MOCHA project² en is gebaseerd op beschrijvingen van de sedimentdichtheid (Fettweis et al., 2005). Het omvat staalnames genomen door de Beheerseenheid van het Mathematisch Model van de Noordzee (BMM) in het kader van de onderzoeksprojecten SEBAB³, MOMO⁴, MAREBASSE en MESH⁵. In het kader van MAREBASSE voerde ook het Renard Centre of Marine Geology (RCMG) van de Universiteit van Gent staalnames uit van gebaggerd materiaal op de S1 stortplaats. Van de zuidwestkust van Walcheren zijn slechts enkele staalnames beschikbaar.

Tertiaire klei, behorende tot de Maldegem Formatie, dagzoomt in de vaargeul 'Scheur' (Fig. 3 & 10). Doordat de dikte van het quataire dek op deze plaats minder is dan 2.5m, kan de tertiaire klei eroderen, waarbij kleigranules kunnen gevormd worden. Kleigranules werden onder meer teruggevonden op de hellingen langsheen de 'Scheur' en op de stortplaats S1. *Holoceen slib* komt zowel voor in de kustzone als ten noorden van de 'Vlakte van de Raan' (Fig. 9). Deze afzettingen vormen de slibvelden, die onder andere gekarteerd werden door Bastin (1974), Gullentops et al. (1976) en Fettweis et al. (2004). Ze zijn meestal bedekt met een dunne laag (1 tot 10cm) van zeer fijn zand of slibbig zand. Het *recent afgezet slib* wordt sinds de laatste 50 jaren afgezet in antropogeen beïnvloede zones (Fig. 10). Het komt voor als permanente lagen ($\pm 0.5\text{m}$) in de vaargeulen en de havens en elders als dunne lagen van minder dan 10cm. Het wordt cyclisch in suspensie gebracht door de getijdenwerking. De juiste extensie van de recente sliblagen is bijgevolg moeilijk te bepalen. Vloeibaar slib werd aangetroffen in de haven van Zeebrugge en het navigatiekanaal 'Pas van het Zand' (Strubbe, 1987). Op de kaart, weergegeven in Fig. 10, is geen vloeibaar slib aangegeven omdat er te weinig data bestaan omtrent de verspreiding er van.

² MOCHA, *Mud Origin, Characterisation and Human Activities*. [Slib: oorsprong, karakterisering en menselijke activiteiten]. Federaal Wetenschapsbeleid, PODO II (2004-2006).

³ SEBAB, *Bepaling van de sedimentbalans voor de Belgische kustwateren*. Federaal Wetenschapsbeleid, PODO I (1999-2002).

⁴ MOMO, *MONitoring en MOdelling van het cohesieve sedimenttransport en evaluatie van de effecten op het mariene ecosysteem ten gevolge van bagger- en stortoperaties*. Federaal Wetenschapsbeleid, PODO II (2004-2006).

⁵ MESH, *Mapping European Seabed Habitats*. Interreg IIIb (NW Europe) (2003-2007).

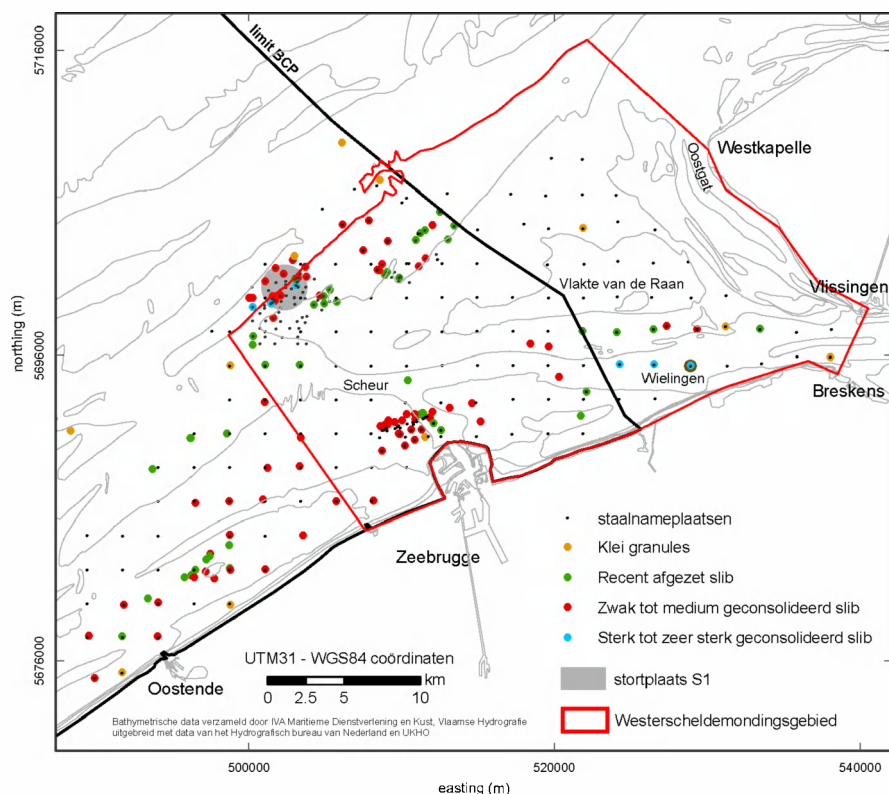


Fig. 10. Voorkomen van de verschillende cohesieve sedimenten op basis van beschikbare sedimentbeschrijvingen. De zwarte bolletjes duiden aan waar stalen zijn genomen; indien ze niet gekleurd zijn, komt er zand voor.

Referenties

- Baeteman C. en Denys L. (1997). Holocene shoreline and sea-level data from the Belgian coast. *Paleoclimate Research*, 21: 49-74.
- Baeteman C. en Van Strijdonck M. (1989). Radiocarbon dates on peat from the Holocene coastal deposits in West Belgium. p. 59-91. In: *Quaternary sea-level investigations from Belgium*. Baeteman C. (Ed.). Ministerie van Economische Zaken, Geologische Dienst van België, Brussel, België.
- Bastin A. (1974). Regionale sedimentologie en morfologie van de zuidelijke Noordzee en van het Schelde-estuarium, Ph.D. thesis, KULeuven, België.
- BMM en AWZ (1993). Ecologische impact van baggerspecieelösungen voor de Belgische kust: Eindrapport. Ministerie van Volksgezondheid en Leefmilieu (BMM), Brussel, België. 101 pp.
- Ceuleneer G. en Lauwaert B. (1987). Les sédiments superficiels de la zone des 'Vlaamse Banken'. Unité de Gestion du Modèle Mathématique de la Mer du Nord et de l'Estuaire de l'Escaut. UGMM, mars 1987.
- De Batist M. (1989). Seismo-stratigrafie en structuur van het Paleogeen in de Zuidelijke Noordzee. Ph.D. Thesis, UGent, België. 107pp.
- De Batist M. en Henriët J.P. (1995). Seismic sequence stratigraphy of the Tertiary offshore of Belgium, Southern North Sea. *Journal of the Geological Society of London*, 152: 27-40.
- De Mulder E.F.J., Geluk M.C., Ritsema I., Westerhoff W.E. en Wong Th. E. (2003). De ondergrond van Nederland. TNO, Delft.

- Depret M. (1981). Lithostratigrafie van het quartaire en van het tertiaire substraat te Zeebrugge. Lithologische en stratigrafische interpretatie van diepsonderingen met de konus van Begemann. Ph.D. Thesis, UGent, België. 255 pp.
- Du Four I. en Van Lancker V. (in voorbereiding). Physical impact assessment of dredged material disposal sites and their recovery after cessation of dumping: a case study in the Belgian coastal zone.
- Ebbing J.H.J., Laban C., Frantsen P.J. en Nederhof H.P. (1992). Kaartblad Rabsbank, concessieblokken voor olie en gas S7, S8, S10 en S11 (51°20' N.B. – 3°00' O.L.). Rijks Geologische Dienst, Nederland.
- Eisma D. en Kalf J. (1979). Distribution and particle size of suspended matter in the Southern Bight of the North Sea and the Eastern Channel. *Netherlands Journal of Sea Research*, 13(2): 298-324.
- Fettweis M. en Van den Eynde D. (2003). The mud deposits and the high turbidity in the Belgian-Dutch coastal zone, Southern Bight of the North Sea. *Continental Shelf Research*, 23: 669-691.
- Fettweis M., Francken F., Nechad B., Pison V. en Van den Eynde D. (2004). Monitoring en Modelling van het cohesieve sedimenttransport en evaluatie van de effecten op het mariene ecosysteem ten gevolge van bagger- en stortoperaties (MOMO). Activiteitsrapport 2 (oktober 2003 - maart 2004). BMM, Brussel. MOMO/MF/200404/NL/ER/1. 33pp.
- Fettweis M., Francken F., Van den Eynde D., Houziaux J.-S., Vandenberghe N., Fontaine K., Deleu S., Van Lancker V. en Van Rooij D. (2005). Mud origin, characterisation and human activities (MOCHA): Characteristics of cohesive sediments on the Belgian Continental Shelf. Scientific Report - Year 1. Belgian Science Policy, Brussel. 70pp.
- Gradstein F.M., Ogg J.G. en Smith A.G. (2005). *A Geologic Time Scale 2004*. Cambridge University Press. 610pp.
- Gullentops F., Moens M., Ringelé A. en Sengier R. (1976). Geologische kenmerken van de suspensie en de sedimenten. In: Project Zee/Projet Mer, Volume 4: Sedimentologie. Nihoul J.C.J. en Gullentops F. (Eds.). Science Policy Office, Brussel, België. 137pp.
- Haecon (1994). Stortplaatsonderzoek. Eindrapport sedimenttrendanalyse: interpretatie van de STA-resultaten (STA). Intern rapport, nr. ISS1165-00032, Drongen, België.
- Haecon (1999). Literatuurstudie morfologie Belgische kust, NML 1856 00023.
- Houbolt J.J.H.C. (1968). Recent sediments in the Southern Bight of the North Sea. *Netherlands Journal of Geosciences – Geologie en Mijnbouw*, 47(4): 245-273.
- Le Bot S., Van Lancker V., Deleu S., De Batist M. en Henriët J.P. (2003). Tertiary and quaternary geology of the Belgian Continental Shelf. Science Policy Office, Brussel, België. 75pp.
- Le Bot S., Van Lancker V., Deleu S., De Batist M., Henriët J.P. en Haegeman W. (2005). Geological characteristics and geotechnical properties of eocene and quaternary deposits on the Belgian Continental Shelf: synthesis in the context of offshore wind farming. *Netherlands Journal of Geosciences – Geologie en Mijnbouw*, 84(2): 147-160.
- Liu A.C. (1990). A seismic and geomorphological study of the erosion surface at the top of the Tertiary in the Southern North Sea (Belgian and Northern French sectors). Ph.D. Thesis, UGent, België. 119pp (vol.1) en 97pp (vol.2).
- Liu A.C., Missiaen T. en Henriët J.P. (1992). The morphology of the top-Tertiary erosion surface in the Belgian sector of the North Sea. *Marine Geology*, 105: 275-284.
- Malherbe B. (1991). A case study of dumping dredged material in open areas. *Terra et Aqua*, 45: 5-31.
- Maréchal R. en Henriët J.P. (1983). Seismisch onderzoek op het Belgisch Continentaal Plat. Eerste fase - ontginningszone 2. Ongepubliceerd rapport, Ministerie van Economische Zaken. 32pp.
- Maréchal R., Henriët J.P., Mostaert F., De Batist M., Moons A. en Verschuren M. (1986). Studie oppervlaktelaag van het Belgisch Continentaal Plat. Seismisch prospectie sector B. Ongepubliceerd rapport, Ministerie van Economische Zaken. 52pp.
- MOW (1976-1982). Interne kaart Ministerie van Openbare Werken en Haecon.

- MOW (1984-1986). Interne kaart Ministerie van Openbare Werken en Haecon.
- Rijks Geologische Dienst en Belgische Geologische Dienst (1990). Geologische kaart van de Noordzee, Holocene en oppervlakesedimenten, kaartblad Oostende. British Geological Survey, Rijks Geologische Dienst en Belgische Geologische Dienst.
- Rijsdijk K.F., Passchier S., Weerts H.J.T., Laban C., van Leeuwen R.J.W. en Ebbing J.H.J. (2005). Revised Upper Cenozoic stratigraphy of the Dutch sector of the North Sea Basin: towards an integrated lithostratigraphic, seismostratigraphic and allostratigraphic approach. *Netherlands Journal of Geosciences – Geologie en Mijnbouw*, 84(2): 129-146.
- Strubbe J. (1987). De Belgische zeehavens: erfgoed voor morgen. Lannoo, Tielt, België. 181 pp.
- Van den Eynde D. (2004). Interpretation of tracer experiments with fine-grained dredging material at the Belgian Continental Shelf by the use of numerical models. *Journal of Marine Systems*, 48: 171-189.
- Van der Slikke M. J. (1999). Morfologische ontwikkeling Westerscheldemonding tot 2020, een fenomenologische visie. Institute for Marine and Atmospheric Research Utrecht (IMAU). 43pp + bijlagen.
- Van der Spek A.J.F., Frantsen P.J., Menkovic A. en Ebbing J.H.J. (1997). De geologische opbouw van de ondergrond van het mondingsgebied van de Westerschelde en de rol hiervan in de morfologische ontwikkeling. In opdracht van Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ). Programma Kust*2000. Project K2000*KOP. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen (NITG-TNO). Rapport NITG-97-284-B.
- Van Lancker V., Deleu S., Bellec V., Du Four I., Schelfaut K., Verfaillie E., Fettweis M., Van den Eynde D., Francken F., Pison V., Wartel S., Monbaliu J., Giardino A., Portilla J., Lanckneus J., Moerkerke G. en Degraer S. (2006). Management, Research and Budgetting of Aggregates in Shelf Seas related to End users (MAREBASSE): Eindrapport. Belgian Science Policy, Brussel, België.
- Van Mierlo C.J. (1899). La carte lithologique de la partie méridionale de la Mer du Nord. *Bulletin de la Société Belge de Géologie*, t., XIII.
- Van Parys M., Dumon G., Pieters A., Claeys S., Lanckneus J., Van Lancker V., Vangheluwe M., Van Sprang P., Speleers L. en Janssen C. (2002). Milieugerichte monitoring van baggerwerkzaamheden MOBAG 2000. In: Colloquium 'Kustzonebeheer vanuit geo-ecologische en economische invalshoek', 16-17 mei 2002, Oostende, België. Van Lancker V. *et al.* (Eds.). VLIZ Special Publication, 10: 1-22.
- Van Veen J. (1936). Onderzoekingen in de Hoofden in verband met de gesteldheid der Nederlandse Kust, Nieuwe Verhandelingen van het Bataafse Genootschap voor Proefondervindelijke Wijsbegeerte te Rotterdam, 2e reeks, IIe deel.
- 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*.
- Vos P.C. en van Heeringen R.M. (1997). Holocene geology and occupation history of the province of Zeeland. In: *Holocene Evolution of Zeeland (SW Netherlands)*. Fischer M.M. (Ed.). Medelingen Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, 59: 5-109.

BELANG VAN DE VLAKTE VAN DE RAAN VOOR DE MORFOLOGISCHE EVOLUTIES VAN HET SCHELDE-ESTUARIUM

Jean Jacques Peters

Port of Antwerp Expert Team, Vakgroep Hydrologie en Waterbouwkunde, Vrije Universiteit Brussel, Pleinlaan 2, 1050 Brussel, België. Email: jjpeters@skynet.be

Samenvatting

De 'Vlakte van de Raan' wordt inderdaad '*van onder het stof gehaald*', gezien pas bij het huidige onderzoek van de Schelde het mondingsgebied mee beschouwd wordt als een deel van het estuarium. Studies betreffende de morfologische tendensen in de Westerschelde, zoals ze nu worden uitgevoerd binnen Lange Termijn Visie (LTV), hebben vooral aandacht geschonken aan de grootschalige sedimentbewegingen tussen deelgebieden, de zogenaamde 'cellen'. Recent werd het belang van het mondingsgebied onderkend en werd ook de uitwisseling van sediment met de Westerschelde bestudeerd, echter zonder veel aandacht te schenken aan de veranderingen in de vorm van de platen en de geulen.

In deze uiteenzetting worden deze historische evoluties in het gebied ten westen van Vlissingen besproken in verband met de natuurlijke, lange termijn ontwikkelingen van de kuststreek, maar ook met deze in de Westerschelde ten oosten van Vlissingen. De vraag wordt gesteld welke de relatieve bijdrage was van menselijke ingrepen in de kuststreek, zoals de baggerwerken voor de verruiming van de vaarroute en het terugstorten van baggerspecie in zee of meer in het bijzonder de deltawerken en de uitbreiding van de Haven van Zeebrugge. Dezelfde vraag wordt gesteld in verband met menselijke ingrepen in de Westerschelde, zoals het aanleggen van polders, het afsnijden van armen zoals de Sloe en de Braakman, het bouwen van oeververdedigingen en baggerwerken.

1. Inleiding

In 1971 verscheen de eerste analyse van de Vlaamse Banken langs onze kust (Van Cauwenberghe, 1971). Dat jaar startte het ambitieus, vijf jaar durend onderzoeksproject 'ZEE' op initiatief van de toenmalige Minister van Wetenschapsbeleid. Dit project groeide uit tot een – tot dan toe ongeziene – multidisciplinaire samenwerking op de Noordzee en in het Schelde-estuarium, waaraan meer dan 200 Belgische onderzoekers deelnamen. Het 'project ZEE' zou aan de basis liggen voor het tot stand komen en het verder ontwikkelen van verschillende, nu bekende, onderzoekseenheden aan Belgische universiteiten en ook van de Beheerseenheid van het Mathematisch Model van de Noordzee en Schelde-estuarium (BMM).

Het bijeenbrengen van onderzoeksresultaten over de water-, zout- en sedimentcirculaties in het Schelde-estuarium en de Noordzee (De Pauw en Peters, 1973; Peters, 1975; Peters en Sterling 1976) toonde aan dat de grens tussen de Noordzee en het Schelde-estuarium eerder gevormd wordt door de lijn Oostende-Westkapelle, dan door de lijn Vlissingen-Breskens. Deze laatste werd in het verleden beschouwd als buitengrens voor hydrodynamische berekeningen en in morfologische studies. In de huidige onderzoeken voor de Lange Termijn Visie van het Schelde-estuarium (LTV) maakt de 'Scheldemonding', dus ook de 'Vlakte van de Raan', deel uit van het estuarium. Andere sprekers hebben het vandaag over de hydrodynamica, de geologie, de sedimentologie en het ontstaan van dit gebied.

Deze uiteenzetting tracht een beeld te schetsen van de morfodynamiek van het mondingsgebied sedert het einde van het Holocene en tracht het belang ervan te onderstrepen voor de morfologische evolutie van de Westerschelde, vroeger en nu. Maar eerst een algemene bespreking van riviermondingen.

2. Classificatie van riviermondingen

De rivier de Schelde mondt uit in een estuarium. De eerste uitvoerige onderzoeken van deze kustformaties gebeurden in het midden van de vorige eeuw. De meeste aandacht ging toen naar de vermenging van het zoete rivierwater met het zoute zeewater en naar de rol hiervan op de water- en de zoutcirculatie, alsook naar de invloed ervan op het ontstaan van slibvelden en het turbiditeitsmaximum. Een eerste goede definitie van een estuarium werd gegeven door Pritchard (1952) en luidde: *'a semi-enclosed coastal body of water freely connected to the ocean within which seawater is measurably diluted by freshwater deriving from land drainage'*. Het valt op dat er in deze definitie geen sprake is van geomorfologie, van sedimentaan- of afvoer of van een morfologische dynamiek. Beheerders waren toen hoofdzakelijk bekommerd om de slibproblematiek, vooral in havengebieden.

In die tijd verwaarloosden ingenieurs te dikwijls het belang van de geomorfologie. Fairbridge (1980) gaf een classificatie van getijrivieren op basis van hun fysiografische eigenschappen (Fig. 1), zijnde een geomorfologische beschrijving van de natuurlijke aspecten van een regio en van de fenomenen die er verband mee houden. Hij hield echter geen rekening met hydrodynamische eigenschappen zoals het debiet, de getijslag, het klimaat of met andere processen die de morfologie op langere termijn kunnen beïnvloeden, zoals tektoniek en veranderingen in zeespiegel. Fairbridge (1980) spreekt dus ook niet over toevoer en doorvoer van sediment afkomstig uit zee of de rivier, of over erosie van de eigen bedding. Het sediment, van welke oorsprong ook, speelt echter een zéér belangrijke – zelfs bepalende rol – in de historische evolutie van een mondingsgebied.

Riviermondingen kunnen onderverdeeld worden in estuaria, lagunes en delta's. Zij zijn allen het resultaat van een evolutie over meerdere millennia, als gevolg van wijzigingen in het zeepeil en veranderingen in de sedimenttransporten binnen een gegeven fysiografisch kader. Mondingen zijn eerst estuaria. Ze evolueren naar estuaria met een andere morfologie of naar delta's of lagunes, naarmate de belangrijkheid van de invloed van de zee of de rivier. Een eenvoudige classificatie van riviermondingen maken is niet gemakkelijk, omwille van het groot aantal factoren die de morfologische dynamiek van een estuarium bepalen. Daarom is het aangewezen te steunen op het relatieve belang van de verschillende factoren, en dit in een historisch perspectief.

In fjorden en ria's (gevallen 1, 2 en 7 in Fig. 1) wordt de morfologie bepaald door de geologie en het reliëf van de vallei, die met de zeespiegelstijging door de zee wordt ingenomen. In het geval van een lagune of estuarium, die gedeeltelijk gescheiden wordt van de zee door een zandrug (gevallen 4 en 5 in Fig. 1), spelen de zeebewegingen (getijden en stormen) en het sedimenttransport langs de kust een sleutelrol. Lagunes kunnen slechts blijven bestaan wanneer de aanvoer van sediment uit de rivier beperkt blijft. Wanneer deze aanvoer voldoende groot is, gaat een estuarium of de lagune evolueren naar een delta.

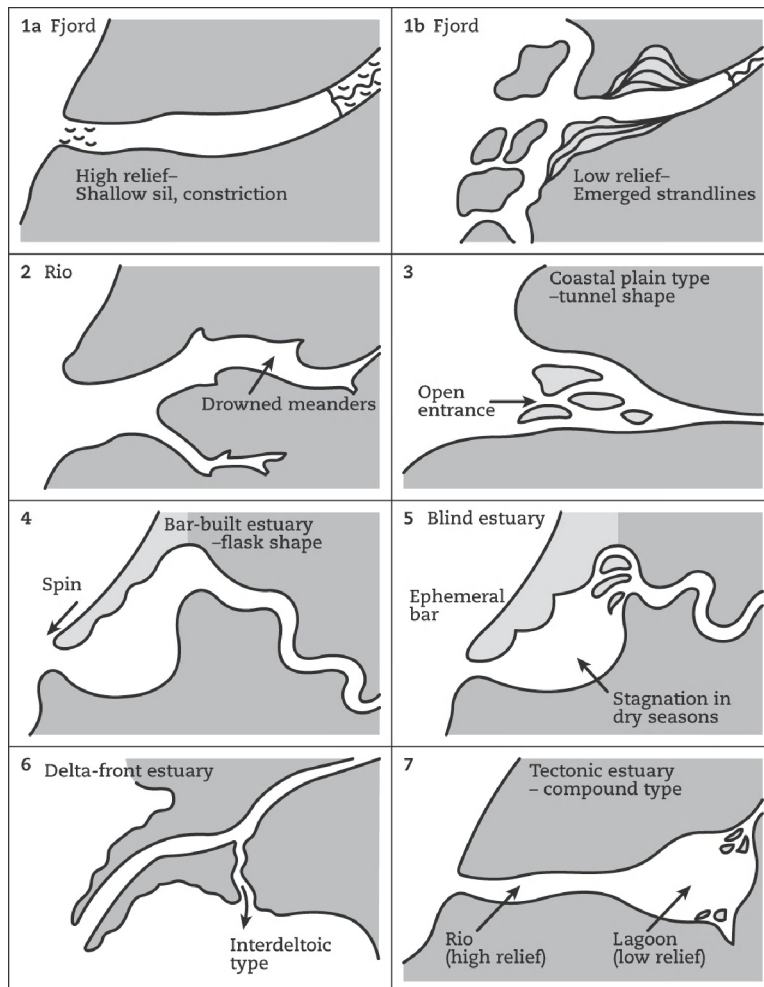


Fig. 1. Fysiografische classificatie van riviermondingen volgens Fairbridge (1980).

Menselijke ingrepen kunnen de morfologie van riviermondingen veranderen en doen evolueren naar het ene naar het andere type. Delta's kunnen verkleinen door een vermindering van de sedimenttoevoer uit de rivier, wanneer bijvoorbeeld stuwen worden gebouwd. De randen van de delta kunnen dan eroderen, zoals bij voorbeeld in het geval van de Nijlriver. Een ander mooi voorbeeld is de Ebrorivier in Spanje, waarbij de monding in minder dan 1 500 jaar – dus zeer snel op geomorfologische tijdschaal – veranderde van een ria in een uitgestrekte delta (Fig. 2). De uitbreiding in zee versnelde omstreeks het jaar 1 500 door de ontbossing in het rivierbekken. Men zegt dat deze ontbossing ontstond door het bouwen van de schepen voor de verkenning van Amerika. Verder kunnen menselijke ingrepen langs de kust – zoals havenhoofden en kribben – het transport van de sedimenten wijzigen, waardoor de randen van zowel lagunes als delta's weg eroderen.

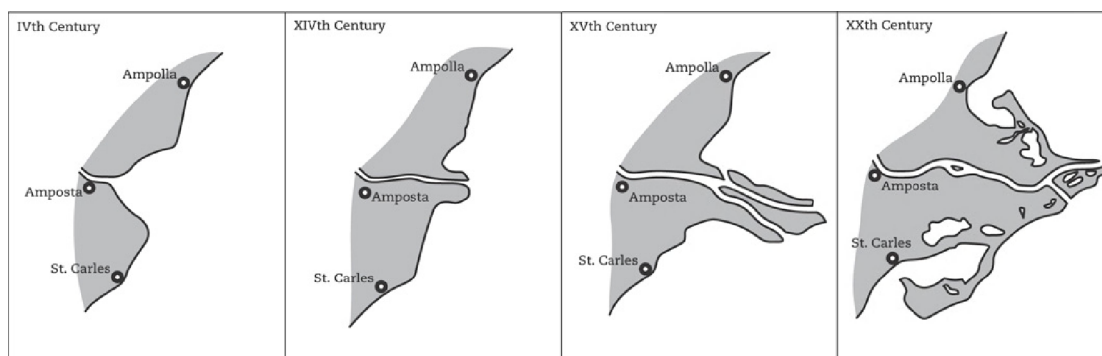


Fig. 2. Evolutie van de Ebro riviermonding, van estuarium tot delta (naar Sero)

Het type kustvlakte-estuarium (geval 3, 'coastal plain estuaria', zie ook Pritchard, 1967) kan echter een ingewikkelde geomorfologische geschiedenis hebben. Het Schelde-estuarium is hiervan een mooi voorbeeld.

3. Fysiografie van het Schelde-estuarium

Binnen de classificatie van Fairbridge (1980) zou de Westerschelde van het 'coastal plain' type zijn. Het is zeker niet ontstaan uit een ria. In die zin dat de Westerschelde niet ontstond door het verdrinken van een bestaande vallei, maar door de verbinding (ergens bij Antwerpen) van de zeearm de Honte met de rivier de Schelde. Om dit te begrijpen moet men de morfologische evolutie bespreken sinds het laatste ijstijdperk. Anderen hebben dit reeds op verschillende manieren gedaan (Van Veen, 1950; Gullentops *et al.*, 1976; Van den Bergh *et al.*, 1996).

Onze analyse begint aan het einde van het Pleistoceen. Toen lagen de mondingen van de Schelde en van andere Noord-Europese stromen ergens tussen Engeland en Denemarken (Fig. 3; AMINAL *et al.*, 1995).

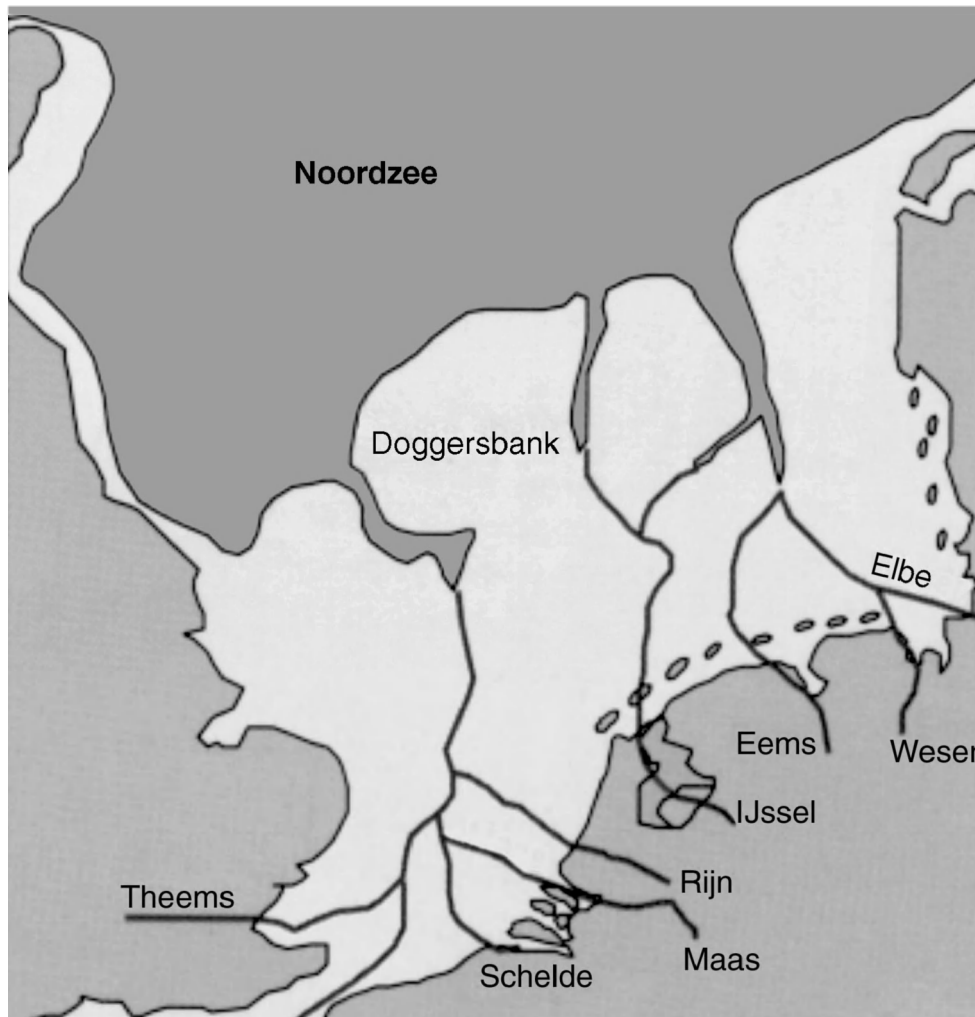


Fig. 3. De Noordzee in het Pleistoceen (AMINAL-RIKZ-ZMF, 1995).

In de beginfase, tot ongeveer het jaar 1 000, waren grootschalige morfologische veranderingen het gevolg van de holocene zeespiegelstijging (Fig. 4). De zee overstroomde de vroegere afzettingen, zodanig dat de kustlijn zich landinwaarts verplaatste tot ver voorbij de huidige kusten.

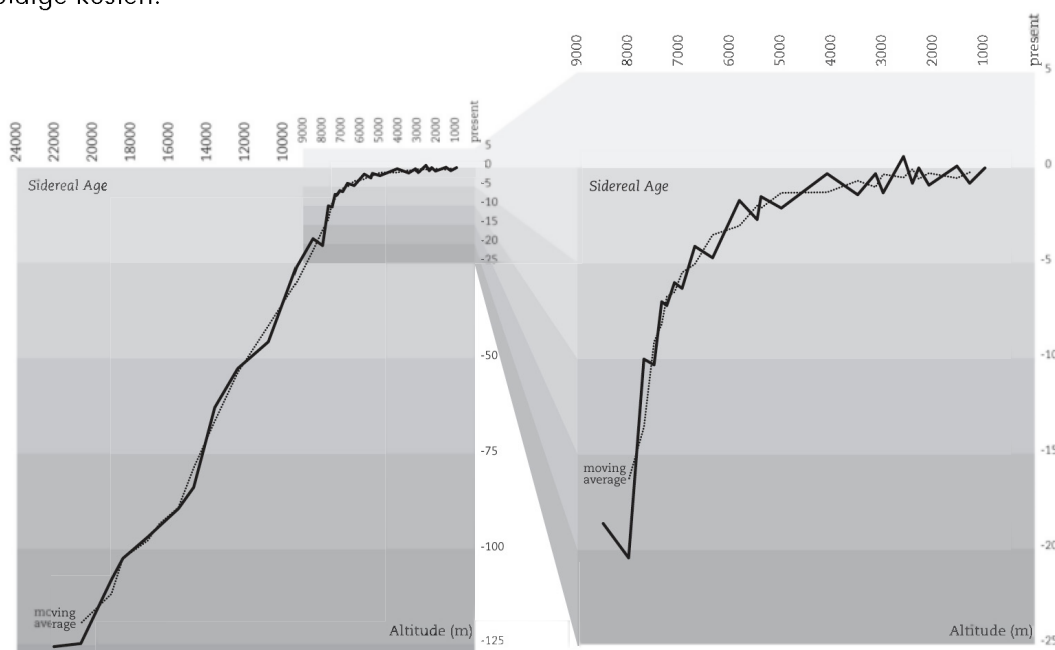


Fig. 4. Zeespiegelstijging sedert 21 000 jaar voor onze tijd (Peters *et al.*, 2001).

Ergens midden in het Holoceen veroverde de zee het gebied dat nu gekend is als het Nauw van Kales. Zo begonnen de getijdenstromingen de kusten van Engeland en Frankrijk te eroderen. Er ontstond een proces van erosie, transport en afzetting van sediment langsheen de nieuw gevormde kusten, zodat een gordel van zandbanken gevormd werd.

Met de vertraging van de zeespiegelstijging, ongeveer 3 000 jaar geleden (zie Fig. 4) kwamen deze zandbanken hoog genoeg te liggen zodat – door het samenspel van getijden, golven en wind – een rij van duinen en eilanden werd gevormd voor de kust. Zo ontstond er een uitgestrekte binnenzee tussen Cap Blanc Nez en de monding van de Weser (Fig. 5 en 6). Van Veen (1950) beschrijft deze mechanismen op een zeer didactische manier.

Waarschijnlijk was deze duinen en eilandengordel bijna continu, omdat de getijden nog te beperkt waren om met een groot debiet doorheen de bressen te stromen. Naarmate de getijslag en de stromingen toenamen, konden grotere bressen geslagen worden door stormen, zodat vloed en eb diepe geulen konden uitschuren. Men kan deze binnenzee vergelijken met een lagune, een soort 'Waddenzee' zoals die nu bestaat in het noorden van Nederland. De binnenzee evolueerde door erosie en sedimentatie. De rivieren Rijn en Maas, met hun grote sedimentlading, veroorzaakten een geleidelijke opvulling van de binnenzee (zie 'deltas' in Fig 5). Dit in tegenstelling tot de rivier de Schelde, waarvan de sedimentlading klein is en uit fijn materiaal bestaat. In het zuidelijk deel van de binnenzee, nu de Haringvliet, Grevelingen, Oosterschelde en Westerschelde (of Honte) waren het de getijden die de zeearmen geleidelijk verruimden, terwijl sedimentatie zorgde voor verdere ophoging van de platen tussen de geulen.

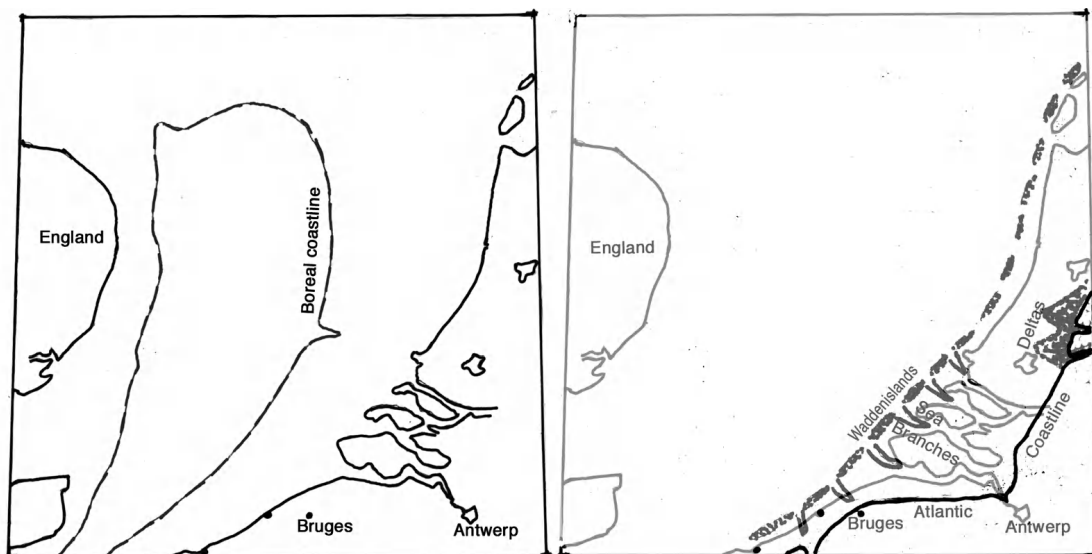


Fig. 5. Evolutie van de kustlijn sedert de laatste ijstijd (interpretatie naar Van Veen, 1950 en Gullentops et al., 1976).



Fig. 6. Kustgebied in het Romeins tijdperk (Peters et al., 2001, naar Van Veen, 1950).

De getijdenenergie, die door de bressen het zuidelijk deel van de binnenzee binnendrong, werd in het begin snel vernietigd door wrijvingen in het ondiepe water. Naarmate de geulen verruimden, kon de getijdegolf verder doordringen. Later, toen de platen hoog genoeg waren, begon de landwinning door de mens.

De benaming Rijn-Maas-Schelde delta is dus etymologisch niet correct. De Rijn en de Maas hebben een deel van de lagune of binnenzee opgevuld. Buiten de kustlijn was er echter nog geen delta gevormd. Men kan ook niet spreken van een delta in het gebied van Zeeland, waar nu de Westerschelde en de Oosterschelde liggen, maar van een overblijfsel van een lagune door dewelke het Schelde-estuarium altijd maar verder uitbreidt naar zee toe.

De voortplanting van de tijgolf door de geulen gaat gepaard met een asymmetrie in de stromingen, zodat snelheden intenser zijn tijdens de vloed dan tijdens de eb. Hierdoor worden mariene sedimenten uit de Noordzee in de binnensee gebracht en afgezet op de platen.

Zoals kan worden afgeleid van Fig. 7, is de tijgolf tot in Antwerpen doorgedrongen omstreeks het jaar 500 (Coen, 1988). Tot dan lag de monding van de Schelde-rivier bij Antwerpen, aan de rand van de binnensee. De afvoer van de Schelderivier gebeurde toen nog langs de Oosterschelde. De Westerschelde (Honte) was op dat moment een onregelmatige aaneenschakeling van geulen (zeearmen), waarin veel tij-energie verloren ging. Op Fig. 8 is te zien hoe de tijgolf slechts op het einde van de middeleeuwen Gent kon bereiken.

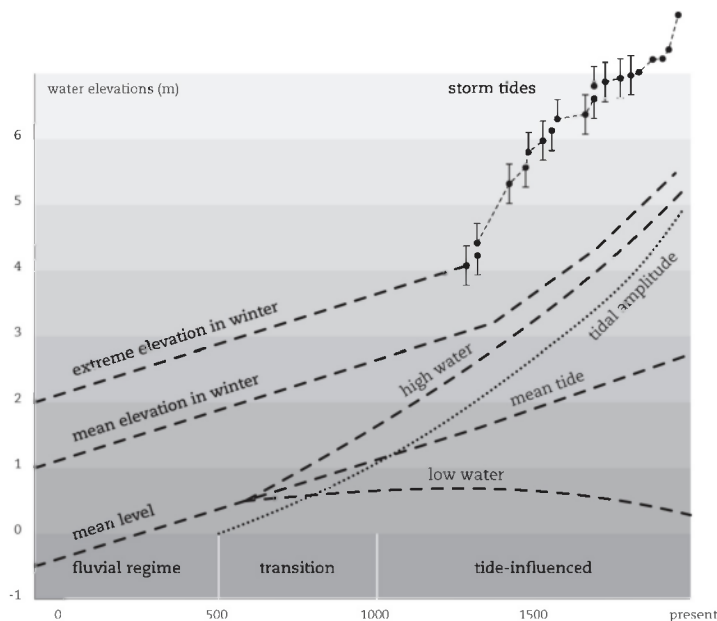


Fig. 7. Verloop van tijamplitude en extreme hoogwaterstanden in Antwerpen (Peters *et al.*, 2001, naar Coen, 1988).

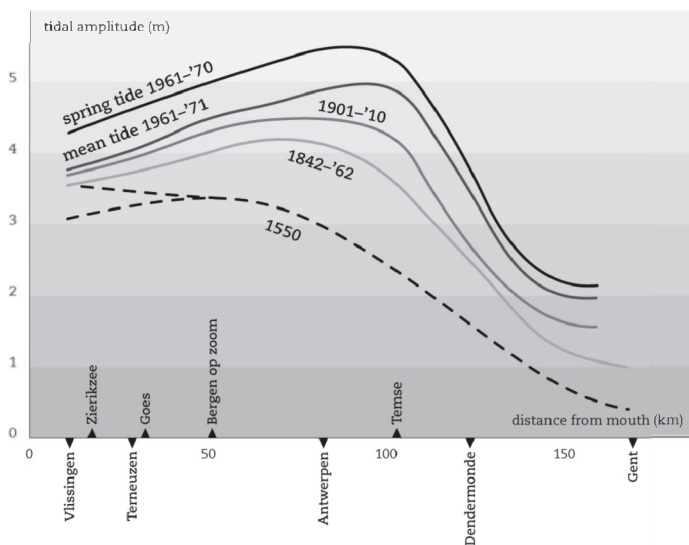


Fig. 8. Historisch verloop van de getijslag langs de Schelde (Peters *et al.*, 2001, naar Coen, 1988).

De evolutie van onze kust en van de Scheldemonding (de Honte, de zeearm die uiteindelijk de Westerschelde zou worden) werd sterk beïnvloed door de alsmaar grotere volumes water die bij vloed de Westerschelde binnenstroonden. Dit was enerzijds het gevolg van een stijgende tijamplitude in de Noordzee, anderzijds van een alsmaar grotere de komberging (tijvolume of 'tidal prism') naarmate de getijden verder binnendrongen in de Westerschelde, dieper in het rivierbekken.

Andere zeearmen hadden niet het geluk in verbinding te komen met een groot hydrografisch bekken. Dit was bijvoorbeeld het geval voor de Yzer en het Zwin. Hun zeegaten gaven verbinding met een smaller deel van de binnenzee, waardoor de tijvolumes onvoldoende groot waren voor een goede uitschuring van de geulen. Er ontstond verzanding door aanvoer van mariene sedimenten. Voor het Zwin werd dit proces versterkt door de bouw van een dam om Brugge te beschermen tegen overstromingen.

4. Vlaamse Banken en monding van de Westerschelde

De kaart Stessels van de Vlaamse Banken uit 1866 (Fig. 9) toont een interessant beeld van de Scheldemonding. Het is merkwaardig dat de 'Paardenmarkt' toen in het verlengde lag van de 'Wenduine Bank' (Termote, 2006). Volgens geschiedkundigen is de 'Paardenmarkt' een overblijfsel van het eiland 'Wulpen' dat tijdens de rampwinters van 1375 en 1376 werd weggespoeld (Desnerck et al., 2005).

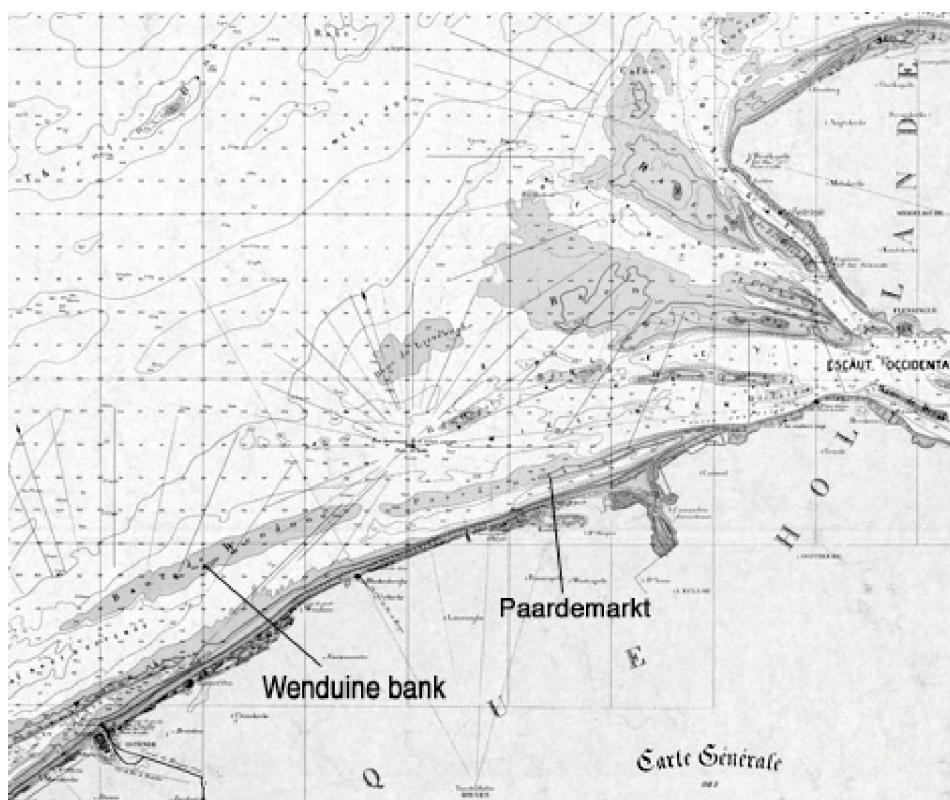


Fig. 9. Deel van de kaart van de Vlaamse Banken (Kaart Stessels, 1866).



Fig. 10. Kaart van 1636 door Henricus Hondius (uit Peters *et al.*, 2001).

Op de Mercatorkaart van 1636 door Henricus Hondius (Fig. 10) ziet men duidelijk de 'Drooge Raen' en de 'Paardenmarkt', die ongeveer evenwijdig loopt met de kust.

Men kan aannemen dat de alsmaar sterkere stroomsnelheden de resten van het eiland 'Wulpen' geërodeerd hebben. Als gevolg ontstonden deze langwerpige platen, die ongeveer evenwijdig liepen met de kust. Het was ook de richting van de maximum vloed- en ebstromingen, en de richting waarin de tijgolf zich voortplantte in de hoofdgeul de 'Wielingen'. In het gebied gelegen tussen de hoofdgeul en het eiland Walcheren draaiden de stromingen. Aldaar kregen de geulen (voornamelijk het 'Oostgat' en de 'Deurloo') een stroming met een kleiner debiet te verwerken, waardoor de zandbanken er groter en de geulen kleiner bleven.

5. Invloed van de morfologische veranderingen in de Westerschelde op het mondingsgebied

Duizend jaar geleden bestond de binnenzee uit een lappendeken van eilanden en geulen zonder duidelijke structuur. Ze waren gevormd door de opeenvolgende overstromingen en indijkingen (SIC, 1999). Het aanleggen van polders en het afsluiten van de zijarmen in de Westerschelde heeft dit lappendeken geleidelijk omgevormd in een bochtig systeem dat op een meanderende rivier lijkt, maar het niet is. In de 17^{de} eeuw was de Honte ten oosten van het nauw Vlissingen-Breskens nog zeer breed, met grote zijdelingse zeearmen (Sloe en Braakman),. Ze vernauwde plots ter hoogte van Terneuzen (Fig. 10).

Men mag stellen dat zowel de morfologie van de monding, als die van de Westerschelde zelf, zich heeft aangepast. Niet alleen aan het toenemend vloeddebiet dat het rivierbekken van de Schelde binnendrong, maar ook aan de geleidelijke vernauwing van het estuarium. Deze vernauwing is een zeer traag, natuurlijk proces geweest, veroorzaakt door de uitschuring van de geulen en de afzetting van sedimenten op de platen. Een proces dat in de Westerschelde werd versterkt door menselijke ingrepen. Deze evolutie gaat nu nog steeds door en is duidelijk zichtbaar bij het vergelijken van de kaarten van 1800 en 1997 (Fig. 11).

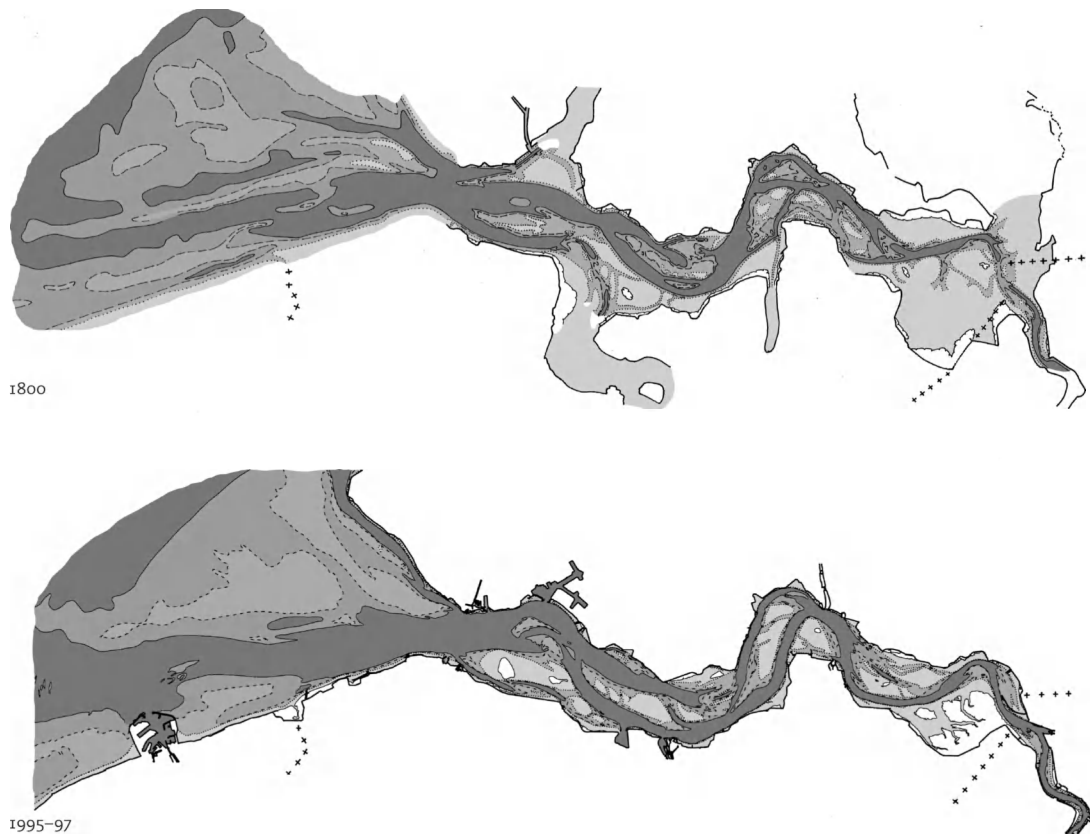


Fig. 11. Morfologische evolutie van de Westerschelde van 1800 tot 1997, inclusief het mondingsgebied (Peters *et al.*, 2001).

De morfologische veranderingen die optraden ten westen van Vlissingen sedert 1800 hebben dus te maken met veel factoren, waarvan de getijden, de geologie en menselijke ingrepen de belangrijkste zijn.

De lange rug, zichtbaar op de kaart van 1800 tussen de twee evenwijdige hoofdgeulen 'Wielingen' en 'Spleet' (Wi en Sp op Fig. 12), werd later doorbroken door een nieuwe geul: de 'Scheur'. De uitschuring door de getijdenstromingen heeft uiteindelijk gezorgd voor één enkele grote geul (Wi op Fig. 12, kaart van 1997) die nu gelegen is tussen een groot platenstelsel ('Vlakte van de Raan', aggregatie van verschillende banken) en een groter geworden plaat langs de kust ('Paardenmarkt').

Sedert enkele decennia merken we ook een evolutie tussen de 'Vlakte van de Raan' en Walcheren. Vooral in de verruiming van de 'Geul van de Walvisstaart' (Wa op Fig. 12, kaart van 1997). Een deel van de ebstromingen die uit de Schelde komen hebben nu de neiging binnen te dringen in deze geul, die waarschijnlijk meer vloed ontvangt uit de Noordzee naar de Schelde.

De 'Sardijngeul' (tussen Nollenplaat' en de oever van Walcheren) verbindt de 'Deurloo' met de 'Honte' (Ho op Fig. 12) en lijkt sedert enige tijd morfologisch aan belang te verliezen. De 'Geul van de Walvisstaart' (Wa op Fig. 12) zou in de toekomst kunnen doorbreken door de 'Elleboog', ten westen van de 'Nollenplaat'.

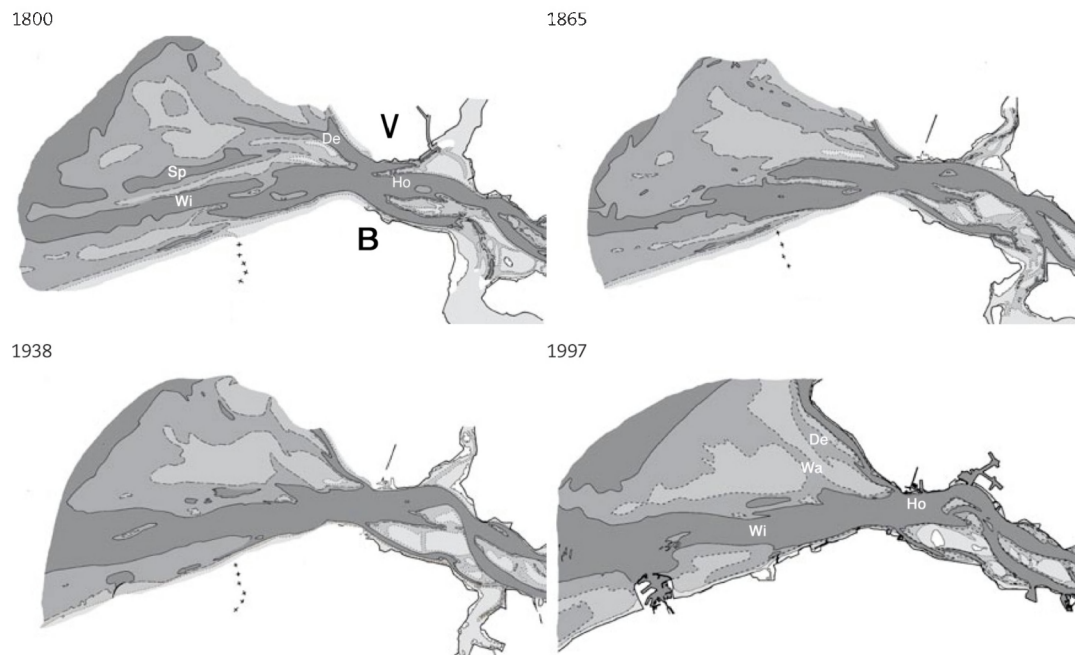


Fig. 12. Evolutie van het mondingsgebied ten westen van Terneuzen.

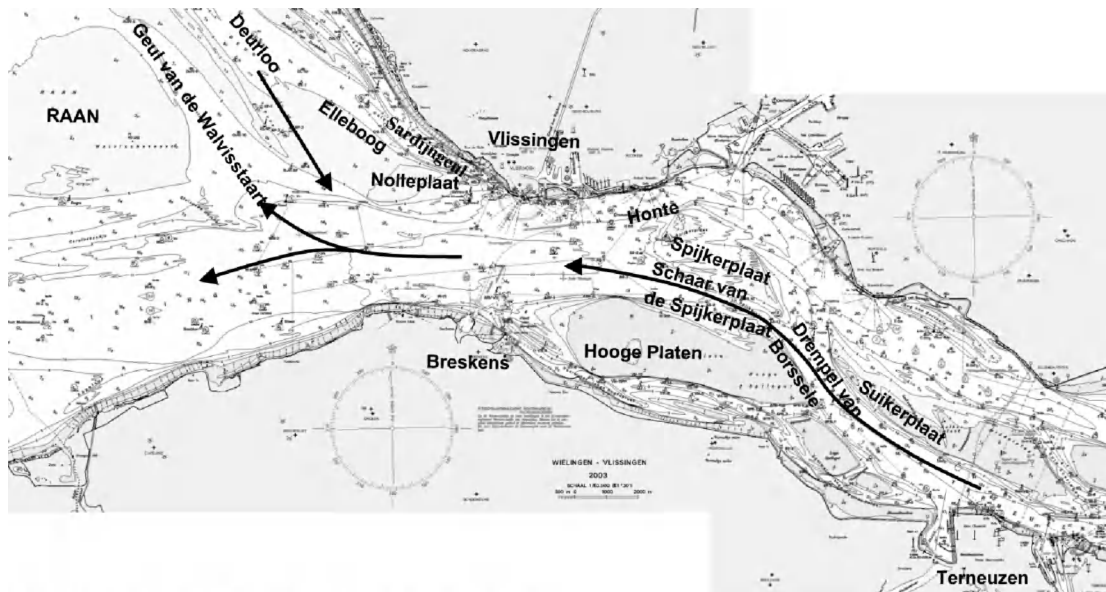


Fig. 13. Hydrografische detailkaart met namen.

Al deze veranderingen kunnen in verband gebracht worden met deze opgetreden in de Westerschelde ten oosten van Breskens, tussen Vlissingen en Terneuzen (Fig. 13). Vertrekkende uit Terneuzen heeft de ebgeul steeds meer de neiging door te breken door de 'Schaar van de Spijkerplaat'. Het zou dus kunnen dat de 'Suikerplaat' meer zou aansluiten met de 'Spijkerplaat' (plaat ten noorden van de gelijknamige geul), ten nadele van de 'Drempel van Borssele'. Hierdoor zou de ebstroom minder door de 'Honte' stromen en het mondingsgebied binnen komen onder een andere hoek.

6. Vlake van de Raan: Zee of Westerschelde?

In het hoofdstuk over de hydrodynamica en de sedimenttransporten in het Schelde-estuarium van het Project 'ZEE' eindrapport (Peters en Sterling, 1976) werd aandacht gevraagd voor de invloed van menselijke ingrepen op de morfologische evolutie op langere termijn. De uitbouw van de Haven van Zeebrugge met zijn strekdammen en het storten gedurende een lange periode van grote hoeveelheden baggerspecie ten noordwesten van de 'Vlake van de Raan' hebben zeker een invloed, alhoewel deze moeilijk precies kan worden ingeschat. Maar ook andere bouwwerken, zoals het deltaplan met de stuw op de Oosterschelde, hadden evengoed een mogelijke invloed op wat men de Voordelta noemt en op de sedimentbewegingen in het gebied van de 'Vlake van de Raan'.

Tussen het gebied ten westen van Vlissingen-Breskens, en het gebied ten oosten van deze lijn, is er dus morfologisch een niet onbelangrijke wisselwerking. Binnen de LTV wordt in de analyse en modellering van de morfologische evoluties van het Schelde-estuarium vooral aandacht besteed aan de grootschalige veranderingen in het geulen- en platenstelsel binnen de Westerschelde, dus ten oosten van Vlissingen-Breskens. Beslissingen moeten genomen worden betreffende het morfologisch beheer van de Westerschelde, niet alleen in verband met de baggerwerken. Experimenten zoals de aanpassing van de 'Plaat van Walsoorden' worden overwogen dicht bij de Scheldemonding, zoals op de 'Rug van Baarland'. Ecologen vragen aandacht voor de evolutie van sommige platen, zoals de 'Hooge Platen', en voor het behoud van waardevolle gebieden van schor en slik, zoals de 'Kaloot' dat dicht bij de monding ligt.

Er is dringend nood aan onderzoek naar de morfologische ontwikkelingen van het gebied tussen Oostende-Westkapelle en Vlissingen-Breskens in verband met de evoluties, zowel in de Westerschelde als in wat de Voordelta wordt genoemd.

Referenties

- AMINAL-IN-RIKZ-ZMF (1995). De Schelde, een stroom natuurtalent. Brochure.
- Cameron W.M. en Pritchard D.W. (1963). Estuaries. p. 306-324. In: The Sea: Ideas and Observations on Progress in the Study of the Seas, Volume 2: The composition of sea water, Comparative and descriptive Oceanography. Hill M.N. (Ed.). Wiley Interscience, New York.
- Coen I. (1988). Ontstaan en geschiedenis van de Westerschelde. Water, 7(43/1): 156-162.
- Desnerck R., Devos M., Haspeslagh J., Lanszweert W., Parmentier J., Seys J., Termote T. en Van Cauwenberghe C. (2005). Zeewoorden verklaard: Paardenmarkt. De Grote Rede, 13: 27-28.
- De Pauw N. en Peters J.J. (1973). Contribution to the study of the salinity distribution and circulation in the Western Scheldt Estuary. Nationaal Onderzoeks- en Ontwikkelingsprogramma - Leefmilieu. Projekt Zee.
- Fairbridge R.W. (1980). The estuary: its definition and geodynamic cycle. p. 1-35. In: Chemistry and biogeochemistry of estuaries. Olausson E. en Cato I. (Eds.). John Wiley, Chichester.
- Gullentops F., Moens M., Ringele A. En Sengier R. (1976). Geologische kenmerken van de suspensies en de sedimenten. In: Nationaal Onderzoeks- en Ontwikkelingsprogramma - Leefmilieu. Projekt Zee – Eindverslag 4. Nihoul J.C.J. en Gullentops F. (Eds.). 121 pp.
- Peters J.J. (1972). Transports de sédiment dans l'estuaire de l'Escaut. Commission Interministérielle de la Politique Scientifique. Programme National Belge - Recherche et Développement sur l'Environnement Physique et Biologique. Projet Mer – Rapport des Journées d'Etudes: 265-293.
- Peters J.J. (1975). Mécanismes de mélange des eaux dans l'estuaire de l'Escaut. Annales des Travaux Publics de Belgique, 2-1975: 101-120.

- Peters J.J. en Sterling A. (1976). Hydrodynamique et transports de sédiments de l'estuaire de l'Escaut. In : Programme National Belge - Recherche et Développement sur l'Environnement Physique et Biologique. Projet Mer – Rapport Final 10. Nihoul J.C.J. en Wollast R. (Eds.). 70pp.
- Peters J.J., Meade R.H., Parker W.R., Stevens M.A. (2001). Improving navigation conditions in the Westerschelde and managing its estuarine environment: How to harmonize accessibility, safety and naturalness? Port of Antwerp, Antwerp, Belgium. 32pp + annexes.
- Pritchard D.W. (1952). Estuarine hydrography. *Advances in Geophysics*, 1:243- 280.
- Pritchard D.W. (1955). Estuarine circulation patterns. *Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, 81:717/1-717/11.
- Pritchard D.W. (1967). Observations of circulation in coastal plain estuaries. p. 37-44. In: *Estuaries*. Lauff G.H. (Ed.). AAS Publ. 83. American Academy of Science, Washington D.C.
- Sero (jaarstal onbekend). *Estudis d'economia Catalana; les transformaciones economicas delta Ebre* (in Catalaans).
- SIC - Schelde Informatie Centrum (1999). *De Schelde Atlas, een beeld van een estuarium*.
- Termote J. (2006). De Vlake van de Raan in een historisch-geografisch perspectief. In: *De Vlake van de Raan van onder het stof gehaald*. Coosen J., Mees J., Seys J. en Fockedeij N. (Eds.). VLIZ Special Publication, 35: huidig volume.
- Van Cauwenberghe C. (1971). Hydrografische analyse van de Vlaamse Banken langs de Belgische-Franse kust. *Het Ingenieursblad*, 40(19): 563-571.
- Van den Bergh J.H., Leuken M.C.J.L. en van der Spek A.J.F. (1996). Hydraulic processes affecting the morphology and evolution of the Westerschelde estuary. p. 157-184. In: *Estuarine shores: evolution, environments and human alterations*. Nordstrom K.F. en Roman C.T. (Eds.). John Wiley & Sons Ltd, Chichester.
- Van Veen J. (1950). Eb- en vloedstroom systemen in de Nederlandse getijdewateren. *Tijdschrift Koninklijk Aardrijkskundige Genootschap*: 303-325.

DE VLAKTE VAN DE RAAN IN HISTORISCH-GEOGRAFISCH PERSPECTIEF

Johan Termote

Westtoer, Albert I-laan 120, B-8200 Brugge, België. Email: johan.termote@westtoer.be

Samenvatting

Vormt de 'Vlakte van de Raan' de sokkel van een verdwenen stuk pre-Romeinse kustvlakte? De historici-geografen zijn geneigd hierop positief te antwoorden. In dit verhaal vormt de lokalisatie en de evolutie van de oude kustlijn een eerste aandachtspunt. Het afbraakproces is, gezien de penurie aan historische en cartografische bronnen, pas vanaf de 13de eeuw te reconstrueren. De toenmalige toestand met de eilandengroep van 'Wulpen', 'Koezand' en 'Schoneveld' (en Cadzand) komt vanaf het midden van de 14de eeuw onder druk, gelijklopend met de verruiming van de Westerschelde. Dit opruimingsproces krijgt reeds omstreeks 1500 haar beslag. De precieze reconstructie van dit proces levert nog tal van vragen en moeilijkheden op. Een multidisciplinaire aanpak lijkt dan ook noodzakelijk om de historische gegevens te toetsen en de hoofdlijnen van dit proces uit te tekenen.

1. Inleiding

Omtrent de evolutie van de Vlaamse kust voor 1500 is weinig geweten. Het beeld van een rechtlijnige kustlijn lijkt niet te kloppen. Zeker de mondinggebieden kenden een grillige verloop, enerzijds door natuurlijke processen en anderzijds door menselijke factoren (inpoldering, bevaarbaar houden of maken). De evolutie kan enkel door een interdisciplinaire aanpak gereconstrueerd worden. De IJzermonding is nog het best gekend. Het mondinggebied van de Aa wacht nog op een gedetailleerd onderzoek. Voor het gebied van de Westerschelde geven we hier een aanzet voor een stand van zaken vanuit historisch-geografisch perspectief.

De zogenaamde Oude Duinen met daarop prehistorische, Romeinse en vroegmiddeleeuwse bewoningsporen komen enkel nog voor aan de Westkust. Dit laat een meer zeewaartse duinengordel veronderstellen, die eerder om strategische redenen, vanaf Nieuwpoort geleidelijk in een wijde boog op de westelijke punt van Walcheren aansloot. Het bestaan van deze kustlijn, is voornamelijk een hypothese, die echter steeds meer ingang vindt – zowel bij de historici, als bij de geologen en geografen. In deze dispositie zou de 'Vlakte van de Raan' de basis of de sokkel kunnen vormen van een overspoeld gedeelte van de pre-romeinse kustvlakte.

Cools (1985) veronderstelt dat op deze oude Duinengordel een reeks Romeinse kustversterkingen opgetrokken zijn, na de invallen van de Chauvi omstreeks 172 - 174. Voor de inplanting baseert hij zich op de archeologische vindplaatsen en op de loop van de rivieren en de heerbanen (Fig. 1).

Vragen omtrent de chronologie en de mogelijke fasen van deze geleidelijke 'opruiming' blijven. Niet verwonderlijk: de bruikbare historische bronnen duiken pas vanaf de 13^{de} eeuw op en die zijn dan nog alles behalve eenduidig te interpreteren. Dit maakt dat enkel de laatste fase van dit proces – na 1300 – te reconstrueren valt.

Het kustlandschap in de eerste vijf eeuwen van de jaartelling kenmerkte zich door het terugschrijden van de kustlijn en de erosie van de bestaande getijdendelta's. We kunnen aannemen dat dit proces zich, na de Germaanse invallen van 250 - 270, versneld doorzette. Hier zal de invloed van de mens onrechtstreeks een rol hebben gespeeld. De kustvlakte was op enkele plaatsen reeds ontveend en gedraineerd en kende vermoedelijk zelfs een vorm van bedijking.

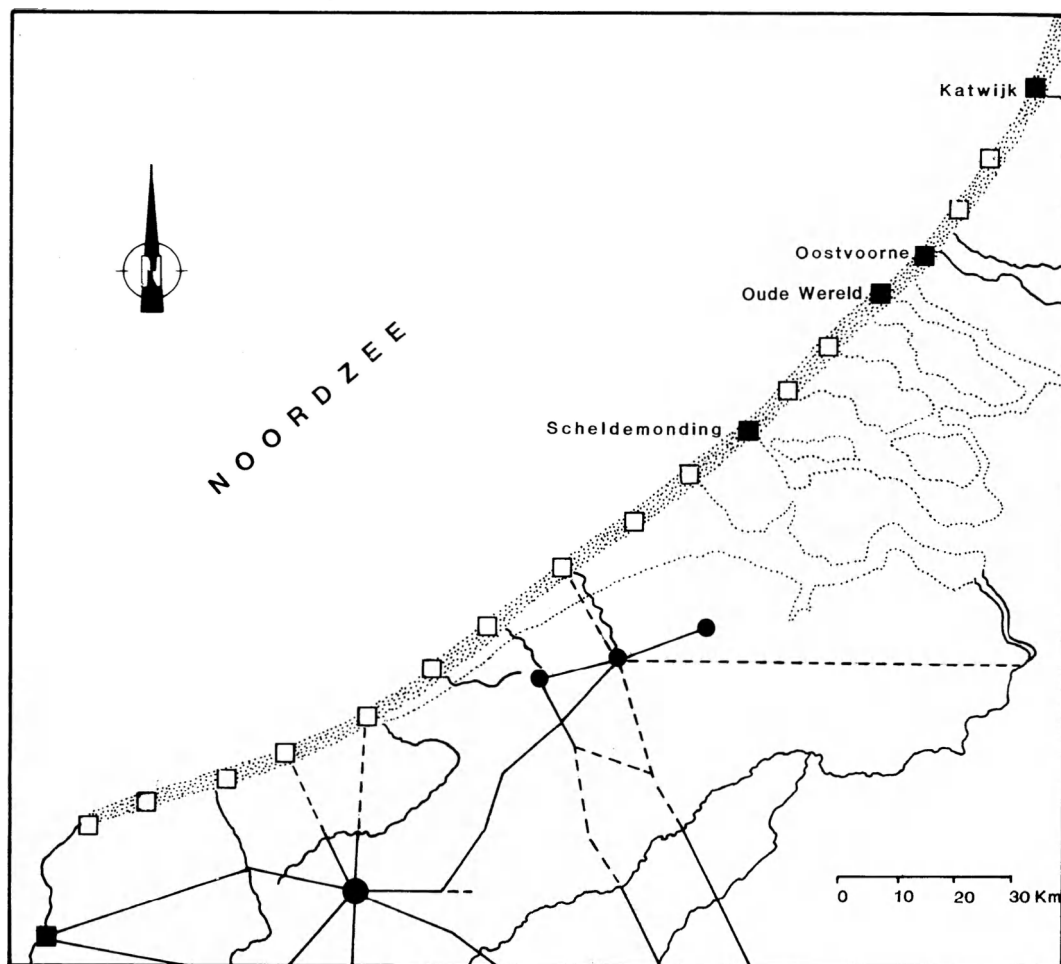


Fig. 1. Voorstelling van de Oude Duinengordel met daarop de inplanting van de mogelijke Romeinse forten (Cools, 1985).

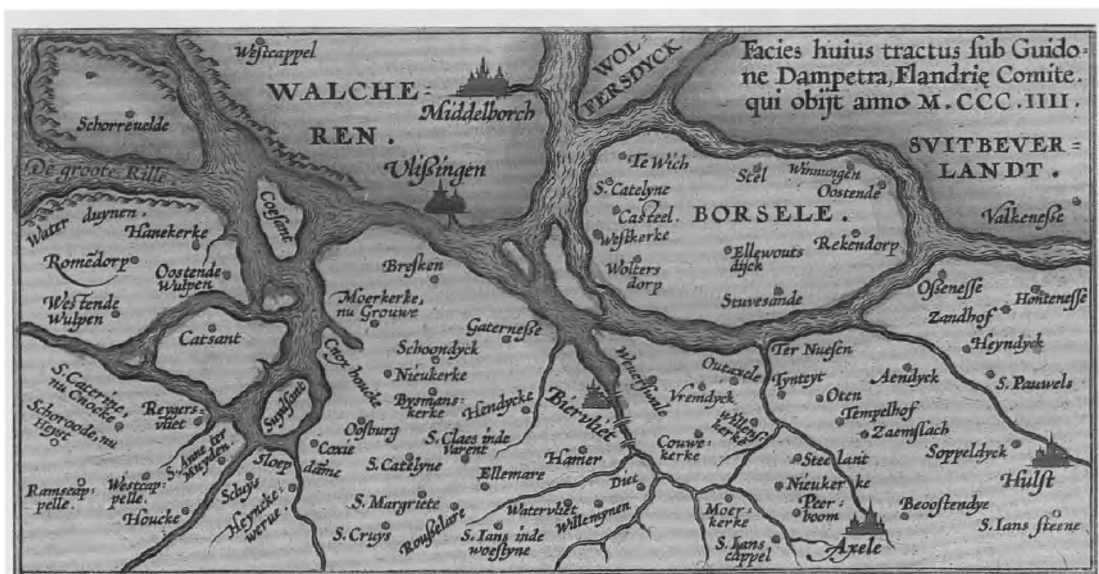


Fig. 2. De zogenaamde Dampierrekaart gaat mogelijk terug op oudere kaartgegevens uit het begin van de 14^{de} eeuw. De hier afgebeelde versie is afgedrukt in de atlas 'Theatrum Orbis Terrarum' van A. Ortelius Antwerpen, 1595.

Voor de delta van de Westerschelde komen we tot een conglomeraat van eilanden, waarvan naast de eilanden 'Schoneveld' en 'Koezand', het eiland 'Wulpen' het belangrijkste was. Vermeldenswaardig blijft verder dat de grens tussen het graafschappen Zeeland en Vlaanderen door deze eilandengroep heen liep. Meer bepaald de 'geul van de Hedensee', tussen 'Wulpen' en 'Koezand/ Schoneveld', vormde hier de grens. Dit laat vermoeden dat dit ooit de hoofdgeul van de delta was.

2. Historische gegevens

Wat zijn de historische gegevens en hoe kunnen ze ons helpen in de problematiek van de evolutie van het mondinggebied van de Westerschelde?

De vroegste vermeldingen van het eiland 'Wulpen' duiken op in de Gudrun- en Kudrunsagen, die gebeurtenissen uit de periode van de Noormanneninvallen verhalen. We kunnen aannemen dat de inpoldering van het eiland omstreeks 1000 van start ging. De ringdijk, de 'Evendijk' of 'Hievendijk' omsloot deze polders. In de omgeving van het eiland duiken nog andere zandplaten op. 'Koezand', gelegen ten oosten van 'Wulpen', komt pas in 1237 in de bronnen. De bedijking greep hier plaats vanaf 1243. Het eiland behoorde voor de tiendenheffing toe aan het O.L.Vrouwehospitaal van Rijsel. Het eiland 'Schoneveld' – *insula de Pulchro Campo* – komt vanaf ca. 1220 in de bronnen voor.

De oudste bronnen omtrent het eiland 'Wulpen' gaat terug tot 1096. De oorkonde van 1114 spreekt over '*... vulps quae sita est in maris insula*'. Het betreft dus wel degelijk een eiland. Dit blijkt niet alleen uit de toponiem – *insula* – maar evenzeer uit het feit dat de inwoners van de betreffende eilanden zich mochten verontschuldigen voor de rechtbank van de vierschaar in Brugge, wanneer ze door de onstuimige zee verhinderd waren om de oversteek te nemen.

In 1213 volgt de eerste vermelding van de vijf parochies. Het waren Remboudsdorp (= kerk van Raginabald), Avenkerke (= kerk van Ava), Briele, Oostende-Sint Lambertus en Westende-Sint Precatus, dat toen 'Ten Dunen' genoemd werd. Ter vergelijking de meer zuidelijk gelegen parochie 'Kadzand' duikt pas in 1231 in de teksten op.

De parochie Briele werd bediend door de benediktijnerabdij Sint-Quentin-en-l'Île en splitste zich of uit de moederparochie Oostkerke. De andere parochies vielen onder de bediening van de Sint-Baafsabdij van Gent en waren afgesplitst uit de parochie Aardenburg. Op de noordoostsector van het eiland ontstond reeds voor 1290 de haven Waterduinen, die in 1299 voor het eerst als stad vermeld wordt. Waterduinen behoorde tot de smalle steden van het Brugse Vrije.

In de loop van de 13^{de} eeuw liep de inpolderingactiviteit verder buiten de Evendijk.

Bepalend voor onze topografische kennis van de eilandengroep vormt de oorkonde van 18 september 1290. Aanleiding vormde de betwisting aangaande het tiendenrecht op de nieuwe gronden – novale tienden – in de parochie Aardenburg tussen de Sint-Baafsabdij van Gent en de bisschop van Doornik¹. Dit document levert een aantal topografische aanknopingspunten, met o.m. het feit dat 'Wulpen' zich tot het noorden van 'Kadzand' uitstreckte en de ligging van de haven Waterduinen in de noordoostelijke hoek van het eiland.

De teloorgang van de eilandengroep is via de documenten en meer bepaald aan de hand van de tiendenregisters, gedeeltelijk te reconstrueren. De topografische aanwijzingen blijven echter vaag.

¹ Gent, Rijksarchief, Archief Sint-Baafsabdij, oorkonden, nr. 531

Vanaf de stormramp van 24-29 november 1334 start de aftakeling van de eilandengroep². In dit jaar en de daaropvolgende stormen van de jaren 1341 en 1344 werd Remboudsdorp opgegeven en is er de vraag van de plaatselijke pastoor om de parochie samen te voegen met Westende. In 1357 moest de havenstad Waterduinen eraan geloven. Een document uit 1363 beschouwt de parochies Briele, Westende en Remboudsdorp als verloren.

De storm van 12 november 1376 verbreedt de geul tussen het eilanden 'Schoneveld' en 'Wulpen', waardoor de 'Wielingen' ontstaat. Dit heeft belangrijke gevolgen, want hierdoor verliest het geulenpatroon tussen het vasteland en de eilanden van 'Wulpen' en 'Kadzand' zijn schuurwater en komt een versneld sedimentatieproces op volle gang waardoor de gaten van het Zwin en het 'Zwarte Gat' dreigen dicht te slibben of mogelijk zelfs geheel dichtslibben. Deze situatie is afgebeeld op een aantal 'reconstructiekaarten' opgemaakt in de 17^{de} eeuw. – o.m. de kaart Van Thuyne (1617) en de kaart van de Zeeuwse delta beide in het Rijksarchief Gent – waar de verbinding vanuit Brugge, via de 'Geul van de Vloer' ten oosten van het eiland 'Cadzand' en niet via het Zwin verliep.

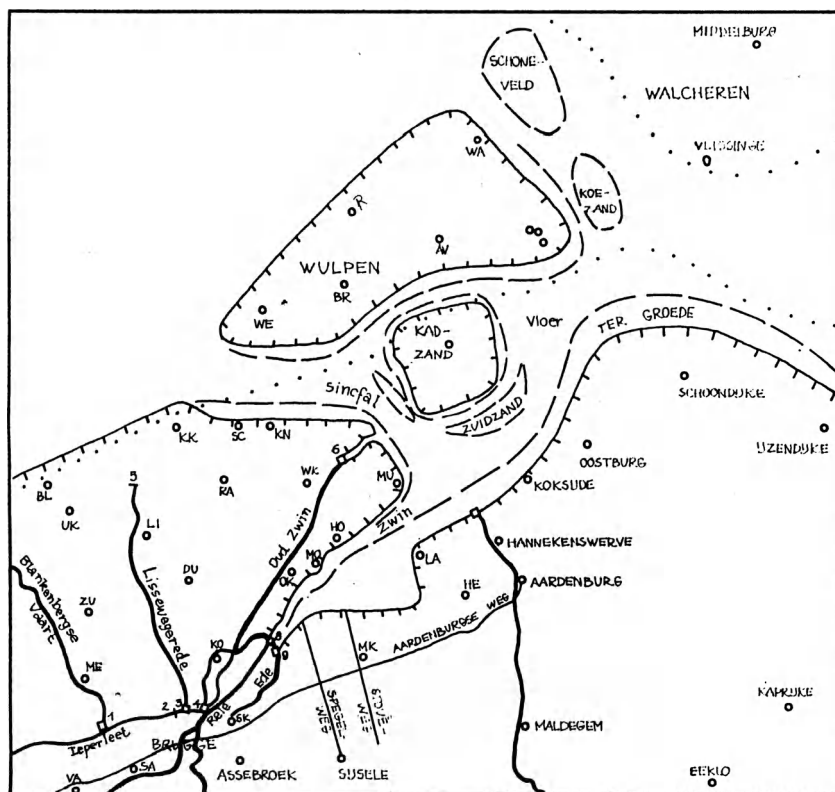
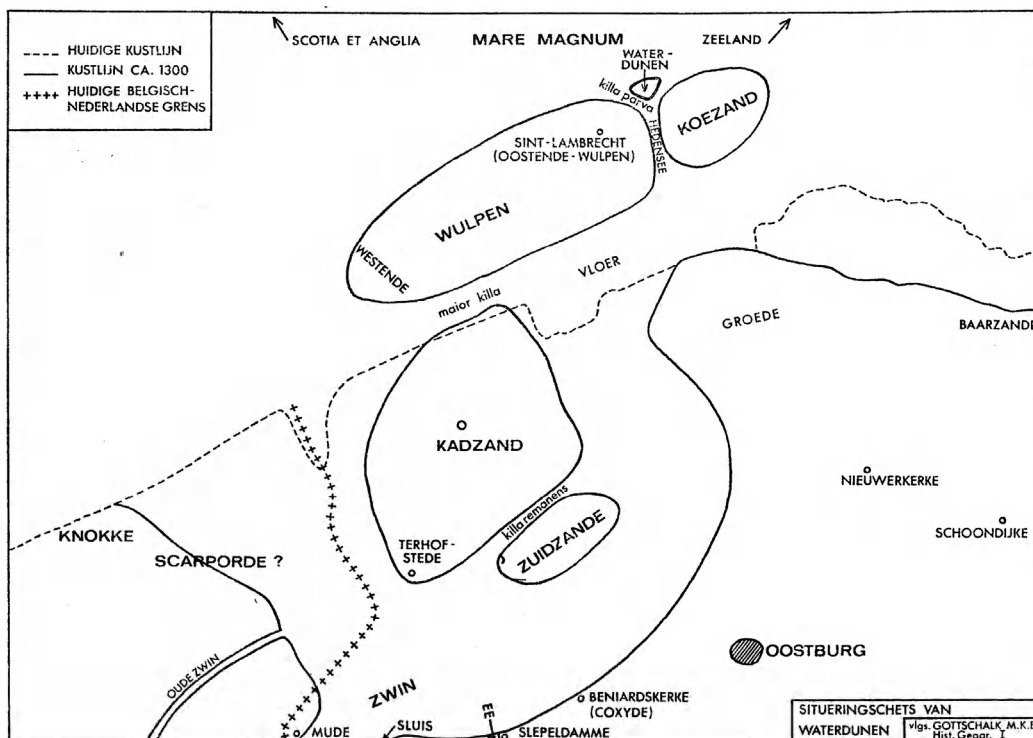
Al met al blijken er twee processen aan het werk: de west- en noordzijde van 'Wulpen' spoelde verder weg door een combinatie van stormen en de veranderende zeestroming van de 'Wielingen', die zich geleidelijk van noordwestelijke richting naar een meer westelijke richting verlegde. Anderzijds breidde het eiland in oostelijke en zuidelijke richting verder uit via sedimentatie en nieuwe inpolderingen. Dit leidde uiteindelijk tot aansluiting met de eilanden 'Cadzand' en 'Koezand'. Het eindresultaat van dit complex morfologisch proces is te zien op de Kaart van het Brugse Vrije door P. Pourbus (1571) en de kaarten van Horenbault (1605 en 1622). De dorpskern van Oostende, in deze periode Sint-Lambertus-Wulpen genaamd, bleek begin 16^{de} eeuw nog bewaard. De laatste resten werden in 1797 weggeslagen.

De basistopografie en de precieze lokalisatie van de eilanden vormen blijkbaar nog een punt van discussie. Bindoff (1945) en Gottschalk (1983) localiseerden de eilanden aanvankelijk in de Scheldemond. Op basis van de oorkonde van 1290 volgden nieuwe reconstructies eerst door Gottschalk en Buntinx (1968), later door Coornaert (1974 en 1989) en Augustijn (1992). Ze verschillen grondig. Augustijn, gedetermineerd door de hypothese van een nog bewaarde oude duinengordel, legt de zeezijde van het eiland 'Wulpen' hierop vast. Coornaert is voorzichtiger.

Als we de gemiddelde oppervlakte van de parochies in de Vlaamse kustvlakte als uitgangspunt nemen, en die situeert zich tussen 800 en 1000ha, dan kunnen we op basis van de vijf parochies een eilandgrootte tussen 4000 à 5000ha veronderstellen. In deze zin is de reconstructie van Augustijn enerzijds te ruim en kunnen we ervan uitgaan dat in die 13^{de} eeuw de oude kustlijn verdwenen was. Anderzijds lijkt de reconstructie van Gottschalk dan weer te bescheiden. Coornaert lijkt daarentegen goed te zitten.

Zijn de eilanden 'Wulpen' en 'Koezand' relatief goed gedocumenteerd, dan is dit beduidend minder het geval voor het eiland of de schorrenplaat 'Schoneveld'. De reconstructiekaarten (Dampierrekaart, kaart Zeeuwse delta en de kaart Van Thuyne) tonen een bedijkt eiland met parochiekerk. Bovendien wordt het eiland als vrij uitgestrekt afgebeeld en gesitueerd ten noorden van 'Wulpen' op de plaats van de huidige zandplaat van de 'Rassen'. Deze gegevens kloppen niet met de zeldzame historische bronnen, die eerder een onbewoonde schorrenplaat laten vermoeden. Omtrent de ligging geven deze geschreven bronnen echter geen uitsluitsel.

² Tijdens diezelfde stormperiode verdwenen ook het oude Oostende en Blankenberge.



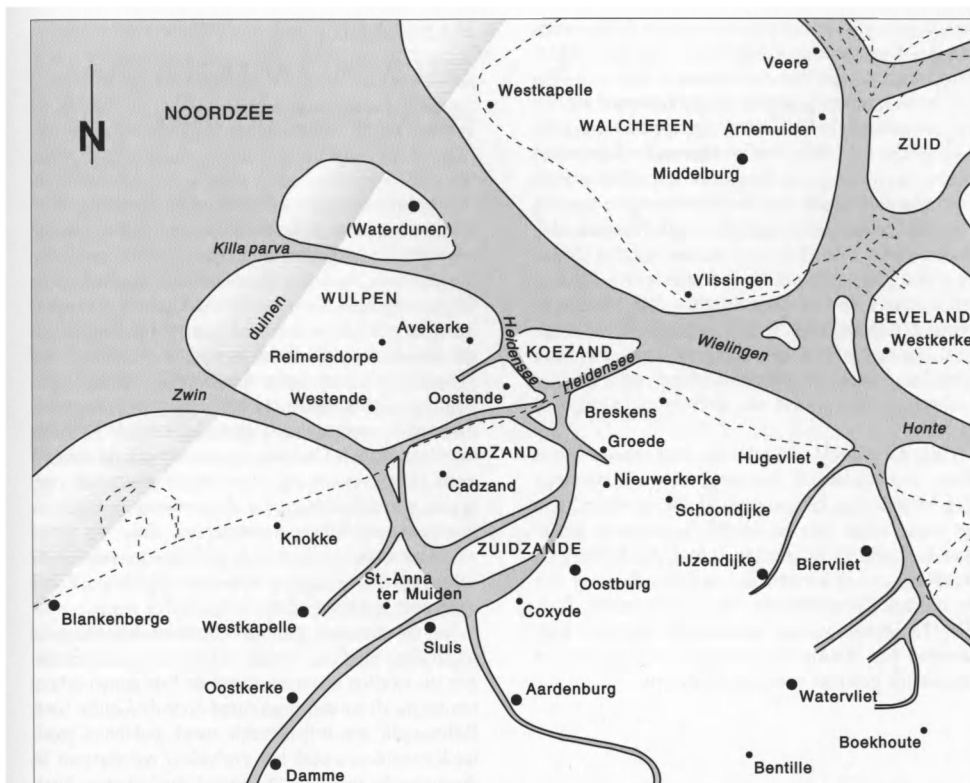


Fig. 5. Reconstructie van het Zwin en de Scheldemonding omstreeks 1300 door B. Augustijn (1992).

3. Open vragen

Voor de historisch geografen en de archeologen blijven dus nog belangrijke vragen open:

3.1. *Kunnen we de zandplaat van de 'Vlakte van de Raan' zien als de sokkel van een verdwenen stuk kustvlakte en van de hier besproken eilandengroep?*

Met andere woorden is deze zandplaat bruikbaar voor historisch-geografische referentie. In dit verband wijzen we op de zandbank van het 'Carolus Bankje' en de 'Sluissche Hompels', die kunnen samenvallen met de noordzijde van het 13^{de} eeuwse eiland 'Wulpen'.

3.2. *Hoe verliep dit 'opruimingsproces' in tijd en ruimte?*

Wellicht kan een beter begrip van de hydrodynamische processen helpen dit scenario beter te begrijpen en nauwkeuriger uit te schrijven. In dit kader is de situering van het eiland of zandplaat van 'Schoneveld' van belang. Hier duiken de reconstructiekaarten weer op. We suggereerden reeds dat deze kaarten mogelijk een tussenfase van omstreeks 1400 weergeven. Het is het echter ook mogelijk dat ze een oudere toestand weergeven, in een periode waar het opruimingsproces van de eilanden minder ver gevorderd was. Hier dient de kaartfiliatie verder bestudeerd en mogelijk levert verder onderzoek de 'moederkaarten' op. Hoe dan ook: de materie is dermate complex dat enkel een multidisciplinaire aanpak tot een oplossing kan leiden.

4. Sporen terug te vinden?

Tenslotte is er de vraag of van deze oude toestand nog sporen kunnen bewaard zijn. De eilanden waren ingenomen door polders, waarvan het oppervlak binnen de bedijking zeker tot 2.5m TAW of hoger reikte. Daar het huidige oppervlak van de 'Vlakte van de Raan' zich onder de zeespiegel situeert, kunnen we aannemen dat het belangrijkste deel van sporen, zoniet alle sporen, weggespoeld zijn. Dit sluit echter niet uit dat op de hogere delen van de zandbanken nog sporen *in situ* kunnen opduiken of dat nog heel wat restpuin kan voorkomen. Het centrale gedeelte van het eiland 'Wulpen' is wellicht verloren, omdat de geul van de 'Wielingen' hier alles heeft uitgeschuurd.

Referenties

- Augustijn B. (1992). Zeespiegelrijzing, transgressiefasen en stormvloed in Maritiem Vlaanderen tot het eind van de XVIde eeuw. Een landschappelijke, ecologische en klimatologische studie in historisch perspectief, Brussel.
- Baeteman C. (2006). De laat holocene evolutie van de Belgische kustvlakte: sedimentatieprocessen versus zeespiegelschommelingen en Duinkerke transgressies, manuscript.
- Bossu J. (1983). Vlaanderen in oude kaarten, drie eeuwen cartografie. Tielt-Bussum.
- Bossu J. Van de Wielingen tot de hoofden. De Vlaamse kust in de oude cartografie. Met zicht op zee: 44-47.
- Bindoff S.T. (1945). The Scheldt question to 1839. London.
- Buntinx W. (1968). Waterdunen, een vergeten stad in Zeeuws Vlaanderen. Handelingen van de Maatschappij voor Geschiedenis en Oudheidkunde van Gent, XXII: 145-174.
- Cools E. (1985). De Romeinse kustverdediging van Maritiem Vlaanderen. Werkhypothesen voor een systematische prospectie. Westvlaamse Archaeologica, 1: 16-27.
- Coornaert M. (1989). Het tienderecht in de oorspronkelijke parochie Oostkerke en op het eiland Wulpen met de topografie en de geschiedenis van Wulpen. Rond de Poldertorens, XXXI (1): 5-35; (2): 3-32; (3): 3-43 en (4): 3-36.
- Gottschalk M.K.E. (1983). Historische geografie van westelijk Zeeuws-Vlaanderen, 2 dln., Assen, 1955-1958. Tweede druk, Dieren.
- Gysseling X. en Koch A. (1950). Diplomata Belgica ante annum millesimum centesimum scripta, Tongeren, 143: 252-253.
- Van der Hertten B. (1998). Het Brugse Vrije in beeld. Facsimile-uitgave van de Grote kaart geschilderd door Pieter Pourbus (1571) en gekopieerd door Pieter Claeissens (1601), Leuven.
- Van Strydonck M. en de Mulder G. (2000). De Schelde. Verhaal van een rivier, Leuven.
- Verhulst A. (1995). Landschap en Landbouw in Middeleeuws Vlaanderen, Brussel.
- Vermeersch F. (1982). Brugge en de zee, Antwerpen.
- Vos R. en Van Heeringen R. (1996). Paleogeografische kaarten van Zeeland (1/500.000), Haarlem.
- Wintein W. (2001). Historische geografie van de Zwinstreek. Een stand van Zaken. Bijdragen tot de geschiedenis van West-Zeeuws-Vlaanderen, 29: p.9-54.

Kaartmateriaal

Antwerpen Stadsarchief (SAA)

- Kaart van de Scheldeloop van Rupelmonde tot de zee, 1505. Gepubliceerd in: Denuce J. (1925). De loop van de Schelde van de zee tot Rupelmonde. Antwerpen. En in Gottschalk M.K.E. en Unger W.S. (1950). De oudste kaarten der waterwegen tussen Brabant, Vlaanderen en Zeeland. Tijdschrift van het Koninklijk Nederlands Aardrijkskundig Genootschap, LXVII (2): 146-164.

Brugge, Stadsarchief

- Kaart van het Brugse Vrije, P. Pourbus, 1561-1571. Afgebeeld in Verhulst (1995). p. 34 en volgende.

Gent, Rijksarchief (RAG), kaarten en plannen

- Nr. 5. kaart van de Zeeuwse delta rond 1300; de zgn. Dampierrekaart³
- Nr. 13. Kaart van de Scheldemonding in 1288, Lieven van Thuyne (1617)
- Nr. 351. Kaart van het Scheldegebied
- Nr. 352. kaart van de Scheldemonding (afgebeeld in Buntinx, 1968, p.146)
- Nr. 591. Kaart van de Zwinmond en het eiland Kadzand, ca.1550
- Nr. 595, kaart van de streek rond het Zwin en de Westerschelde, J.Horenbault, 1622
- Nr. 617. Kaart van de Zuidzeepolder, F. Van de Velde (1542).
- Nr. 2082. Kaart van de Zwinmond en het eiland Kadzand, ca.1550
- Nr. 2594, kaart van de Zeeuwse delta rond 1300

Archieven

Brugge, Rijksarchief,

Burg Brugge, nr.1073, leenregister 1381

Burg Brugge, nr.1074, leenregister 1384

Burg Brugge, nr.1075, leenregister 1435

Gent, Rijksarchief, Archief Sint-Baafsabdij, oorkonden, nr.531 (gepubliceerd in Buntinx, 1968, bijlage en in (gedeeltelijke) vertaling door Coornaert, 1989, nr.1, p.27-29.)

Brugge, Bisschoppelijk archief, archief van de Duinenabdij, Bevestiging van de schenking ten voordele van de abdij Ter Doest op Wulpen, 1213 (gepubliceerd in F.Van de Putte, Cronica et cartularium monasterii de Dunis, Brugge, 1984, p.490)

³ De Dampierrekaart, lange tijd als een falsum beschouwd, werd door Augustijn overtuigend gerehabiliteerd en als een mogelijke copie van de hand van landmeter Frans van de Velde beschouwd. Een copie van de kaart wordt eveneens afgebeeld als inzetstuk op de kaart van Vlaanderen van A. Ortelius in de Atlas *'Theatrum Orbis Terrarum'*, Antwerpen, 1595.

Reconstructies

Van de eilandendispositie zijn volgende reconstructies opgemaakt:

Gottschalk, 1955, deel 1, kaart van Westelijk Zeeuws-Vlaanderen overgenomen en aangevuld door Buntinx, 1968, p.152.

Coornaert, 1974, p.350 (kaart van de Vlaamse kustvlakte ca.1180) en p.353 (kaart van de Vlaamse Kustvlakte ca.1300) en verder nog p.358 (kaart van het Zwin begin 16de E.); 1989, 1, p. 32 (kaart van de delta van de Sincfala en de Honte, ca.1230).

Augustijn, 1998, p.354 overgenomen in Verhulst, 1995, p.65.

De paleogeografische kaarten van Devos en Van Heeringen (1995), gedeeltelijk overgenomen door Wintein (2001) zijn voor deze periode althans geïnspireerd op Gottschalk.

DE VLAKTE VAN DE RAAN IN ARCHEOLOGISCH PERSPECTIEF

Inge Zeebroek¹, Ine Demerre^{1,2}, Tom Lenaerts¹ en Marnix Pieters¹

¹ Vlaams Instituut voor het Onroerend Erfgoed (VIOE), Koning Albert II-laan 19-bus 5, B-1210 Brussel, België. Email: inge.zeebroek@rwo.vlaanderen.be

² Provinciaal Museum Walraversijde, Nieuwpoortsesteenweg 636, B-8400 Oostende, België. Email: ine.demerre@rwo.vlaanderen.be

1. Inleiding

Met deze bijdrage wordt een eerste overzicht gepresenteerd van de beschikbare informatie over de in het onderzoeksgebied aanwezige archeologische erfgoedwaarden. Het spreekt voor zich dat in dit stadium van het onderzoek – vooral gezien de korte historiek van de cel maritieme archeologie en varende erfgoed – dit overzicht enkel de huidige stand van zaken weergeeft en geen finale synthese kan zijn, noch een betrouwbare prognose van het potentieel van deze zone op archeologisch vlak. Hiervoor is verder onderzoek nodig, zowel op het terrein zelf als in de literatuur, archieven, musea en particuliere collecties.

De begrenzing van het onderzoeksgebied, overgenomen uit het juni-nummer van de Grote Rede (Desnerck et al., 2006), is aangeduid op Fig. 1. Het gebied is dus een stuk groter dan de eigenlijke top van de zandbank 'Vlakte van de Raan', zoals aangeduid op de zeekaarten gerealiseerd door de Vlaamse Hydrografie van MD&K (Maritieme Dienstverlening en Kust).

De beschikbare informatie bestaat enerzijds uit gegevens geput uit archeologische en historische literatuur en anderzijds uit de gegevens aanwezig in vier databanken (www.maritieme-archeologie.be, www.vlaamsehydrografie.be, www.thewrecksite.com en de databank ArchisII van de Rijksdienst voor archeologie, cultuurlandschap en monumenten (RACM)). Deze informatiebronnen hebben zowel betrekking op verdronken nederzettingen, gebeurtenissen, geïsoleerde artefacten als op scheeps- en andere wrakken.

Slechts een handvol archeologische sites uit het onderzoeksgebied zijn ook nader archeologisch onderzocht zoals de zgn. Zeebrugge-site (Vandenberghe, 1997, 2006; Van Dromme, 2006) en het scheepswrak 't Vliegent Hart (Van der Horst, 1991; Hildred, 2001). Een groot deel van de voorwerpen geborgen op de wraksite van 't Vliegent Hart zijn te zien in het Zeeuws Maritiem MuZEEum (Weber, 2006) te Vlissingen. Beide archeologische sites worden kort apart besproken aan de hand van de beschikbare literatuur.

2. Wraksites in het onderzoeksgebied

2.1. Een overzicht

Al de uit het onderzoeksgebied gekende wraksites (Fig. 1) worden zowel chronologisch als geografisch in groepen verdeeld (Table I). De lijst met de wraksites waarop de analyse is gebaseerd, is toegevoegd in een bijlage achteraan deze bijdrage. Over een aantal van deze is verspreid in de literatuur bijkomende informatie te vinden zoals bijvoorbeeld over de UC-14 in een publicatie van Termote (1999).

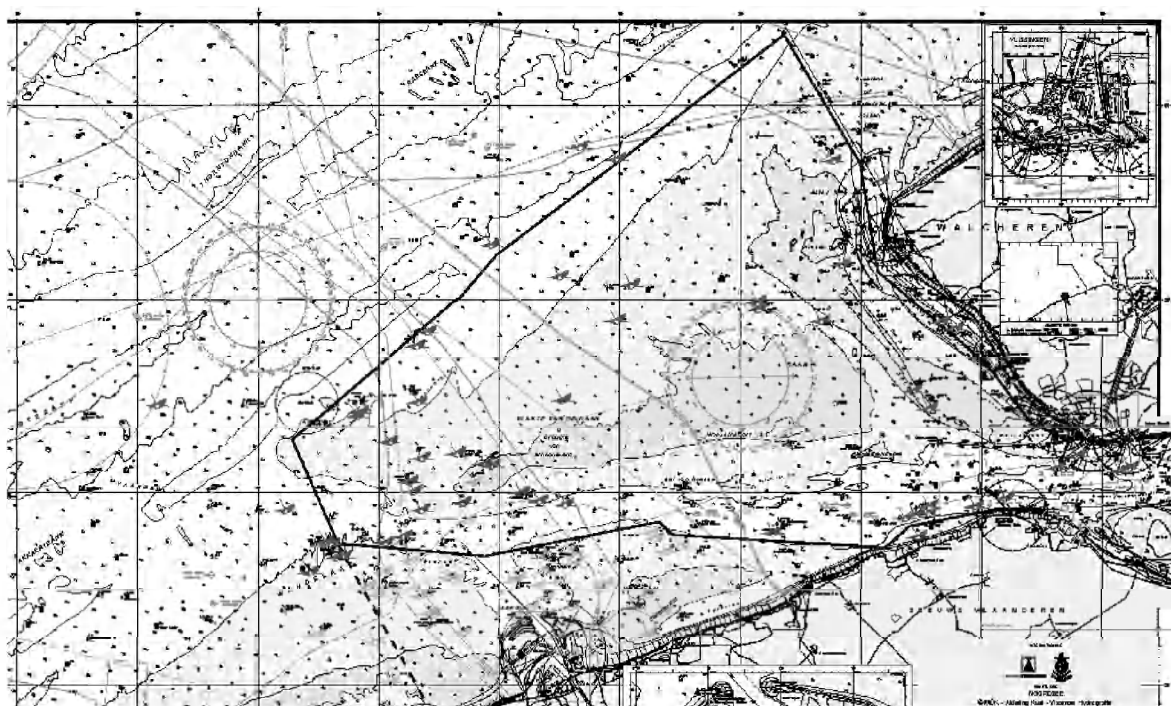


Fig. 1. Overzichtskaart met aanduiding van de in deze bijdrage behandelde archeologische sites.

Tabel I. Wrakken op de 'Vlakte van de Raan', chronologisch ingedeeld naar geologische locatie.

	'Vlakte van de Raan' België	'Vlakte van de Raan' Nederland
15 ^{de} – 18 ^{de} eeuw	2	3
19 ^{de} eeuw	1	2
20 ^{ste} eeuw	5	5
WOI	3	1
WOII & WOII/I	4	4
Niet gedateerd	8	9
TOTAAL	23	24

De tabel en de bijlagen laten onmiddellijk enkele vaststellingen toe. Er is in het onderzoeksgebied enkel informatie beschikbaar over de periode na 1500. Het ensemble wordt volledig gedomineerd door sites uit de vorige eeuw domineren, samen met ongedateerde sites. Bij de oudere sites komt vooral de Verenigde Oostindische Compagnie (VOC) naar voor. Dit is ongetwijfeld voor een stuk te wijten aan de nabijheid van Middelburg, één van de belangrijkste centra van de VOC.

In absolute aantallen is er weinig verschil aan te duiden tussen het Belgische deel en het Nederlandse deel van het onderzoeksgebied, alleen is het Belgische deel opmerkelijk kleiner in oppervlakte, dus rijker aan archeologische sites. Maar het feit dat sites uit de 20^{ste} eeuw in de aantallen domineren en het grote gewicht van niet gedateerde sites maant tot voorzichtigheid bij conclusies. Vermits beide aspecten er vooral op wijzen dat tot nog toe relatief weinig onderzoek is verricht naar deze wraksites. Gestructureerd onderzoek kan ongetwijfeld op korte termijn het beeld grondig wijzigen.

Wat de ruimtelijke spreiding betreft, valt op dat het centrale deel van de 'Vlakte van de Raan' zo goed als vrij is van wraksites, terwijl een grote concentratie aanwezig is ten noordwesten van Zeebrugge. Het onderzoek is nog niet ver genoeg gevorderd om deze spreiding te verklaren, maar de grote concentratie ten noordwesten van Zeebrugge is wellicht voor een deel te wijten aan de aanwezigheid van een Duitse duikbootbasis te Brugge/Zeebrugge. Het centrale deel van de 'Vlakte van de Raan' is ook het meest ondiepe deel, dus een zone te mijden voor de scheepvaart, wat de schaarste aan wrakken kan verklaren. De aanwezigheid van een duikbootbasis te Brugge/Zeebrugge ligt waarschijnlijk ook aan de basis van de iets betere vertegenwoordiging van WOI wrakken binnen het Belgische deel van de 'Vlakte van de Raan'.

2.2. 't Vliegent Hart

In de literatuur is sprake van twee verschillende benamingen voor dit schip: vliegend hart en vliegend hert. Daardoor bestaat enige onduidelijkheid. Het is maar een letter verschil, maar het betekenisverschil is wel heel groot. Een 'vliegend hert' is wel een thema dat gekend is, bijvoorbeeld onder de voorstellingen aanwezig op Vlaamse haardstenen, zoals aangetoond door het onderzoek naar de pottenbakkerij Dupont te Poperinge (Adriaen en Adriaen, 2006). Het is als naam voor een schip wel zinvol, gezien de te verwachten en zeer goed op een schip toe te passen kenmerken van een hert dat kan vliegen: snel en gracieus. Bovendien komt in het familiewapen van Johan van Buytenhem, één van de bewindhebbers en ook burgemeester van Vlissingen, een springend hert voor.

Over het onderzoek naar dit scheepswrak is al heel wat gepubliceerd (o.a. Weber, 1987; Van der Horst, 1991; Arent en Jacobi, 1993; Hildred, 2001). Mörzer Bruyns en Van der Horst (2006) rapporteerden zeer recentelijk nog over de navigatie-instrumenten aangetroffen op de wraksite.

't Vliegent Hart verdween begin februari 1735, slechts enkele uren na het vertrek van de rede van Vlissingen, onder de golven. Pas in 1981 werden de eerste resten van het wrak opnieuw gelokaliseerd (Van der Horst, 1991). De historie van dit schip is een goed voorbeeld van het vaak complexe traject (Muckelroy, 1978; Gibbs, 2006) dat wordt afgelegd voordat een schip als wrak op de bodem van de zee belandt, een traject dat de interpretatie van de materiële resten sterk bemoeilijkt. Eerst en vooral zijn allerlei dingen weggedreven: dit is vastgesteld door de opvarenden van de loodsboot de Mercurius, maar ook werden in de weken en maanden na het vergaan acties ondernomen om de op de Vlaamse kust (o.a. te Blankenberge en Nieuwpoort) aangespoelde goederen terug te vorderen. Een groot deel van de losliggende dingen die konden drijven zijn dus reeds op het moment van de schipbreuk verwijderd uit het ensemble.

Ook werden daarna met wisselend succes allerlei bergingspogingen ondernomen. Door deze activiteiten verlieten heel wat objecten de wraksite: 700 flessen wijn, een ijzeren kanon, tin uit de kajuit, zware touwen, ... om er slechts enkele te noemen. Desondanks is het ensemble van voorwerpen dat in de periode 1981-2000 werd geborgen van deze wraksite nog imposant te noemen (Van der Horst, 1991). Spijtig genoeg zijn de vondsten niet in zijn geheel bestudeerd en gepubliceerd. Tot de vondsten behoren bijvoorbeeld dichtgesoldeerde loden vaten met tabak, plat-ronde loden containers dienden dan weer om kazen te verpakken (Van der Horst, 1991). Belangrijk in deze context is te vermelden dat het scheepswrak zich onder ongeveer 1m afdekkend bodemsediment bevond, wat er zou kunnen op wijzen dat de 'Vlakte van de Raan' een geschikte omgeving is wat de bewaring van scheepsresten betreft. Wrakresten worden blijkbaar na verloop van tijd afgedekt en op die wijze efficiënt beschermd tegen zowel fysico-chemische als biologische degradatie.

Dezelfde dag waarop 't Vliegend Hart schipbreuk leed, was enkele uren tevoren de Anna Catharina ook reeds in de golven verdwenen (Van der Horst, 1991). Tot op heden zijn de wrakresten van dit schip, voor zover bekend, nog niet gelokaliseerd. Het onderzoeksgebied bevat dus de resten van twee VOC-schepen die op dezelfde dag vergaan zijn en die ook samen waren uitgevaren: een bijzondere situatie voor de studie van de materiële leefwereld binnen de context van de door de VOC uitgeruste schepen.

2.3. De Zeebrugge-site

Op deze plaats zijn sinds 1990 ettelijke honderden, vooral metalen voorwerpen, uit het water gehaald die globaal genomen kunnen gedateerd worden in de periode late 15^{de} - begin 16^{de} eeuw. Twee laatmiddeleeuwse munten uit de periode eerste helft/midden 15^{de} eeuw en wellicht afkomstig uit het gebied van de Middellandse Zee verschaffen wellicht een '*terminus post quem*' voor het ensemble. De meerderheid van deze voorwerpen is vervaardigd uit brons of messing: het betreft kandelaars, pijlgewichten, mortieren, vijzels, een grape op drie poten, onderdelen van tapkranen, ... Daarnaast werden ook voorwerpen in tin, ijzer, lood, been, hout en steen aangetroffen, waaronder een gietvorm voor een insigne/medaille met de voorstelling van de 'Mis van de Heilige Gregorius'. Bij de aangetroffen voorwerpen bevinden er zich ook een groot aantal uit de religieuze sfeer. Voor een meer volledige lijst van de aangetroffen voorwerpen verwijzen we de lezer graag naar de bijdragen van Vandenberghe (1997, 2006) omtrent dit ensemble. De meest in het oog springende vondst is ongetwijfeld een goed bewaarde smeedijzeren bombarde die bij het aantreffen nog met het originele touwwerk aan het houten onderstel verbonden was (Van Dromme, 2006). Resten van een schip werden evenwel niet waargenomen. De aanwezigheid van grote hoeveelheden identieke voorwerpen doet vermoeden dat het om een deel van de lading van een vrachtschip gaat. De afwezigheid van resten van een scheepswrak maakt de interpretatie van dit ensemble echter niet gemakkelijker. Dit ensemble illustreert ook zeer goed de complexiteit van onderzoek op zee in weinig gunstige omstandigheden.

De hierboven vermelde bombarde staat sinds 2005 – na jaren conservatie – opgesteld in de ontvangsthal van het hoofdkantoor van de haven van Zeebrugge (MBZ). De overige voorwerpen van deze uitzonderlijke collectie worden bewaard door de vzw Maritieme Archeologie en een selectie was onlangs nog te zien op de tentoonstelling 'Verdronken Verleden-Drowned Past' die plaats vond in het Provinciaal Hof te Brugge van 1 tot 30 september 2006.

3. Verdronken nederzettingen in het onderzoeksgebied

Bij een vergelijking van de huidige Scheldemonding met deze van omstreeks 1300 AD, zoals afgebeeld door Verhulst (1995), vallen onmiddellijk een groot aantal verschillen op. De toenmalige kustlijn lag een heel eind verder in zee, ongeveer ter hoogte van de denkbeeldige rechte lijn Blankenberge-Westkapelle. Het land reikte ook tot voorbij de havendammen van de haven van Zeebrugge (Verhulst, 1995). De driehoekige vorm van de huidige monding was omzeggens volledig ingevuld met een aantal eilanden: 'Waterdunen' (Buntinx, 1968), 'Wulpen' en 'Koezand', waarvan de ligging in grote lijnen kan afgeleid worden uit geschreven en iconografische bronnen. Van het eiland 'Schoneveld' daarentegen is enkel het bestaan gekend (Kuipers, 2004). Het verdwijnen van deze eilanden in de Scheldemonding is een verschijnsel analoog aan de kusterosie, die plaats greep in de periode late 14^{de} - 15^{de} eeuw langsheen de Vlaamse kust en die toen heel wat land samen met de eropliggende nederzettingen in zee deed belanden. Voorbeelden van hiervan zijn Walraversijde (Kightly *et al.* 2000, 2003), Mariakerke, Oostende (Laurent, 1986), Blankenberge en Heist.

Vanuit archeologische hoek is aan dit gegeven in België, voor wat betreft de Scheldemonding, tot nog toe geen of haast geen aandacht geschonken. Er bevindt zich hieromtrent voorlopig ook geen informatie in de databank maritieme-archeologie. Het leidt geen twijfel dat van die periode nog relictten aanwezig zijn in het huidige mondingsgebied van de Schelde, alleen is er nog niet actief naar gezocht.

Historische onderzoek daarentegen is wel al verricht, zoals de studie van Buntinx (1968) over 'Waterdunen' aantoont. Voor meer uitgebreide informatie omtrent de geografische evolutie van de Scheldemonding verwijzen we naar een eerdere bijdrage in deze bundel (Termote, 2006).

In het Nederlandse deel van het onderzoeksgebied zijn daarentegen wel enkele sites – andere dan wraksites – geregistreerd. Het betreft o.a. een aantal pre- en protohistorische vondsten, zoals een bronzen hielbijl en vuurstenen artefacten en restanten van iets wat wellicht als een dijkstructuur is te interpreteren.

4. Synthese en discussie

De vondsten van de Zeebrugge-site vertegenwoordigen tot nog toe het oudste archeologische ensemble afkomstig van de 'Vlakte van de Raan'. Het uitzonderlijke karakter van dit ensemble maakt een verder onderzoek van de site en zijn onmiddellijke omgeving zeker de moeite waard. Een dergelijk onderzoek kan bijdragen tot de interpretatie van dit bijzonder intrigerend ensemble.

Daarnaast bevinden zich in dit gebied ook de resten van misschien wel vier VOC-schepen. Van slechts één hiervan is de exacte lokalisatie met zekerheid gekend. Daarnaast bevat het gebied ook een staalkaart van scheepswrakken uit de periode 19^{de} - 20^{ste} eeuw. Zeker in het Belgische deel zijn resten uit WOI goed vertegenwoordigd. Kortom, vanuit archeologisch standpunt is dit gebied zeker de moeite waard. De aanwezige materiële bronnen belichten immers op de aan materiële bronnen geëigende manier de geschiedenis van de ruimere regio. Maar zoals gezegd kan niet genoeg worden benadrukt dat het gebied archeologisch gezien nog '*terra incognita*' moet genoemd worden.

Referenties

- Adriaen J. en Adriaen M. (2006). Het aardewerk van de pottenbakkerij Dupont te Poperinge. Van Mensen en Dingen, IV-3: 193-328.
- Arent P. en Jacobi H. (1993). De schat van het Vliegend Hert. Compagniesgeld en smokkelgeld uit een VOC-schip, Leiden.
- Augustijn B. (1992). Zeespiegelrijzing, transgressiefasen en stormvloed in Maritiem Vlaanderen tot het einde van de XVIde eeuw, 2 vol. Brussel. 731 pp.
- Buntinx W. (1968). Waterdunen, een vergeten stad in Zeeuws-Vlaanderen. Handelingen van de Maatschappij voor Geschiedenis en Oudheidkunde te Gent, XXII: 1-30.
- Desnerck R., Devos M., Haspeslagh J., Lanszweert W., Parmentier J., Seys J., Termote T. en Van Cauwenberghe C. (2006). Zeewoorden verklaard: De Vlakte van de Raan. De Grote Rede, 16: 25-26.
- Gibbs M. (2006). Cultural site formation processes in maritime archaeology: disaster response, salvage and muckelroy 30 years on. The International Journal of Nautical Archaeology, 35(1): 4-19.
- Hildred A. (Ed.). VOC Anniversary Shipwreck Project. Report on the excavation of the Dutch East Indiaman Vliegend Hart. July – August 2000. 60 pp.
- Rightly C., Pieters M., Tys D. en Erynck A. (2000). Walraversijde 1465. De bloeiperiode van een vissersdorp aan de zuidelijke Noordzeekust.

- Kightly C., Pieters M., Gevaert G., Denis H. en Goigne J. (2003). Walraversijde 1465 van archeologische opgraving tot daadwerkelijke reconstructie.
- Kuipers J.J.B. (2004). Sluimerend in Slik. Verdrongen dorpen en verdrongen land in zuidwest Nederland. Stichting Cultureel Erfgoed Zeeland. 120 pp.
- Laurent R. (1986). De havens aan de kust en aan het Zwin (doorheen oude plannen en luchtfoto's), Brussel.
- Mörzer Bruyns W.F.J. en Van der Horst A.J. (2006). Navigational equipment from 't Vliegend Hart (1735). *The International Journal of Nautical Archaeology*, 35(2): 319-325.
- Muckelroy K. (1978). *Maritime archaeology, new studies in maritime archaeology*. Cambridge, London, New York, Melbourne. 270 pp.
- Termote T. (1999). Verdwenen in de Noordzee. De geschiedenis van de Duitse U-boten aan de Belgische kust in de Eerste Wereldoorlog en opheldering over het lot van vijftien verdwenen onderzeeërs, Erpe. 164 pp.
- Termote J. (2006). De Vlake van de Raan in een historisch-geografisch perspectief. In: *De Vlake van de Raan van onder het stof gehaald*. Coosen J., Mees J., Seys J. en Fockedeij N. (Eds.). VLIZ Special Publication, 35: huidig volume.
- Vandenberghe S. (1997). Découvertes importantes de la fin du 15ième et le début du 16ième siècle provenant du fond de la mer du Nord en face du port de Zeebrugge. p. 87-90. In: *Travel Technology & Organisation in Medieval Europe*. De Boe G. en Verhaeghe F. (Eds.). *Papers of the 'Medieval Europe Brugge 1997' Conference*. Volume 8, I.A.P. Rapporten 8, Zellik.
- Vandenberghe S. (2006). Belangrijke vondsten van de Zeebrugge-site. p. 19-20. In: *Colloquium: Ter zee of niet ter zee – 2de international colloquium over maritieme en fluviale archeologie in het zuidelijke Noordzeegebied*. Brugge (B), 21-23 September 2006. Pieters M., Gevaert G., Mees J. en Seys J. (Eds.). VLIZ Special Publication 32, Oostende, Belgium.
- Van der Horst A.J. (1991). Met geen drooge oogen om tesien. De ondergang van het VOC-retourschip 't Vliegend Hart in 1735. *De Bataafsche Leeuw*, Amsterdam. 81 pp.
- Van Dromme M. (2006). Conservering van een smeedijzeren bombarde afkomstig van de Zeebrugge-site. p. 21-22. In: *Colloquium: Ter zee of niet ter zee – 2de international colloquium over maritieme en fluviale archeologie in het zuidelijke Noordzeegebied*. Brugge (B), 21-23 September 2006. Pieters M., Gevaert G., Mees J. en Seys J. (Eds.). VLIZ Special Publication 32, Oostende, Belgium.
- Verhulst A. (1995). *Landschap en Landbouw in Middeleeuws Vlaanderen*. Gemeentekrediet. 191 pp.
- Weber W. (1987). Een gezonken V.O.C. schip. 't Vliegend Hart. Middelburg.
- Weber W. (2006). Een Nederlander kent zijn eigen verleden niet meer, de 't Vliegend Hart collectie is daarom schijnbaar verstopt in het MuZEEum. p. 87-90. In: *Colloquium: Ter zee of niet ter zee – 2de international colloquium over maritieme en fluviale archeologie in het zuidelijke Noordzeegebied*. Brugge (B), 21-23 September 2006. Pieters M., Gevaert G., Mees J. en Seys J. (Eds.). VLIZ Special Publication 32, Oostende, Belgium.

Websites - Databanken

www.maritieme-archeologie.be
www.thewrecksite.com
www.vlaamsehydrografie.be
www.vocshipwrecks.nl

Bijlage

Lijst van in dit overzicht opgenomen wraksites. De informatie is afkomstig uit de vier eerder vermelde databanken.

België

- ZZ B 124/312: Zeebrugge-site, eind 15de - begin 16de eeuw
- ZZ 129/306b, 'Mliegent Hart: 1729-1735, VOC
- ZZ 126/309d: onbekend wrak, mast en tuig waargenomen in 1888
- ZZ 129/306a, Z-442 André Jeanine: 1941-1961, Belgisch
- ZZ B 123/301, Neutron: 1965 Nederlands
- ZZ B 123/305, Capella: 1987, Frans, opgeruimd
- ZZ 123/303, N-12 Arthur: 1997, Belgisch, opgeruimd
- ZZ 125/310: onbekend 20ste eeuws wrak
- ZZ B 124/305, Maori HMS: 1915, Brits, opgeruimd
- ZZ B125/306a, UC-4?: 1918, Duits, gedeeltelijk opgeruimd
- ZZ B125/306b, UB-59 / UC-4 / C-31?: Duits of Brits, 1918
- ZZ B 127/304a & b: onbekend 20ste eeuws wrak
- ZZ B 123/303 a & b, Samsip: 1944, Amerikaans
- ZZ B 127/306, LST-80: 1943-1945 (mijn), Brits
- ZZ B 125/311, Samselbu (voorschip): 1944 – 1945, Brits
- ZZ B 124/306: onbekend wrak
- ZZ B 124/308: onbekend wrak
- ZZ 126/309 b: onbekend wrak
- ZZ 126/309 c: onbekend wrak
- ZZ 125/313: onbekend wrak
- ZZ 123/302: onbekend wrak
- ZZ 124/300: onbekend wrak, opgeruimd
- ZZ B 126/309 a: onbekend wrak

Nederland

- 38310 a, Walcheren?, Nederlands
- 38339: 17-19de eeuw, VOC?
- 48501 Woestduyn? (1779), Nederlands, VOC?
- 46722: houten vissersschip, vóór 1883, Belgisch
- 38334, Caesum Sletten: vóór 1901
- 38336, Loodsschoener 15: 1911, Belgisch
- 48514, Vestland ? : 1925, Deens
- 50822: onbekend wrak, na 1850
- 38310 b: onbekend wrak
- 49426: onbekend wrak
- 131/308, UC-14: 1917, Duits
- 49427: onbekend wrak
- 46694: onbekend wrak, wellicht Duits
- 124/321, Fort Maisonneuve: 1944, Canadees
- 400783, B-17?: 1944, Amerikaans
- 38308: onbekend wrak
- 46850: onbekend wrak
- 46849: onbekend wrak
- 46851: onbekend wrak
- 38309: onbekend wrak
- 38312: onbekend wrak
- 38307: onbekend wrak
- 46852: onbekend wrak
- 131/309: onbekend wrak

ZEEVOGELS EN ZEEZOOGDIEREN VAN DE VLAKTE VAN DE RAAN

Wouter Courtens, Eric W.M. Stienen en Nicolas Vanermen

Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO), Kliniekstraat 25, B-1070 Brussel, België. Email: wouter.courtens@inbo.be

Samenvatting

De ornithologische waarde van het Belgische gedeelte van de 'Vlakte van de Raan' wordt beschreven aan de hand van gestandaardiseerde tellingen van zeevogels vanaf schepen. In alle jaargetijden wordt de avifauna op de 'Vlakte van de Raan' gedomineerd door algemeen voorkomende grote meeuwen. Toch zijn er enkele specifieke ornithologische waarden die het gebied kenmerken en bijzonder maken. Het gebied blijkt vooral aantrekkelijk te zijn voor duikende zeevogels, die afhankelijk zijn van pelagische vis aanwezig in de bovenste waterlaag. Het gebied (en vooral dan het zuidelijke deel ervan) vervult een functie als foerageergebied voor zeevogels die in de voorhaven van Zeebrugge (en ook wel op de 'Hooge Platen') broeden, waarvan de visdief *Sterna hirundo* en grote stern *S. sandvicensis* het meest noemenswaardig zijn. In de winter wordt hun plaats ingenomen door viseters als roodkeelduiker *Gavia stellata* en fuut *Podiceps cristatus*. Daarnaast heeft de 'Vlakte van de Raan' voor een aantal zeevogels een uitgesproken belang als migratiecorridor, vooral voor dwergmeeuw *Larus minutus*, kleine mantelmeeuw *L. fuscus*, visdief en grote stern. Hoewel er in het gebied een aantal keren bruinvissen *Phocoena phocoena* zijn waargenomen, lijkt het niet van uitgesproken belang voor zeezoogdieren. Er wordt geconcludeerd dat de 'Vlakte van de Raan' en omgeving weliswaar niet tot de prioritair te beschermen gebieden behoren wat de avifauna betreft, maar dat het wel een zeer specifieke functie vervult voor een aantal vogelsoorten. Op de Biologische Waarderingskaart van de Zee worden het grootste deel van de 'Vlakte van de Raan' dan ook aangemerkt als zeer waardevol voor de avifauna.

1. Introductie

Zeevogels behoren tot de meest opvallende organismen van het mariene ecosysteem. Ze worden dan ook al heel lang bestudeerd en geteld vanaf enkele markante punten langs de Belgische kust. De eerste publicaties over zeetrekwaarnemingen dateren al van de jaren zestig (o.a. Vande Weghe en Van Impe, 1964; Bulteel en Van der Vloet, 1969). Daarna werd het waarnemen van zeevogels steeds populairder, werd op verschillende telposten met enige regelmaat geteld en volgden de publicaties elkaar in snel tempo op.

Vanaf de jaren zeventig werden ook de eerste tellingen op zee georganiseerd (Joiris, 1972). Die gaven een geheel ander en verrassend beeld van de avifauna van onze Noordzee. Toch duurde het nog tot het begin van de jaren negentig voor de eerste gestandaardiseerde tellingen werden uitgevoerd door het Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek (INBO, destijds het Instituut voor Natuurbehoud). In eerste instantie werden deze tellingen uitgevoerd met fondsen van het Wereldnatuurfonds en later met de financiële steun van het Federale Wetenschapsbeleid en de Beheerseenheid van het Mathematisch Model van de Noordzee (BMM).

In 2002 werden er geen fondsen meer voorzien voor systematische zeevogeltellingen. Doordat het Vlaams Instituut voor de Zee (VLIZ) vanaf 2001 het onderzoeksschip 'Zeeleeuw' ter beschikking stelde aan mariene onderzoekers, nam het onderzoek naar zeevogels vanaf dan evenwel een hoge vlucht. De tellingen werden geïntensiveerd en er werden vaste monitoringroutes uitgestippeld, die maandelijks bevaren worden door onderzoekers van het INBO. Anno 2006 beschikt het INBO zodoende over een zeer uitgebreid bestand met bijna 17 000 datapunten.

In eerste instantie hadden de tellingen vooral een beschrijvend karakter. Tot dan toe was er immers zo goed als niets bekend over de spatiële en temporele verspreiding van zeevogels. In 1996 werd een eerste atlas gepubliceerd die een goed beeld gaf van het ornithologische belang van de Belgisch zeegebieden (Offringa *et al.*, 1996). In 2001 werd daar een meer uitgebreide en ecologische beschrijving van de mariene avifauna aan toegevoegd (Seys, 2001). De studie van Seys had vooral als doel de zeevogelgegevens bruikbaar te maken voor het beleid.

In 2004 resulteerde dat in de uiteindelijke identificatie van belangrijke vogelgebieden op zee die in aanmerking komen voor bescherming (Haelters *et al.*, 2004). Op 14 oktober 2005 werden de voorgestelde gebieden bij Koninklijk Besluit effectief afgebakend en beschermd als zogenaamde Vogelrichtlijngebieden. Het betrof hier drie gebieden in de kustnabije zone. Het eerste bevindt zich voor Koksijde en De Panne en is vooral van belang voor de bescherming van grote stern *Sterna sandvicensis* en fuut *Podiceps cristatus*. Het tweede gebied, voor het strand van Middelkerke tot Bredene, is belangrijk voor fuut en zwarte zee-eend *Melanitta nigra*. De derde zone bevindt zich rond de haven van Zeebrugge en werd geselecteerd als belangrijkste gebied voor de drie sternensoorten (dwergstern *Sterna albifrons*, visdief *S. hirundo* en grote stern) en als concentratiegebied voor dwergmeeuw *Larus minutus*.

Klaarblijkelijk werd aan de 'Vlakte van de Raan' en omgeving dus vanuit beschermingsoogpunt geen speciaal ornithologisch belang toegekend. Dat wil echter niet zeggen dat dit gebied geen specifieke betekenis heeft voor de mariene avifauna. Seys (2001) zegt het volgende over de 'Vlakte van de Raan': 'Het is een geschikt foerageergebied voor sternen in het voorjaar en de zomer, het herbergt belangrijke aantallen futen in de winter en dwergmeeuwen in voorjaar/herfst'. Ook Arts en Meininger (1995) en Offringa en Meire (1997) onderkennen het belang van de 'Vlakte van de Raan' als foerageergebied voor sternen. Stienen *et al.* (2002a & b) voegden daar nog aan toe dat het gebied een belangrijke migratiecorridor is voor sternen (met name visdief en grote stern) en meeuwen (voornamelijk dwergmeeuw en kleine mantelmeeuw *L. fuscus*). In Haelters *et al.* (2004) wordt de 'Vlakte van de Raan' (en de 'Droogte van Schooneveld') specifiek genoemd als een gebied met hogere dichtheden van fuut (9% van alle futen in de Belgische zeegebieden).

In de onderhavige studie wordt de ornithologische waarde van het Belgische gedeelte van de 'Vlakte van de Raan' (inclusief de 'Droogte van Schooneveld') nader toegelicht en worden de avifaunistische kenmerken van het gebied in een breder ecologisch perspectief geplaatst. Tevens wordt er kort ingegaan op het voorkomen van zeezoogdieren in het gebied.

2. Materiaal & Methode

Deze studie is grotendeels gebaseerd op de uitgebreide INBO-dataset met gegevens over zeevogel- en zeezoogdiertellingen die werden uitgevoerd in de periode september 1992 - december 2004. De dataset bevat gestandaardiseerde tellingen die vooral gedaan werden vanaf de onderzoeksschepen 'Belgica' en 'Zeeleeuw', en (vooral in de jaren negentig) vanaf ferry's en andere schepen. De telmethodiek is conform de internationaal gehanteerde ESAS-methode (European Seabirds at Sea). Daarbij worden zowel zittende als vliegende vogels (en zeezoogdieren) geteld die zich binnen een afstand van 300m van het schip bevinden (voor meer details zie Tasker *et al.*, 1984 en Komdeur *et al.*, 1992).

De tellingen zijn onderverdeeld in periodes van maximaal 10 minuten, waarbij de positie van het schip herleid wordt tot het middelpunt tussen het begin en het einde van de telperiode. De gebruikte methodiek laat toe om de tellingen uiteindelijk te herleiden tot dichtheden van zeevogels die vervolgens gevisualiseerd kunnen worden in verspreidingskaarten (ArcGis 9.0).

Telperiodes waarbij het schip minder dan 1km heeft afgelegd zijn niet gebruikt voor de analyse van zeevogeldichtheden. Het gegevensbestand bevat tevens waarnemingen van individuen die zich verder dan 300m van het schip bevonden. In het geval van zeezoogdieren zijn ook deze waarnemingen gebruikt.

Fig. 1 geeft de ligging aan van het studiegebied. Hoewel er dus steeds naar het Belgische deel van de 'Vlakte van de Raan' (inclusief de 'Droogte van Schooneveld') wordt gerefereerd, wordt hierna voor het gemak gesproken over de 'Vlakte van de Raan'.

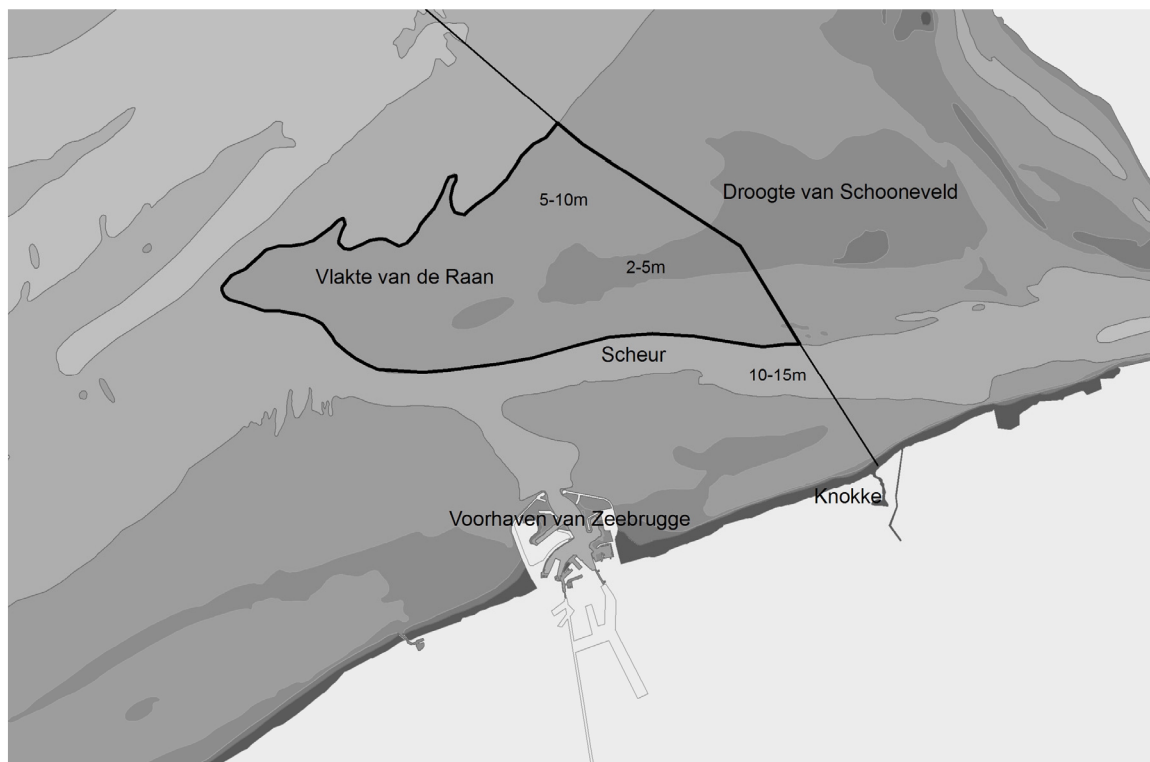


Fig. 1. Ligging van het bestudeerde deel van de 'Vlakte van de Raan'.

3. Zeevogels op de Vlakte van de Raan

3.1. Soortenspectrum

Fig. 2 geeft een vergelijking tussen de densiteiten van de 16 meest voorkomende soorten zeevogels in de Belgisch zeegebieden en op de 'Vlakte van de Raan'. De figuur laat zien dat de gemiddelde zeevogeldichtheid in het studiegebied in drie seizoenen hoger ligt dan op de rest van het Belgisch Continentaal Plat (BCP). Dit is in het bijzonder het geval in het najaar (september-november), maar ook in de winter (december-februari) en de zomer (juni-augustus) liggen de absolute dichtheden op de 'Vlakte van de Raan' een stuk hoger dan op de rest van het BCP. In het voorjaar is de zeevogeldichtheid er echter beduidend lager dan op de rest van het BCP.

Het soortenspectrum van de 'Vlakte van de Raan' wordt in alle seizoenen gedomineerd door algemeen voorkomende grote meeuwen (kleine mantelmeeuw, zilvermeeuw *Larus argentatus*, grote mantelmeeuw *L. marinus* en stormmeeuw *L. canus*). Soorten die gebonden zijn aan meer offshore gelegen gebieden zoals jan-van-gent *Morus bassanus*, Noordse stormvogel *Fulmarus glacialis* en grote jager *Catharacta skua* zijn gezien de ligging van het gebied relatief ondervertegenwoordigd.

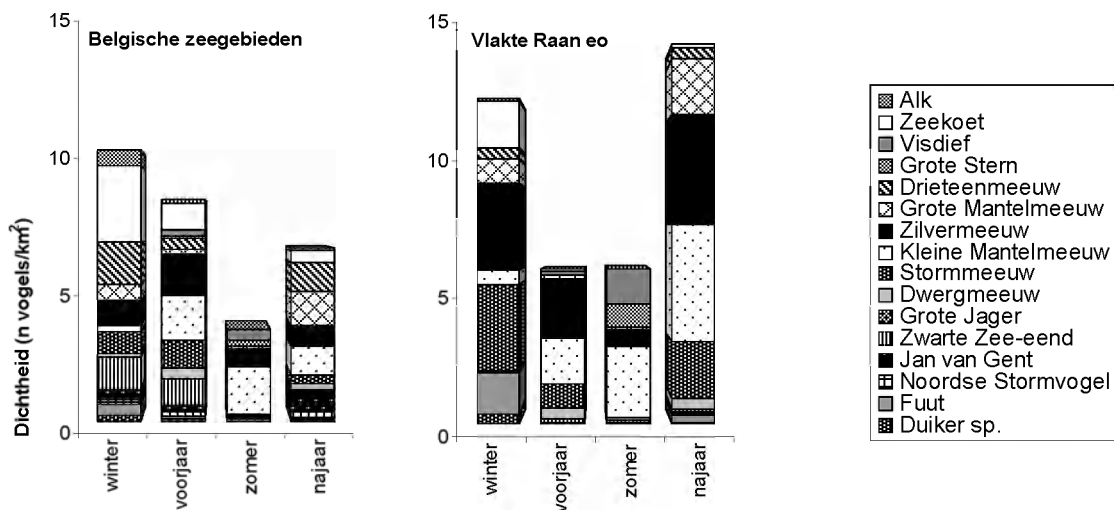


Fig. 2. Soortenspectrum en densiteiten van 16 soorten zeevogels op het BCP en de 'Vlakte van de Raan' en omgeving (eo).

Een opvallende afwezigheid is ook de alk *Alca torda*, die elders op het BCP in dezelfde gebieden voorkomt als de zeekoet *Uria aalge*, maar op de 'Vlakte van de Raan' zo goed als ontbreekt. Een aantal soorten komen in bepaalde seizoenen in verhoogde dichtheden voor. Dat wil zeggen dat ze op de 'Vlakte van de Raan' belangrijk hogere dichtheden bereiken dan elders op het BCP. Naast de reeds genoemde grote meeuwen zijn dat: roodkeelduiker *Gavia stellata*, fuut, dwergmeeuw, grote stern en visdief.

Een eerste blik op het soortenspectrum maakt veel duidelijk over de ecologische functie die de 'Vlakte van de Raan' in de verschillende seizoenen vervult. In de eerste plaats fungeert het in de zomermaanden als foerageergebied voor vogels die broeden in de voorhaven van Zeebrugge, in het bijzonder voor visdief en grote stern, maar ook voor kleine mantel- en zilvermeeuw. In de winter is de 'Vlakte van de Raan' een concentratiegebied voor zwemmende viseters, met name roodkeelduiker, fuut en zeekoet. Een derde belangrijke functie van het gebied is die van migratiecorridor en dit vooral voor dwergmeeuw, kleine mantelmeeuw, visdief en grote stern. In wat volgt worden de meest kenmerkende soorten van de 'Vlakte van de Raan' meer in detail besproken.

3.2. Duikers *Gavia* sp.

Gezien de kleinere duikers, met name roodkeelduiker en parelduiker *Gavia arctica* in het veld vaak moeilijk te onderscheiden zijn, wordt hier het hele taxon samengenomen als duiker *Gavia* sp., zonder onderscheid te maken tussen de verschillende soorten. Het aandeel roodkeelduikers ligt hierbij evenwel erg hoog en bedraagt ongeveer 95% van de tot op soortniveau gedetermineerde vogels (Vanermen *et al.*, 2006).

Duikers zijn wintergasten die de Belgische zeegebieden aandoen tussen november en maart (Courstens en Stienen, 2006) en hoofdzakelijk foerageren op relatief ondiep (tot 9m) levende pelagische vis. De hoogste dichtheden worden bereikt in de periode december-februari met maximale gemiddelde waarden van 0.4 ex. per km² (Stienen en Kuijken, 2003; Courstens en Stienen, 2006). Roodkeelduikers zijn over het algemeen sterk kustgebonden en komen vooral voor tussen 5 en 25 km uit de kust.

De belangrijkste concentratiegebieden op het BCP zijn de Vlaamse Banken, de westelijke kustbanken en de 'Vlakte van de Raan' (Fig. 3). Lokaal komen op de 'Vlakte van de Raan' dichtheden van ruim 1 ex. per km² voor. Het belang van het studiegebied voor roodkeelduikers werd recent geïllustreerd door de aanwezigheid van groepen van enkele honderden tot meer dan 1000 exemplaren in de winter 2005/2006. Maximale aantallen van ruim 1500 individuen werden geteld op 24/01/2006.

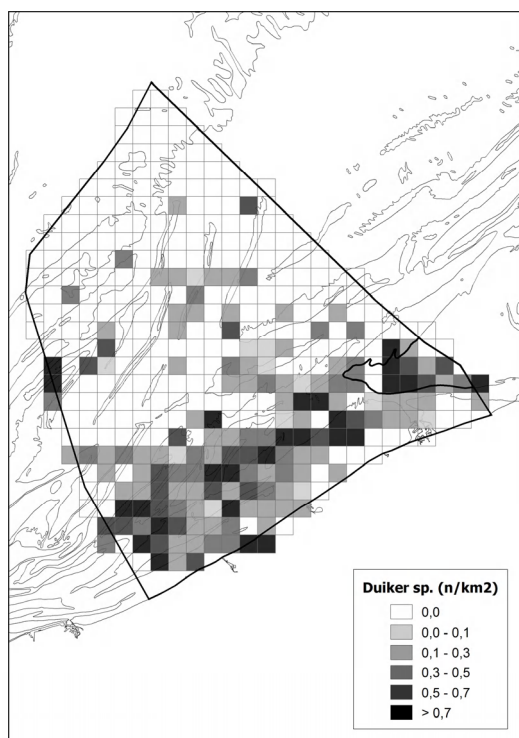


Fig. 3. Dichtheid van duikers *Gavia* sp. per 3x3km-hok op het BCP in de winter (december-februari).

3.3. Fuut *Podiceps cristatus*

Futen worden hoofdzakelijk tijdens de wintermaanden op het BCP aangetroffen. Net als duikers zijn ook zij afhankelijk van ondiep levende pelagische vis. De hoogste dichtheden worden bereikt tussen november en maart met een uitgesproken piek in januari (gemiddeld bijna 1.2 ex. per km²) en in mindere mate februari (Courstens en Stienen, 2006). De talrijkheid van deze soort hangt sterk samen met de strengheid van de winter, waarbij in harde winters veel noordelijke vogels zuidwaarts worden gedreven (Stienen en Kuijken, 2003). De laatste jaren pleisteren er echter ook tijdens milde winters opvallend veel futen in onze kustzone.

De soort wordt verder dan 15km van de kust nauwelijks opgemerkt. Binnen deze zone situeren de belangrijkste overwinteringsgebieden zich op de westelijke (De Panne-Oostende) en oostelijke (vnl. Wenduinebank) kustbanken en op de 'Vlakte van de Raan' (Fig. 4). Lokaal worden op de 'Vlakte van de Raan' dichtheden van ruim 4.5 ex. per km² vastgesteld.

Het belang van het studiegebied voor de fuut lijkt de laatste jaren wat af te nemen, zeker in het licht van de heel hoge aantallen futen die sinds enkele jaren vanaf de kust voor de westkust worden geteld (tot bijna 13 000 exemplaren in 2003, eigen gegevens INBO).

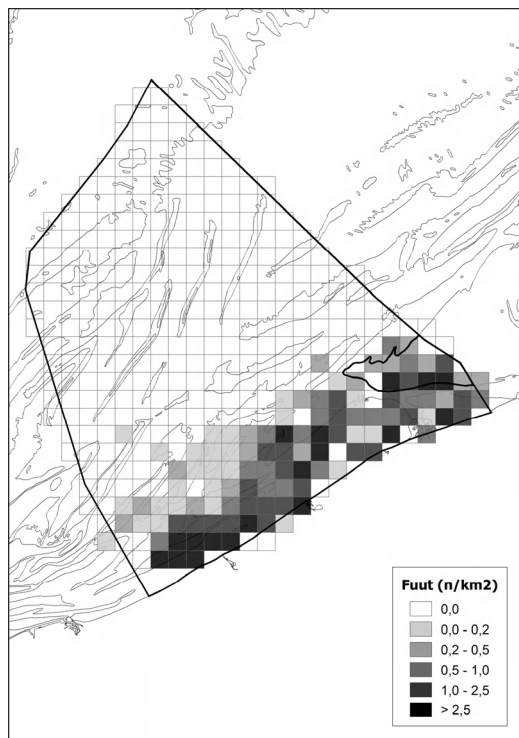


Fig. 4. Dichtheid van fuit *Podiceps cristatus* per 3x3km-hok op het BCP in de winter (december-februari).

3.4. Dwergmeeuw *Larus minutus*

Als doortrekker vertoont de dwergmeeuw twee pieken in het voorkomen op het BCP. Tijdens de voorjaartrek worden de hoogste dichtheden bereikt in maart en april, in het najaar passeren de hoogste aantallen in september en oktober. In november en december liggen de aantallen iets lager (Courstens en Stienen, 2006). Tijdens de herfst wordt vooral in het brakke water van de Westerscheldemonding, maar ook rond de havens van Zeebrugge en Oostende veel gevoerageerd op allerlei kleine voedselpartikels die op (of net onder) het wateroppervlak drijven (invertebraten en kleine vissen) (Stienen en Kuijken, 2003).

De 'Vlakte van de Raan' is voor deze soort vooral in het najaar belangrijk wanneer de trekroute van deze soort er voor het grootste deel overheen loopt (Fig. 5). Lokaal worden dichtheden van meer dan 5 ex. per km² vastgesteld. Tijdens het voorjaar is het gebied wat minder belangrijk voor deze soort, gezien de hoofdtrekroute dan iets ten noorden van het gebied loopt (tussen 'Vlakte van de Raan' en de 'Thorntonbank'). Het BCP is van groot belang voor de dwergmeeuw, gezien nagenoeg de volledige biogeografische populatie van deze soort hier zowel in het voor- als in het najaar geconcentreerd langstrekt (Seys, 2001; Stienen en Kuijken, 2003).

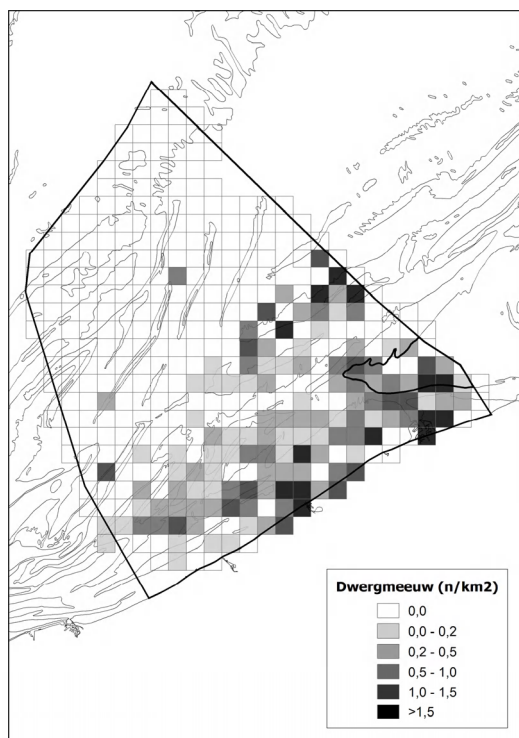


Fig. 5. Dichtheid van dwergmeeuw *Larus minutus* per 3x3km-hok op het BCP in het najaar (september-november).

3.5. Grote stern *Sterna sandvicensis*

Grote sternren zijn hoofdzakelijk op het BCP aanwezig van april tot september met een uitgesproken piek in juni en juli (Courstens en Stienen, 2006). Deze piek wordt in grote mate bepaald door de aanwezigheid van een belangrijke broedkolonie van deze soort in de voorhaven van Zeebrugge waar tot ruim 7% van de biogeografische populatie tot broeden komt (Courstens en Stienen, 2004; Stienen *et al.*, 2005).

Grote sternren foerageren hoofdzakelijk op haringachtigen Clupeidae en zandspieringen Ammodytidae in de bovenste 2m van de waterlaag (Stienen, 2006). De belangrijkste foerageergebieden van de Zeebrugse kolonie liggen tot 15km uit de kust tussen Knokke en de Franse grens met als concentratiegebieden de ruime omgeving van de haven van Zeebrugge, de banken tussen Middelkerke en Oostende en de omgeving van de 'Nieuwpoortbank' (Alvarez, 2005) (Fig. 6 en 7). Overigens gebruiken ook de broedvogels van de 'Hooge Platen' (Westerschelde) de 'Vlakte van de Raan' als foerageergebied (Arts en Meininger 1995, eigen waarnemingen INBO). Vooral langs de zuidelijke rand van de 'Vlakte van de Raan', net ten noorden van de 'Scheur' worden vissende grote sternren opgemerkt.

De herfsttrek verloopt vrij geconcentreerd langs de kust waarvan de meerderheid binnen 15km van de kust. Tijdens de lente vindt de trek plaats over het hele BCP, ook dan migreert het grootste deel van de vogels relatief dicht langs de kust. Vooral in het najaar vormt de 'Vlakte van de Raan' een belangrijke corridor voor deze soort (Stienen en Kuijken, 2003).

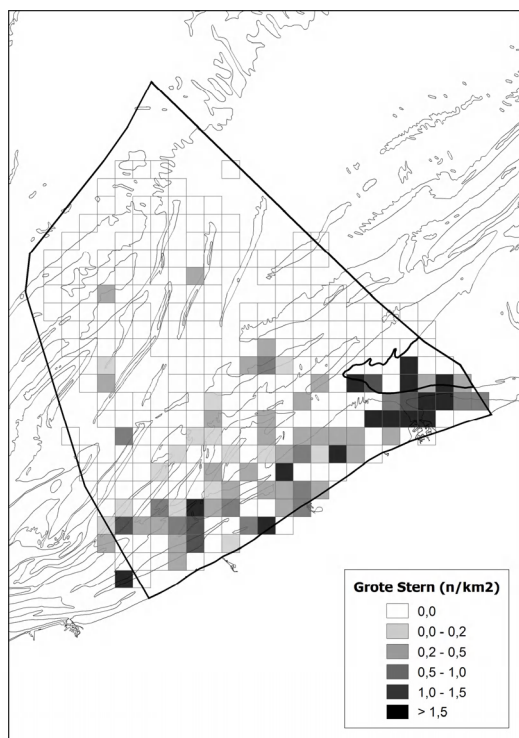


Fig. 6. Dichtheid van grote stern *Sterna sandvicensis* per 3x3km-hok op het BCP tijdens het broedseizoen (mei-juli).

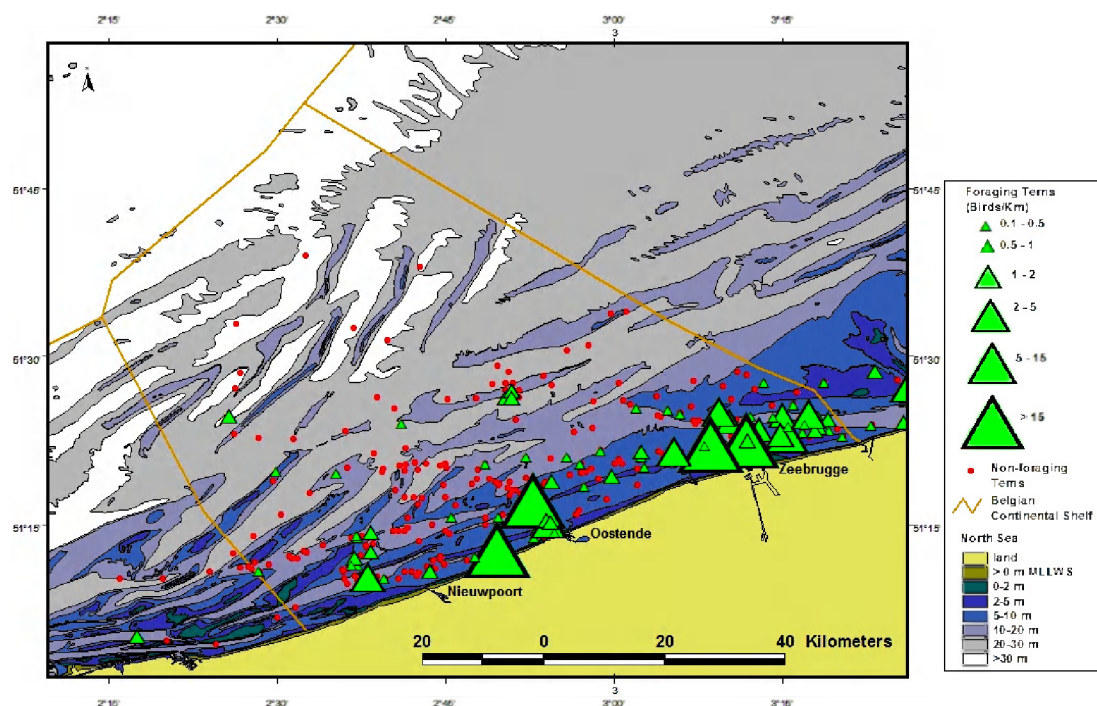


Fig. 7. Waarnemingen van grote stern in juni en juli met een indicatie van foeragerende (groene driehoek) en niet-foeragerende vogels (rode stip) (naar Alvarez, 2005).

3.6. Visdief *Sterna hirundo*

Net als bij de grote stern is ook het voorkomen van de visdief op het BCP beperkt tot de maanden april tot september. De piek van deze soort valt in mei met iets lagere aantallen in april, juni en juli (Courstens en Stienen, 2006). De hoge aantallen in mei zijn een gevolg van de aantallen doortrekkers die dan het BCP kruisen, de vogels in juni en juli zijn hoofdzakelijk broedvogels afkomstig uit de kolonies in de voorhaven van Zeebrugge. Deze herbergen tot bijna 5% van de biogeografische populatie van deze soort (Courstens en Stienen, 2004; Stienen *et al.*, 2005).

De visdieven van Zeebrugge foerageren op pelagische vis en ook wel op invertebraten uit de bovenste waterlaag (Brenninkmeijer en Stienen, 1992), hoofdzakelijk in de ruime omgeving van Zeebrugge (Fig. 8). Net zoals dat bij de grote stern het geval is, wordt van de 'Vlakte van de Raan' hoofdzakelijk het zuidelijke deel bezocht.

In augustus worden er tijdens de najaarstrek veel meer visdieven waargenomen op de 'Vlakte van de Raan' en is hun verspreiding niet langer beperkt tot het zuidelijke deel (Vanermen *et al.*, 2006), ook voor deze soort vormt het studiegebied dus een zekere migratiecorridor.

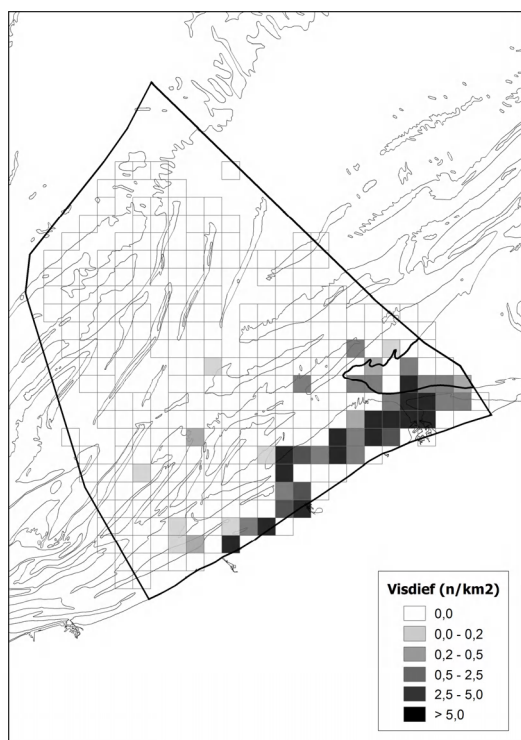


Fig. 8. Dichtheid van visdief *Sterna hirundo* per 3x3km-hok op het BCP in het broedseizoen (mei-juli).

3.7. Kleine mantelmeeuw *Larus fuscus*

Kleine mantelmeeuwen kunnen het jaar rond op het BCP worden aangetroffen, de hoogste dichtheden worden gehaald tussen maart en oktober, in deze maanden is het de algemeenste soort (Stienen en Kuijken, 2003; Courtens en Stienen, 2006). Hoewel de soort niet zo kustgebonden is als de nauwverwante zilvermeeuw, komt het grootste deel van de vogels tijdens de najaarstrek binnen de 20km van de kust voor (Stienen en Kuijken, 2003).

Tijdens de zomermaanden worden kleine mantelmeeuwen hoofdzakelijk binnen een straal van 20km rond de voorhaven van Zeebrugge aangetroffen (waar tot 2.6% van de biogeografische populatie van deze soort tot broeden komt, Courtens en Stienen, 2004), en wat in grote lijnen het foerageergebied van deze vogels weerspiegelt (Fig. 9). In deze periode worden ze dan ook veelvuldig op de 'Vlakte van de Raan' waargenomen (zie ook Fig. 2 waar de kleine mantelmeeuw 's zomers verreweg de meest algemene soort is).

Tijdens de herfst trekt deze soort redelijk geconcentreerd langs onze kust. Het hele gebied tot ongeveer 20km buiten de kust vormt dan een duidelijke corridor voor de trek. De 'Vlakte van de Raan' maakt daar een belangrijk onderdeel van uit. In het najaar vertoont het aantal kleine mantelmeeuwen op de 'Vlakte van de Raan' zelfs een toename ten opzichte van de broedperiode (Fig. 9).

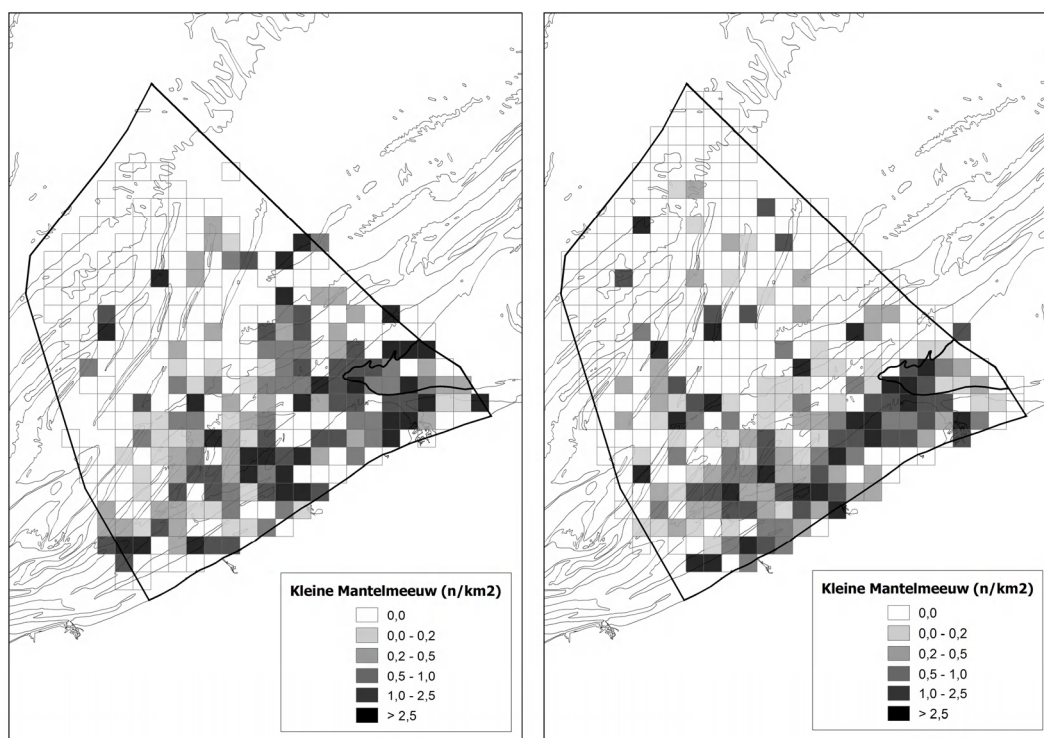


Fig. 9. Dichtheid van kleine mantelmeeuw *Larus fuscus* per 3x3km-hok op het BCP tijdens het broedseizoen, mei-juli (links) en in het najaar, september-november (rechts).

4. Zeezoogdieren op de Vlake van de Raan

Tot en met 2003 werden zeezoogdieren slechts sporadisch waargenomen tijdens zeevogeltellingen in de Belgische mariene wateren. Hierbij ging het hoofdzakelijk om zeehonden (zowel grijze zeehond *Halichoerus grypus* als gewone zeehond *Phoca vitulina*) en bruinvissen *Phocoena phocoena*. Sinds het voorjaar van 2003 echter worden in toenemende mate zeezoogdieren gemeld, waarbij vooral de aantallen bruinvissen en witsnuitdolfijnen *Lagenorhynchus albirostris* in het oog springen. Dit kadert in een algemene trend die ook in de andere landen rond de zuidelijke Noordzee werd vastgesteld. De oorzaak voor dit verschijnsel dient mogelijks gezocht te moeten worden in de sterk verslechterde voedselomstandigheden in het noordelijkere verspreidingsgebied van deze soorten, alhoewel andere oorzaken niet kunnen worden uitgesloten.

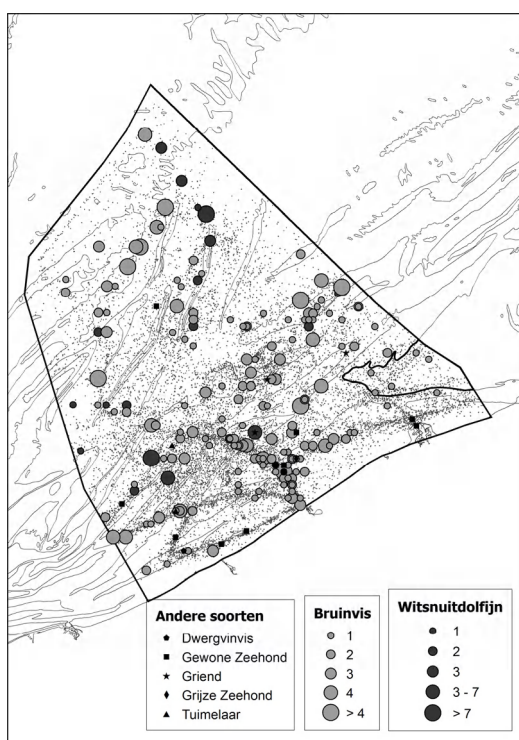


Fig. 10. Verspreiding en aantallen van zeezoogdieren in de Belgische mariene wateren.

Fig. 10 geeft een beeld van alle INBO-waarnemingen van zeezoogdieren in de Belgische mariene wateren van 1992 tot en met 2005. Hoewel de waarnemingen sterk bepaald worden door de frequentie waarmee een bepaald gebied is bezocht en de route die is gevolgd, lijken de resultaten er toch op te wijzen dat een aantal zones op het BCP belangrijker zijn voor zeezoogdieren dan andere. Zo lijken onder meer de zone tussen Oostende en het ankergebied, de omgeving van de 'Thorntonbank' en de 'Gootebank' en de diepe zone ten noorden van de 'Hinderbanken' belangrijk te zijn voor bruinvissen en witsnuitdolfijnen. Onder andere in de zuidoosthoek van het BCP lijken zeezoogdieren ondervertegenwoordigd, waarbij ook op de 'Vlakte van de Raan' tot op heden relatief weinig bruinvissen werden geteld. Andere zeezoogdieren ontbreken er ogenschijnlijk zelfs volledig.

5. Ecologisch perspectief

Uit het voorgaande blijkt dat de 'Vlakte van de Raan' een vrij groot ornithologisch belang heeft, dit ondanks het feit dat ze niet werd afgebakend als Vogelrichtlijngebied gezien het voor geen enkele soort van de Bijlage I van de Vogelrichtlijn, noch voor de soorten die de 1%-norm (Ramsarcriterium) overschrijden, tot de belangrijkste gebieden behoort (Haelters *et al.*, 2004). De 'Vlakte van de Raan' kan evenwel worden getypeerd als een multi-speciesgebied. Een zone die, hoewel ze voor geen enkele soort het belangrijkste gebied vormt, voor veel soorten van relatief groot belang is, hetzij als foerageergebied, overwinteringsgebied of als trekcorridor. Een aantal soorten die in verhoogde aantallen voorkomen op de 'Vlakte van de Raan' genieten internationale bescherming middels de Vogelrichtlijn, de Conventie van Bern of de Conventie van Bonn (Tabel I). Bovendien overschrijden alle soorten die hierboven in detail zijn besproken – op roodkeelduiker na – op het BCP al dan niet frequent de 1%-norm (Ramsarcriterium).

Tabel I. Overzicht van het belang van het BCP en de internationale beschermingsstatus van 6 belangrijke soorten voor de 'Vlakte van de Raan'.

Soort	Maximale aantallen op het BCP & percentage biogeografische populatie ¹	% biogeografische populatie op trek ²	Vogelrichtlijn	Bern-conventie	Bonn-conventie
Roodkeelduiker <i>Gavia stellata</i>	1382 (0,1%) ³	< 1%	Bijlage I	Bijlage II	Bijlage II
Fuut <i>Podiceps cristatus</i>	3736 (1,9%) ³	10-20		Bijlage III	
Dwergmeeuw <i>Larus minutus</i>	3670 (4,4%) ³	40-100	Bijlage I	Bijlage II	
Kleine Mantelmeeuw <i>Larus fuscus</i>	15.608 (2,9%) ³	5			
Grote Stern <i>Sterna sandvicensis</i>	12.201 (7,2%) ⁴	67	Bijlage I	Bijlage II	Bijlage II
Visdief <i>Sterna hirundo</i>	9156 (4,8%) ⁴	58	Bijlage I	Bijlage II	Bijlage II

¹ Naar Haelters *et al.* (2004)

² Naar Seys (2001)

³ Gebaseerd op tellingen op zee

⁴ Afgeleid uit de grootste omvang van de broedkolonie in de voorhaven van Zeebrugge tussen 1985 en 2006: aantal broedkoppels x 3.

Opvallend is dat veel van de talrijk aanwezige soorten zich voornamelijk met pelagische vis voeden. Dit wijst op een hoge voedselbeschikbaarheid in de bovenste waterlaag. In dit opzicht is het nagenoeg afwezig zijn van alken op de 'Vlakte van de Raan' opmerkelijk (Verstraete, 2006), vooral omdat de nauw verwante zeekoet er wel veelvuldig voorkomt. Recent onderzoek heeft uitgewezen dat de alken zich op het BCP in belangrijke mate voeden met zandspiering/smelt (meer dan 90% van hun dieet), terwijl zeekoeten een veel gevarieerdere prooikeuze vertonen (slechts 16% van het dieet bestaat uit zandspiering/smelt; Verstraete, 2006). Dit kan erop wijzen dat zandspiering op de 'Vlakte van de Raan' schaars vrij is, maar dat de beschikbaarheid van andere meer pelagische vissoorten er zeer hoog is.

Recent is er een Biologische Waarderingskaart van de Zee gemaakt, die de intrinsieke natuurwaarde van het BCP voor een aantal ecosysteemcomponenten in kaart brengt. De avifauna is een belangrijk onderdeel van deze kaart (Courstens en Stienen, 2006).

Op deze kaart wordt vrijwel het volledige Belgische deel van de 'Vlakte van de Raan' net, zoals de rest van de kustzone, getypeerd als biologisch zeer waardevol voor de mariene avifauna. De opstelling van deze kaart gebeurde aan de hand van de criteria opgesteld door Derous *et al.* (ingediend) en geeft een globale evaluatie van de waarde van verschillende subzones van het BCP (3x3km-hokken) waarbij onder andere soortenrijkdom, concentratiegebieden, en dichtheden van de meest voorkomende zeevogels worden beschouwd. Men mag dus concluderen dat de Vlakte van Raan een unieke en zeer specifieke soortensamenstelling kent en dat het gebied zeer waardevol is voor zeevogels.

Referenties

- Alvarez del Villar D'Onofrio A. M. (2005). Foraging areas for Sandwich and Common Tern in Belgian marine waters. M.Sc. Thesis, VUB, België.
- Arts F.A. en Meininger P.L. (1995). Foeragerende sterns in het Westerschelde-estuarium: een verkenning in verband met de verdieping. RIKZ Werkdocument OS-95.835X. Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ), Middelburg.
- Brenninkmeijer A. en Stienen E.W.M. (1992). Ecologisch profiel van de Grote Stern *Sterna sandvicensis*. RIN-rapport 92/17. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Arnhem.
- Bulteel G. en Van der Vloet H. (1969). Zeevogelwaarnemingen aan de Belgische kust. De Giervalk, 59: 192-218.
- Courtens W. en Stienen E.W.M. (2004). Voorstel tot afbakening van een Vogelrichtlijngebied voor het duurzaam in stand houden van de broedpopulaties van kustbroedvogels te Zeebrugge-Heist. Rapport IN.A.2004.100. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.
- Courtens W. en Stienen E.W.M. (2006). BWZeevogels: de biologische waarderingskaart voor de zeevogels van de Belgische zeegebieden. Rapport INBO.A.2006.122. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.
- Derous S., Agardy T., Hillewaert H., Hostens K., Jamieson G., Lieberknecht L., Mees J., Moulaert I., Olenin S., Paelinckx D., Rabaut M., Rachor E., Roff J., Stienen E., van der Wal J.T., Van Lancker V., Verfaillie E., Vincx M., Weslawski J.M. en Degraer S. (ingediend). A concept for biological valuation in the marine environment. Oceanologia.
- Haelters J., Vigin L., Stienen E.W.M., Scory S., Kuijken E. en Jacques T.G. (2004). Ornitologisch belang van de Belgische zeegebieden: identificatie van mariene gebieden die in aanmerking komen als Speciale Beschermingszones in uitvoering van de Europese Vogelrichtlijn. BMM/KBIN/IN, Brussel, België. 90 pp.
- Joiris C., (1972). Observations ornithologiques réalisées dans le sud-est de la Mer du Nord, entre juin 1971 et janvier 1972. 1. Oiseaux marins. Aves, 9: 85-103.
- Komdeur J., Bertelsen J. en Cracknell G. (1992). Manual for aeroplane and ship surveys of waterfowl and seabirds. International Waterfowl and Wetland Research Bureau. Special Publication 19. IWRB, Slimbridge.
- Offringa H., Seys J., Van den Bossche W. en Meire P. (1996). Seabirds on the Channel doormat. De Giervalk, 86: 3-71.
- Offringa H. en Meire P. (1997). Verslag van tellingen van zeevogels die zijn verricht onder contract 13/05/96 van het Ministerie van Sociale Zaken, Volksgezondheid en Leefmilieu. Intern rapport. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.
- Seys J. (2001). Het gebruik van zee- en kustvogelgegevens ter ondersteuning van het beleid en beheer van de Belgische kustwateren. Ph.D. Thesis, UGent, België.
- Stienen E.W.M., Van Waeyenberge J. en Kuijken E. (2002a). Studie naar te verwachten impact van windmolenparken op zee ten aanzien van de mariene avifauna in het kader van een MER voor plaatsing van windturbines t.h.v. de 'Vlakte van Raan'. Deelstudie 'avifauna' van MER 'TotalFinaElf'-project. Adviesnota IN.A.2002.179. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.
- Stienen E.W.M., Van Waeyenberge J. en Kuijken E. (2002b). Seabirds at the northern part of 'de Vlakte van de Raan': environmental impact study on the effects of an offshore windfarm on seabirds. Rapport IN.A.2002.213. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.
- Stienen E.W.M. en Kuijken E. (2003). Het belang van de Belgische zeegebieden voor zeevogels. Rapport IN.A.2003.208. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

- Stienen E.W.M., Courtens W., Van De Walle M., Van Waeyenberge J. en Kuijken E. (2005). Harbours and nature: port development and dynamic birds provide clues for conservation. p. 381-392. In: Proceedings 'Dunes and Estuaries 2005' – International Conference on Nature Restoration Practices in European Coastal Habitats, Koksijde, Belgium, 19-23 September 2005. Herrier J.L., Mees J., Salman A., Seys J., Van Nieuwenhuyse H. en Dobbelaere I. (Eds.). VLIZ Special Publication 19, Vlaams Instituut voor de Zee, Oostende, België.
- Stienen E.W.M. (2006). Living with gulls. Trading off food and predation in the Sandwich Tern *Sterna sandvicensis*. Alterra Scientific Contributions 15. Ph.D. Thesis, Rijksuniversiteit Groningen, Nederland.
- Tasker M., Jones P.H., Dixon T.J. en Blake B.F. (1984). Counting seabirds at sea from ships: a review of methods employed and a suggestion for a standardised approach. *Auk*, 101: 567-577.
- Vande Weghe J.P. en van Impe J. (1964). Trekwaarnemingen aan de Belgische kust, najaar 1963. *Aves*, 54: 362-375.
- Vanermen N., Stienen E.W.M., Courtens W. en Van De Walle M. (2006). Referentiestudie van de avifauna van de Thorntonbank. Rapport IN.A.2006.22. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.
- Verstraete H. (2006). Dieetanalyse van gestrande Zeekoeten *Uria* aalge en Alken *Alca torda* aan de hand van otolieten. M.Sc. Thesis, UGent, België.

PRIMAIRE PRODUCTIE OP HET KRUISPUNT VAN ESTUARIUM EN KUSTZONE

Koen Sabbe¹, Koenraad Muylaert², Jacco Kromkamp³ en Wim Vyverman¹

¹ Laboratorium Protistologie en Aquatische Ecologie, Vakgroep Biologie, Universiteit Gent, Krijgslaan 281/S8, B-9000 Gent, België. Email: koen.sabbe@ugent.be

² Departement Biologie, Katholieke Universiteit Leuven, Campus Kortrijk, E. Sabbelaan 53, B-8500 Kortrijk, België

³ Nederlands Instituut voor Oecologisch Onderzoek, Centrum voor Estuariene en Mariene Ecologie (KNAW-NIOO-CEME), Korringaweg 7, Postbus 140, 4400 AC Yerseke, Nederland

Samenvatting

Het gebied van de 'Vlakte van de Raan', gelegen in de monding van het Schelde-estuarium, neemt wat betreft primaire productie een unieke plaats in op het kruispunt van estuarium en Noordzee. In tegenstelling tot de rest van de Belgische en Nederlandse zuidelijke kustzone zijn de nutriënten, maar ook de troebelheid, doorgaans lager dan in het estuarium, maar hoger dan in de kustzone. De voorjaarsbloei komt eerst op gang in de meer offshore gelegen stations, en start door lichtgebrek pas enkele weken later in het mondingsgebied. Door de hogere nutriëntgehalten zijn de bloeien hier wel intensiever, en het is niet onmogelijk dat er nutriëntlimitatie optreedt (silicaat, eventueel fosfaat). Deze trend (latere maar meer intensieve bloei) zet zich vervolgens door in het Schelde-estuarium, waar de bloeien stroomopwaarts later optreden, maar intensiever zijn. Tijdens de voorjaarsbloei treedt in het mondingsgebied, net als in de rest van het Belgisch deel van de Noordzee, een duidelijke successie op van een dominantie van diatomeeën naar een overwicht van niet-verkiezelde algen, zoals de schuimalg *Phaeocystis*. De diversiteit van het fytoplankton in het mondingsgebied verschilt echter vrij sterk van die van het estuarium, waar in stroomopwaartse richting mariene gemeenschappen geleidelijk vervangen worden door brakke en tenslotte zoetwatersoorten. Het valt te verwachten dat veranderingen in de morfologie en hydrologie van het Schelde-estuarium ten gevolge van de geplande verdiepingswerken, maar ook veranderingen in nutriëntstoichiometrie ten gevolge van een vermindering van de organische belasting van de Schelde, een belangrijke impact zullen hebben op de samenstelling en dynamiek van de fytoplanktonbloeien in het mondingsgebied van de Schelde.

1. Inleiding

Overgangszones tussen estuaria en zeeën, zoals het gebied van de 'Vlakte van de Raan' op het kruispunt van Schelde-estuarium en Noordzee, zijn unieke gebieden: enerzijds maken ze integraal deel uit van de zee en zijn ze onderhevig aan de heersende stromingen, maar anderzijds worden ze nog sterk beïnvloed door de uitstroom van het estuarium. Ze worden doorgaans gekenmerkt door lagere zoutgehalten, hogere nutriëntgehalten en een hogere troebelheid dan de omringende watermassa's. De invloed van het Schelde-estuarium op het gebied van de 'Vlakte van de Raan' is erg uitgesproken: de Schelde is immers nog steeds een van de meest verontreinigde estuaria van Europa. Een combinatie van o.m. industriële lozingen, rioolafvoer van grote steden zoals Brussel en runoff van intensieve landbouw zorgen voor erg hoge organische en anorganische nutriëntgehalten in het estuarium en haar uitstroom. Door de grote getijamplitude in het estuarium (> 5m bij Antwerpen) treedt een sterke verticale vermenging van de waterkolom op, wat resulteert in een hoge troebelheid, ook in haar mondingsgebied. Het effect van de Schelde op het gebied van de 'Vlakte van de Raan' wordt nog versterkt door de invloed van de uitstroom van de Maas en de Rijn.

Primaire productie is de aanmaak van organische stof door planten en algen gedurende fotosynthese, waarbij met behulp van speciale moleculen (pigmenten, vooral chlorofyl *a* – chl*a*) stralingsenergie (licht) gebruikt wordt om organische stoffen (koolhydraten) te vormen uit anorganische koolstof en water. Door de hoge troebelheid van het water in ondiepe kustzones wordt doorgaans aangenomen dat primaire productie grotendeels beperkt blijft tot die zone van de waterkolom waar nog voldoende licht doordringt om fotosynthese mogelijk te maken, en in de Schelde bedraagt deze ‘fotische zone’ slechts 5 - 20% van de gehele waterkolom. In deze zone wordt fotosynthese uitgevoerd door het fytoplankton, een diverse gemeenschap van rondzwevende ééncellige algen. Fytoplankton primaire productie vormt zo de basis van het voedselweb in kustzones, en dit zowel in de waterkolom als (door sedimentatie van bloeien) in de sedimenten.

In dit artikel zullen we dieper ingaan op de primaire productie, biomassa en diversiteit van het fytoplankton in het gebied van de ‘Vlakte van de Raan’ binnen het ruimere kader van het rivier-estuarium-zee continuüm, en op de mogelijke factoren die primaire productie en patronen in diversiteit en biomassa reguleren. De gegevens waarop onderstaande tekst gebaseerd is, zijn afkomstig van diverse gepubliceerde en ongepubliceerde gegevens, die gedurende de afgelopen jaren verzameld werden in de laboratoria van de auteurs. Voor gedetailleerde informatie over materialen en methodes verwijzen we dan ook naar deze bronnen. Fig. 1 toont een kaartje van het Schelde-estuarium en de aangrenzende kustzone met aanduiding van de ‘Vlakte van de Raan’ en de positie van een aantal in de tekst aangehaalde staalnamestations. Stations die min of meer representatief zijn voor het gebied van de ‘Vlakte van de Raan’ zijn de stations 700 en B07 op het Belgisch Continentaal Plat (BCP) en de stations Breskens (Br), Sloehaven (Sl) en Borsele (Bo) gelegen in de Scheldemonding.

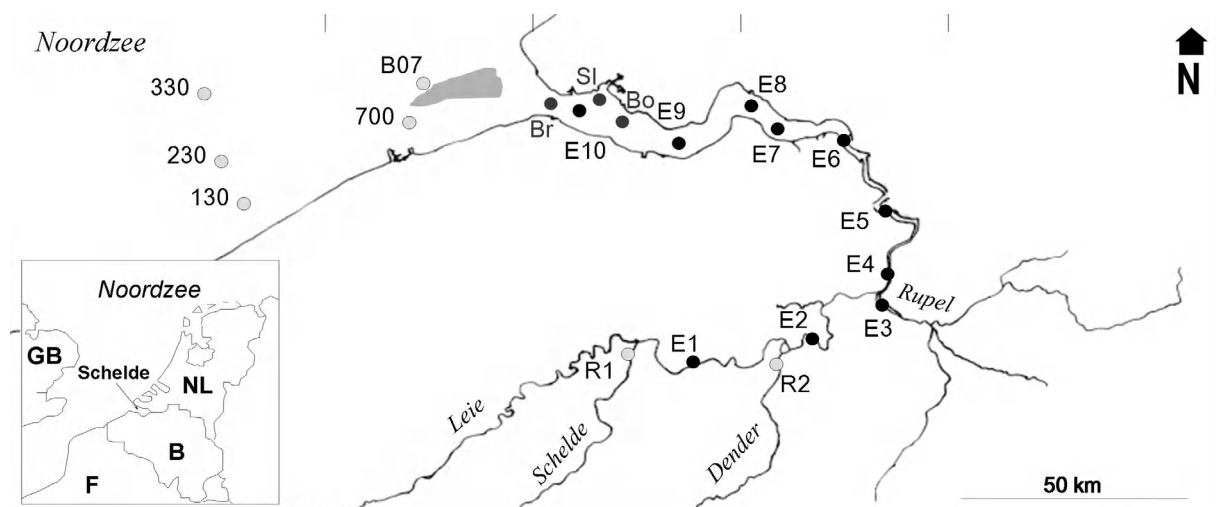


Fig. 1. Kaart van het Schelde-estuarium en de aangrenzende kustzone, met aanduiding van de ligging van de staalnamestations (zie Muylaert *et al.*, 2006 en Muylaert *et al.*, ingediend voor meer details) en de ‘Vlakte van de Raan’ (grijze zone).

2. Het abiotische kader: nutriënten en troebelheid in de Schelde en de zuidelijke Noordzee

Fotosynthetische primaire productie in aquatische milieus wordt in eerste instantie gedreven door de beschikbaarheid aan licht en nutriënten [stikstof, fosfor en – voor diatomeeën (kiezelwieren) – silica]. De Schelde voert, zoals boven reeds vermeld, grote hoeveelheden nutriënten aan. In het estuarium zelf, en zeker in het brakke en het zoetwatergetijdengebied, zijn de nutriëntconcentraties het hele jaar door erg hoog en nooit limiterend voor de groei van algen (Rijstenbil *et al.*, 1993).

In het estuarium speelt de lichtdoordringing, die afhankelijk is van de troebelheid van het water, dan ook meestal de belangrijkste rol in het reguleren van de groei van het fytoplankton.

Fig. 2 in Muylaert *et al.* (ingediend) toont de ruimtelijk variatie in nutriënten ('dissolved inorganic nitrogen' of DIN, fosfaat en silicaat) van de Belgische kustzone tot de zoetwatergetijdenzone gedurende de zomer van 2003 (Muylaert *et al.*, ingediend). De nutriëntgehalten nemen sterk af van de zoetwatergetijdenzone naar de Noordzee toe. Het gebied van de 'Vlakte van de Raan' (de stations 700 en B07 – C1 en C2 in Muylaert *et al.*, ingediend) wordt gekenmerkt door waarden die ongeveer gelijk zijn aan die van het BCP, met waarden die voor 2003 schommelen rond de $20\mu\text{M}$ (DIN), $1\mu\text{M}$ (fosfaat) en $15\mu\text{M}$ (silicaat). De jaargemiddelden in de meer offshore gelegen stations van het BCP liggen doorgaans iets lager (zie Tabel 1 in Muylaert *et al.*, 2006).

DIN is erg hoog in de winter, maar daalt in het voorjaar, om vervolgens in het najaar weer toe te nemen (Fig. 2). Beperkende concentraties worden nergens bereikt. Fosfaat kent een gelijkaardig verloop (Fig. 3), maar in Breskens is de voorjaarsconcentratie lager dan in Borsele en de gemiddelde concentratie in mei en juni in Breskens is $0.97 \pm 0.27\mu\text{M}$. Dit zou kunnen betekenen dat de 'Vlakte van Raan' mogelijk een periode met lage, eventueel zelfs beperkende fosfaatconcentraties heeft. Hetzelfde geldt voor silicaat (Fig. 4), waarbij concentraties $< 1\mu\text{M}$ voorkomen. De gemiddelde concentratie in mei en juni voor Breskens was $6.23 \pm 5.96\mu\text{M}$. Een silicaatbeperking remt de productie van diatomeeën, maar heeft geen effect (hoogstens een positief) op de productie van niet-diatomeeën – waaronder de schuimalg *Phaeocystis* – die een belangrijk aandeel van de totale primaire productie kan veroorzaken (periode april-mei, zie ook verder). De jaargemiddelden laten flinke variaties zien van jaar tot jaar, en alle nutriënten laten een piek zien in 2000. De variaties zijn het geringst in fosfaat en het grootst in silicaat. Dit hangt waarschijnlijk samen met de regenafvoer, maar dit dient nog verder onderzocht te worden.

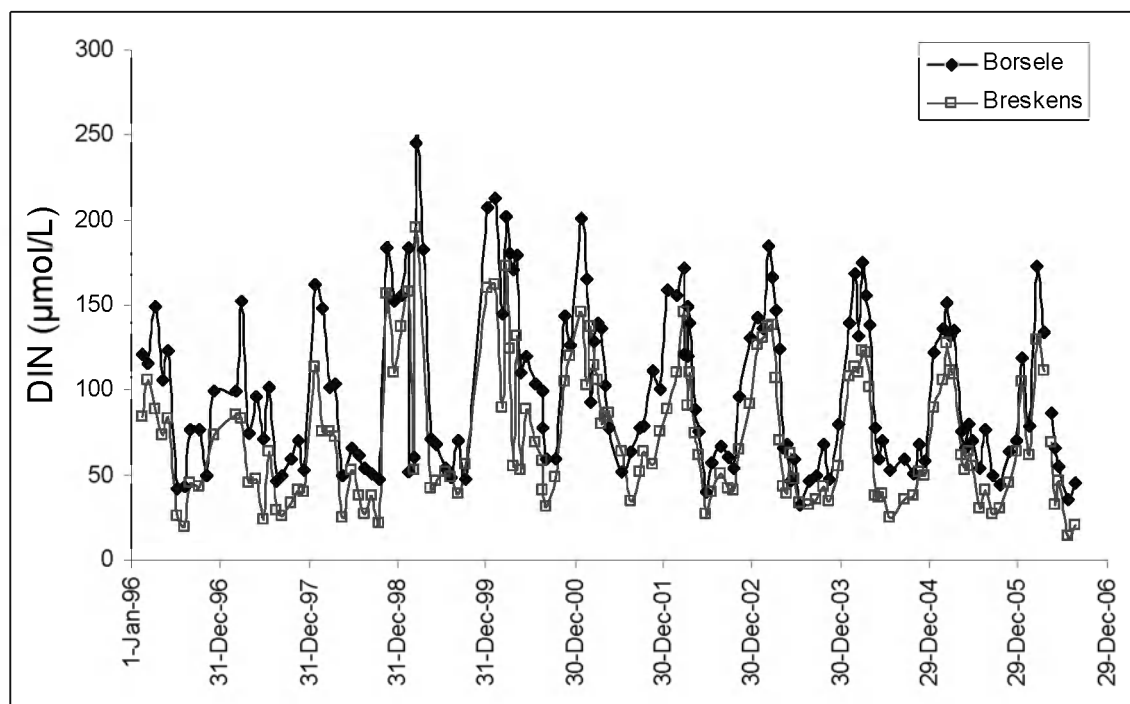


Fig. 2. Opgeloste anorganisch stikstof (DIN = $\text{NO}_3 + \text{NO}_2 + \text{NH}_4$) voor de stations Borsele en Breskens.

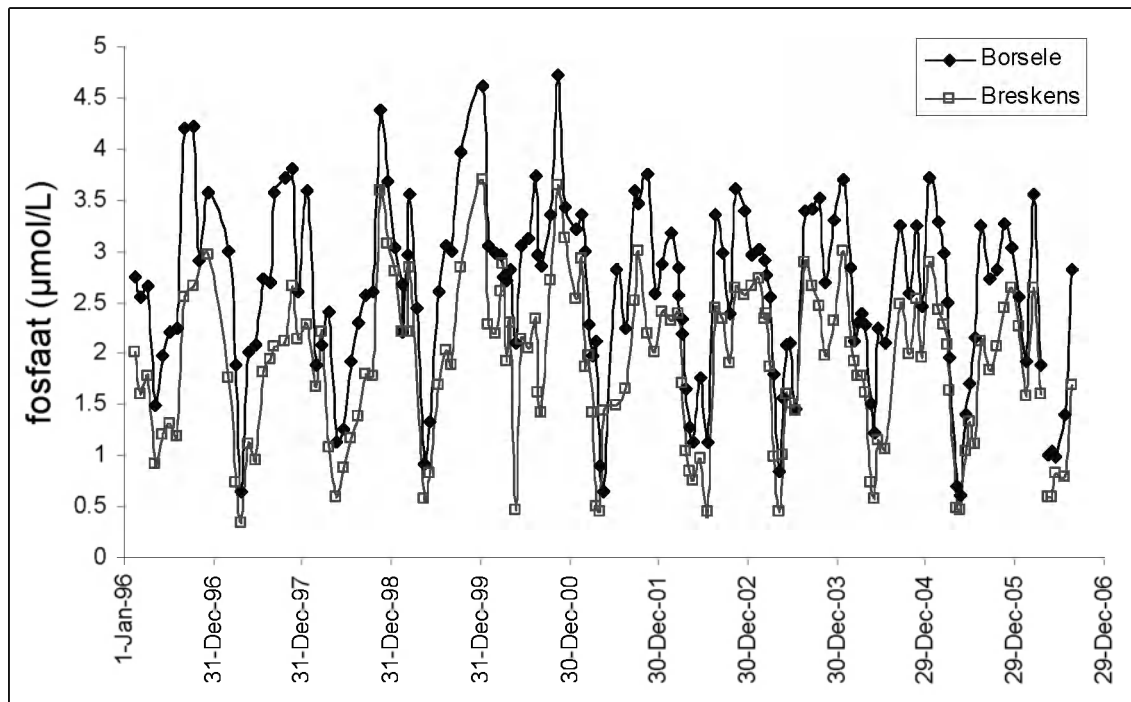


Fig. 3. Opgeloste anorganisch fosfaat voor de stations Borsele en Breskens.

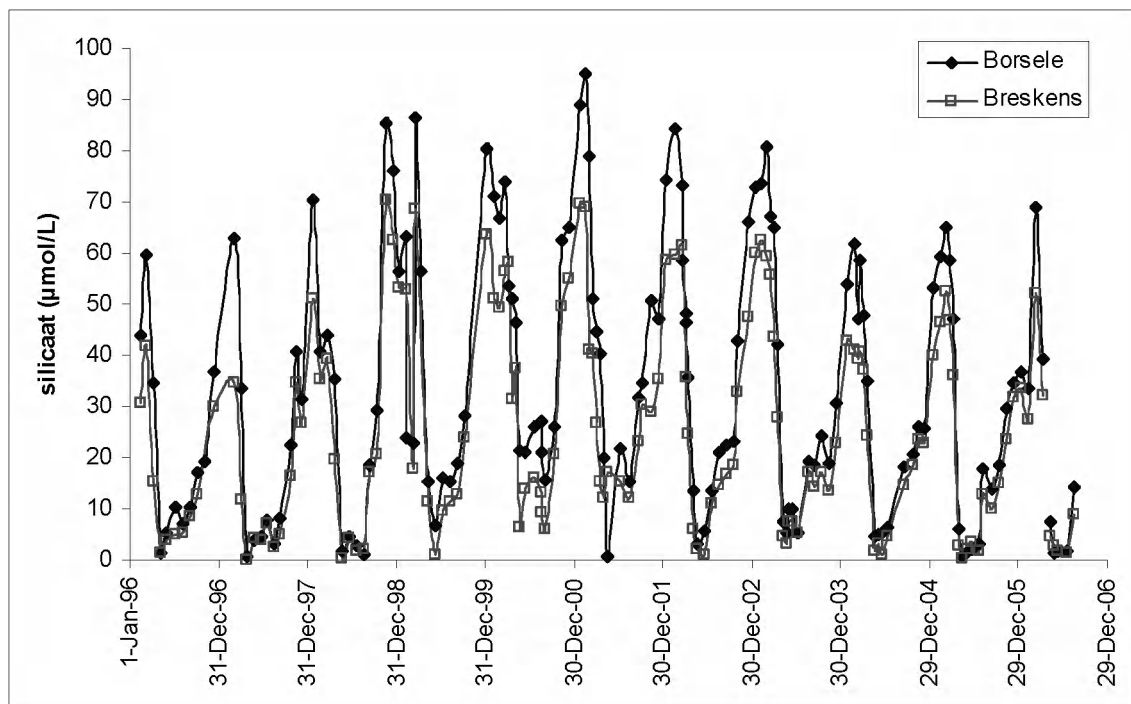


Fig. 4. Opgeloste silicaat voor de stations Borsele en Breskens.

De ruimtelijke variatie in troebelheid, hier weergegeven als de totale hoeveelheid gesuspendeerd materiaal of SPM, vertoont gedurende de zomer 2003 een gelijkaardig verloop als de nutriënten (Muylaert *et al.*, ingediend): troebelheid is het hoogst in de brakke en de zoetwaterzones, en is het laagst in het meso- en polyhaliene deel van het Schelde-estuarium. Jaargemiddelde SPM concentraties in het gebied van de 'Vlakte van de Raan' zijn gemiddeld hoger (ongeveer 40mg.l⁻¹) dan in de rest van het BCP (zie Tabel 1 in Muylaert *et al.*, 2006) en waren gedurende voorjaar 2003 ook hoger dan in meso- en polyhaliene deel van het estuarium. Dit kan te wijten zijn aan aanvoer van sediment vanuit het estuarium, maar ook resuspensie van lokale sedimenten door een combinatie van sterke getijstroomingen en een geringe diepte.

Het SPM gehalte vertoont op seizoenale en multi-annuele basis een veel grilliger verloop en laat niet zo duidelijk een seizoenale dynamiek zien als de veranderingen in de nutriëntgehalten (Fig. 5). Dit is te verwachten omdat het SPM sterk bepaald wordt door de getijfase (het was om logistieke redenen niet mogelijk om altijd dezelfde getijfase te bemonsteren) en wind.

Algemeen kan dus gesteld worden dat het gebied van de 'Vlakte van de Raan' gekenmerkt wordt door iets hogere nutriëntconcentraties dan de rest van het BCP, maar veel lagere waarden dan het estuarium zelf. Het is mogelijk dat fosfaatconcentraties gedurende de voorjaarsbloei van het fytoplankton limiterend zijn voor primaire productie. Net zoals in de Belgische Noordzee is het waarschijnlijk dat silicaat limiterend wordt gedurende het voorjaar, wat mogelijk aan de basis ligt van een geleidelijke shift van een door diatomeeën gedomineerde voorjaarsbloei naar een door niet-verkiezelde algen gedomineerde bloei (vooral *Phaeocystis*, zie ook verder). De primaire productie in het brakke en zoetwaterdeel van het Schelde-estuarium wordt sterk beperkt door lichtbeschikbaarheid. SPM gehalten zijn veel lager in het mondingsgebied, maar recent onderzoek toont aan dat SPM hier ook een belangrijke rol speelt. Het verschil in SPM tussen het mondingsgebied van de Schelde en de rest van het BCP lijkt immers erg belangrijk te zijn voor de timing van de voorjaarsbloei in deze gebieden (zie Muylaert *et al.*, 2006 en verder).

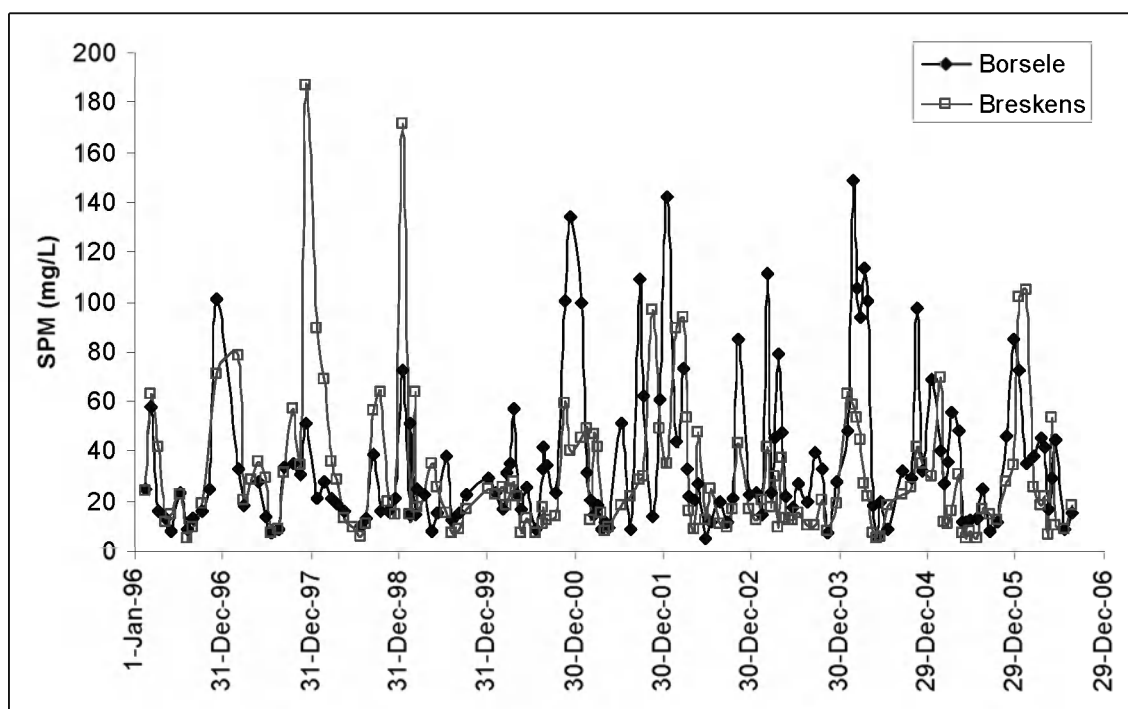


Fig. 5. SPM concentraties voor de stations Borsele en Breskens.

3. Fytoplankton biomassa

De totale jaargemiddelde biomassa van het fytoplankton is het hoogst in de brakke en zoetwaterzones van het Schelde-estuarium (Kromkamp en Peene 2005, Soetaert *et al.*, 2006), met maximale waarden hoger dan $70\mu\text{g Chla.l}^{-1}$ (Muylaert *et al.*, 2000, Kromkamp en Peene 2005). Chla wordt als maat gebruikt voor de totale algenbiomassa. Biomassapieken in het mondingsgebied worden doorgaans waargenomen in de maand mei, maar bedragen nooit meer dan ongeveer $35\mu\text{g Chla.l}^{-1}$ (Fig. 6). In het gebied van de 'Vlakte van de Raan' werden in april 2003 echter waarden tot ongeveer $60\mu\text{g Chla.l}^{-1}$ gemeten (Muylaert *et al.*, 2006). Gedurende de andere maanden echter zijn de biomassa's vergelijkbaar met de waarden in Borsele en Breskens. In de offshore stations van het BCP zijn de maximale biomassawaarden doorgaans lager ($10 - 40\mu\text{g Chla.l}^{-1}$, Muylaert *et al.*, 2006). De intensiteit van de fytoplanktonbloei is meer uitgesproken in die zones waar de beschikbare hoeveelheid nutriënten hoger is.

De fytoplanktonconcentraties in de Scheldemonding variëren van jaar tot jaar aanzienlijk (Fig. 6). De data lijken een cyclus van 5 jaar te suggereren: hoge concentraties in 1996, die afnemen en een minimum bereiken in 2000, en opnieuw hoge waarden in 2001, die vervolgens dan weer afnemen. Het voortzetten van de tijdsreeks zal moeten uitwijzen of hier inderdaad sprake is van een duidelijke cyclus.

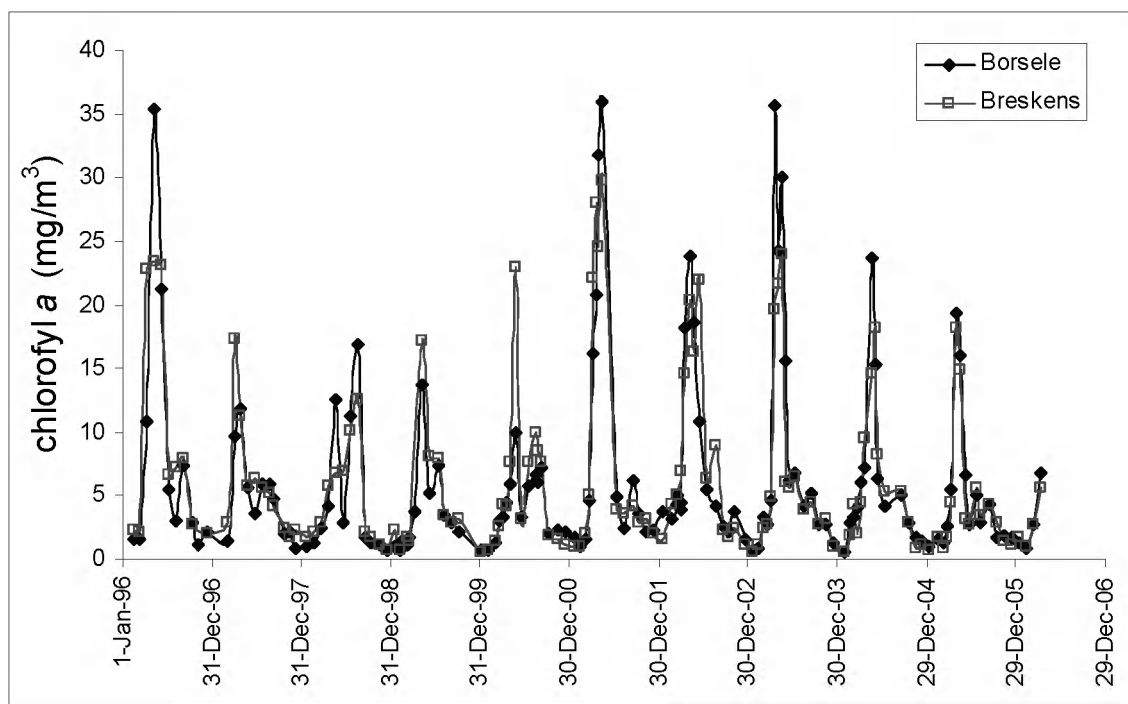


Fig. 6. Dynamiek in fytoplankton biomassa voor de stations Borsele en Breskens.

Er is een gradiënt waarneembaar in het tijdstip waarop de bloeien optreden: in de offshore stations van het BCP starten de fytoplankton bloeien doorgaans reeds in maart, terwijl maximale chla waarden in het estuarium zelf pas in mei optreden; in het brakke en zoetwaterdeel zelfs later in de zomer (Muylaert *et al.*, 2000, 2006). Dit hangt waarschijnlijk in belangrijke mate samen met de troebelheid van de waterkolom, die langs deze gradiënt eveneens toeneemt. Optimale lichtcondities worden dus later in het seizoen bereikt naarmate de troebelheid van de waterkolom hoger is. De fytoplanktonbloei in het mondingsgebied van de Schelde komt dus ook later op gang dan in de rest van het BCP, wat dus hoogstwaarschijnlijk te wijten is aan de hogere turbiditeit in de Scheldemonding.

4. Primaire productie

Er zijn tot op heden geen primaire productiemetingen uitgevoerd op de 'Vlakte van de Raan' zelf. Omdat verwacht mag worden dat de fytoplanktonproductie in dit gebied niet veel zal afwijken van die in de monding en het westelijk deel van de Westerschelde is geprobeerd met een eenvoudige modelbenadering de primaire productie van 3 westelijke stations in de Westerschelde te berekenen voor de periode 1996-2005. Daarnaast is een voorlopige analyse gemaakt van een aantal waterkwaliteitsparameters in die periode die van invloed zijn op de fytoplankton primaire productie.

4.1. Methode

We hebben gebruik gemaakt van de data van het monitoringsprogramma van het NIOO-CEMO. Hierbij worden standaard maandelijkse bemonsteringstochten gevaren, alhoewel in het groeiseizoen meestal extra bemonsteringen zijn uitgevoerd. Alle jaargemiddelde concentraties zijn gebaseerd op gewogen gemiddelden.

Primaire productie in de Westerschelde kan worden berekend met de volgende formule (Cole en Cloern, 1987):

$$P \text{ (mgC.m}^{-2}\text{.d}^{-1}\text{)} = a \cdot E_o \cdot [\text{chl}a] \cdot Z_{eu} + b \quad (1)$$

Waarbij a (1.535) en b (-4.528) fitconstanten zijn ($r^2 = 0.63$), bepaald uit een regressie tussen de gemeten primaire productie m.b.v. de ^{14}C -methode en het product van E_o , $[\text{chl}a]$ en Z_{eu} (Kromkamp en Peene, 2005). E_o is de dagelijkse instraling (400 - 700 nm, in mol photonen m^{-2} , gemeten met een LiCor LI-190 lichtsensor), $[\text{chl}a]$ is de chl a concentratie (bepaald m.b.v. HPLC - Rijstenbil 2001) en Z_{eu} de eufotische zone, d.w.z. zeggen die diepte tot waar 1% van het licht doordringt ($Z_{eu} = 4.6/K_d$ waarbij K_d de lichtverzwakkingscoëfficiënt is, bepaald aan de hand van onderwater lichtmetingen (LiCor LI192)). De ^{14}C -methode meet de fotosynthese door de opname van radioactief gelabeld CO_2 te meten. De twee uur durende incubaties werden uitgevoerd (in duplo) bij 11 verschillende lichtintensiteiten in een incubator aan boord van het onderzoeksschip de Luctor. Hierdoor is de relatie tussen de fotosynthese en de lichtintensiteit gekend en kan op iedere diepte in de waterkolom de fotosynthese worden uitgerekend met behulp van de daarbij behorende lichtintensiteit op die diepte. Sommatie van de fotosynthesesnelheid over de gehele waterkolom en de gehele dag geeft de primaire productie van die dag (mgC.m^{-2}). De jaarproducties zijn bepaald door iedere dag de dagproductie te berekenen, waar is gebruik gemaakt van actuele daginstraling (gemeten op het dak van het NIOO) en lineair geïnterpoleerde chl a en SPM-concentraties. De jaarproductie is dan de som van de dagproducties van dat jaar.

Omdat in de periode 1996-2005 alleen in 2001 lichtmetingen zijn uitgevoerd is het verband tussen K_d en het gesuspendeerd materiaal bepaald aan de hand van data uit 1991 en 2001 voor stations in de Westelijke Westerschelde (Fig. 7).

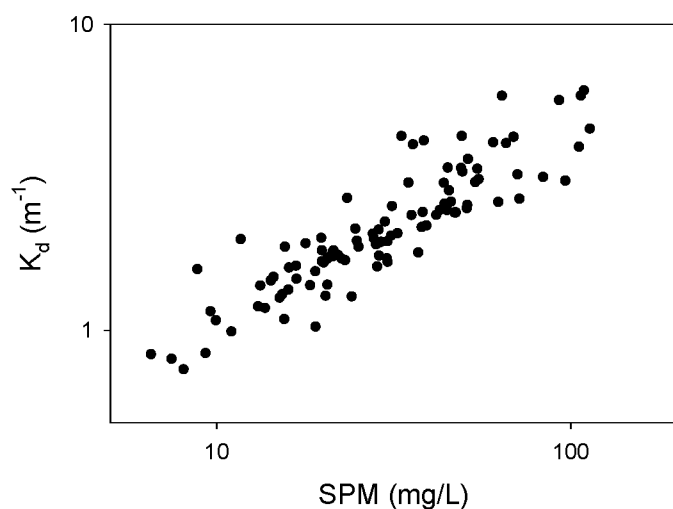


Fig. 7. Verband tussen K_d en SPM, gebaseerd op data van 1991 en 2001 voor de westelijke stations van de Westerschelde.

De relatie tussen K_d en SPM is: $K_d = 0.0403 [\text{SPM}] + 0.9092$ ($r^2 = 0.71$). Aan de hand van deze relatie is vervolgens Z_{eu} bepaald voor de 3 stations in de periode 1996-2005. Om na te gaan of vergelijking (1) ook geldt voor de westelijke stations in de Westerschelde is het product van de chl a concentratie, de totale dagelijkse instraling en de fotische zone ($\alpha \cdot E_o \cdot [\text{chl}a] \cdot Z_{eu}$) uitgezet tegen de dagproducties gemeten met de ^{14}C -methode (data van 1991 en 2001) (Fig. 8).

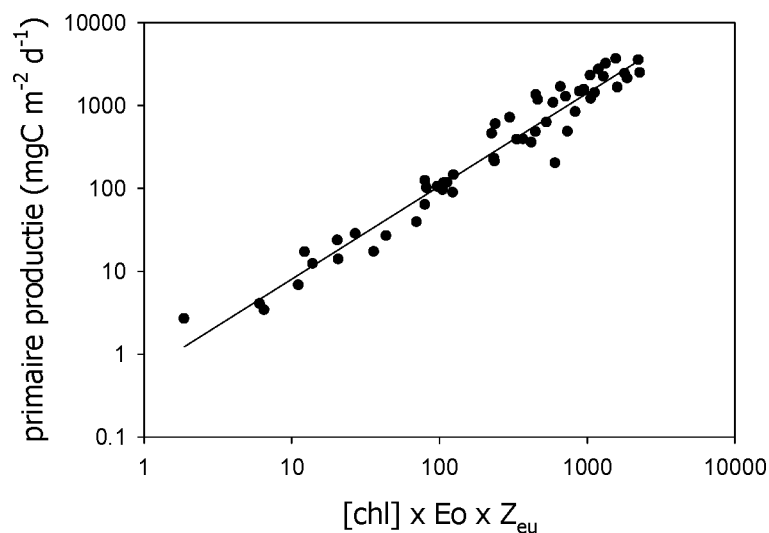


Fig. 8. Verband tussen het product van de chlorofylconcentratie, E_o en Z_{eu} en de dagproductie gemeten aan de hand van de ^{14}C methode gebaseerd op data van 1991 en 2001 voor de westelijke stations van de Westerschelde.

De dagproductie (PP, in $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$) kan als volgt worden beschreven:

$$\text{PP} = 1.492 \cdot [\text{chl}a] \cdot E_o \cdot Z_{\text{eu}} + 15.7 \quad (r^2=0.82) \quad (2)$$

Deze coëfficiënten zijn vrijwel identiek aan die bepaald voor de gehele Westerschelde (zie vergelijking 1) en de kleine verschillen zijn dan ook niet significant. Om die reden hebben we de coëfficiënten gebruikt voor de gehele Westerschelde, omdat die bepaald zijn op basis van een grotere dataset.

Het verloop in primaire productie verloopt nogal grillig van jaar tot jaar: er zijn jaren met een duidelijke voorjaarspiek die valt in de periode april – mei. Soms zijn er jaren dat er naast een voorjaarsbloei ook een najaarsbloei is waar te nemen in augustus. En soms zijn er jaren dat de productie eigenlijk vrij hoog is gedurende de hele periode april - augustus. Om het vergelijken in productie tussen de verschillende jaren mogelijk te maken, is de jaarproductie uitgerekend. De jaarproducties variëren van ongeveer $130\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}$ tot $390\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}$ (Fig. 9). De variaties in primaire productie laten hetzelfde verloop zien als de gemiddelde chl_a concentraties.

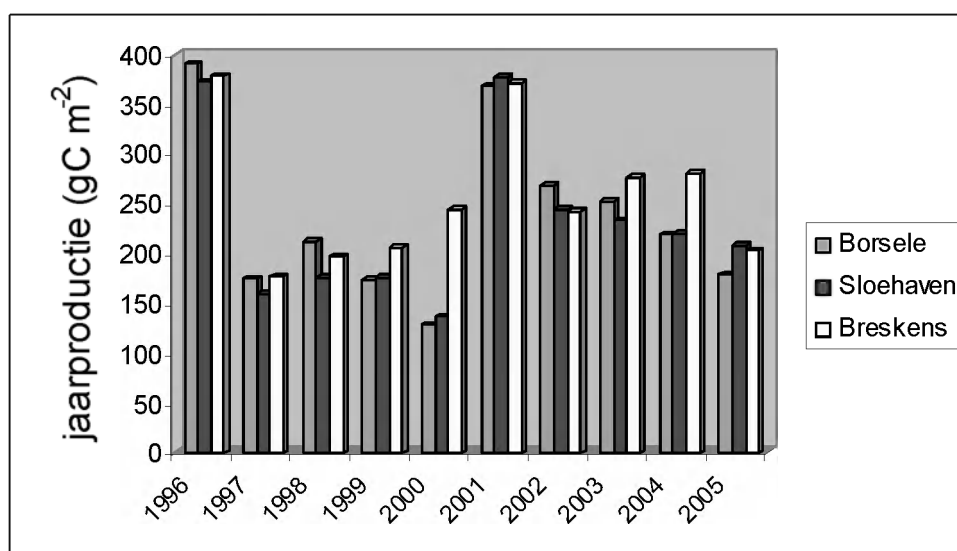


Fig. 9. Jaarproductie in de westelijke stations van de Westerschelde.

5. Diversiteit

Het Schelde-estuarium wordt gekenmerkt door een erg geleidelijke en stabiele zoutgradiënt. Deze verandering in saliniteit heeft een uitgesproken invloed op alle organismen die in het estuarium leven, het fytoplankton inbegrepen. De toevoerrivieren voeren typische rivieralgen aan, vooral ééncellige groenwieren zoals *Scenedesmus* spp. en een diverse groep ultraplankton ($< 3\mu\text{m}$) zoals *Nannochloris* en *Chlorella* spp. In het zoetwater- en brakke getijdengebied wordt het fytoplankton vooral gedomineerd door diatomeeën, die goed aangepast zijn aan het leven bij lage lichtintensiteiten. Langsheen de estuariene zoutgradiënt vindt een geleidelijke overgang plaats van gemeenschappen gedomineerd door typische zoetwaterdiatomeeën, naar gemeenschappen gedomineerd door brakke en tenslotte mariene diatomeeën (Muylaert *et al.*, ingediend). In de Scheldemonding bestaat het fytoplankton gedurende de voorjaarsbloei vooral uit diatomeeënsoorten die typisch zijn voor dynamische, nutriëntrijke kustwateren in gematigde streken, aangevuld met soorten die hun optimum hebben in het meest stroomafwaartse deel van het estuarium. Gedurende de bloei grijpt bovendien een uitgesproken successie plaats.

Aan het eind van de winter treffen we vooral soorten aan die een benthopelagische levensstijl hebben (d.w.z. dat ze zowel in de sedimenten als in de waterkolom aangetroffen kunnen worden) en kleine pelagische taxa. De benthopelagische soorten zijn doorgaans sterk verkiezeld, zoals *Paralia sulcata*, *Rhaphoneis amphiceros* en *Actinoptychus senarius*. Deze gemeenschap wordt in de lente kortstondig vervangen door verschillende *Chaetoceros* spp. Op het hoogtepunt van de bloei treffen we vooral weinig verkiezelde diatomeeënsoorten zoals *Rhizosolenia* spp. en *Guinardia delicatula* aan, en verschillende *Pseudo-nitzschia* soorten. Dit laatste genus is wereldwijd berucht, omdat verschillende vertegenwoordigers neurotoxines produceren die kunnen accumuleren in schelpdieren die daardoor ongeschikt worden voor menselijke consumptie. Toxineproductie is echter nog niet opgetreden in de Belgische en ZW-Nederlandse kustwateren. De meest dominante soort gedurende de bloeien is echter de schuimalg *Phaeocystis*. De vervanging van sterk verkiezelde door weinig verkiezelde diatomeeën, en de opkomst van *Phaeocystis*, wordt toegeschreven aan de geleidelijke depletie aan opgeloste silica. De antropogene input van stikstof en fosfor in de kustwateren heeft bovendien de N/Si en P/Si ratios veranderd, wat geleid heeft tot meer intense bloeien van niet-diatomeeën, zoals *Phaeocystis*. Een opvallend verschijnsel in het gebied van de 'Vlakte van de Raan' is dat niet alleen het tijdstip van de bloei iets later valt dan in de rest van het BCP (zie boven), maar dat ook de hierboven beschreven successie in haar geheel opschuift.

6. In situ benthische primaire productie?

Zoals boven reeds vermeld, wordt doorgaans aangenomen dat in troebele kustwateren het gros van de primaire productie in de waterkolom uitgevoerd wordt door het fytoplankton. Recent onderzoek heeft echter aangetoond dat bodembewonende (benthische) algen vaak nog actief kunnen groeien bij erg lage lichtintensiteiten (tot 0.1% van de gemiddelde flux aan het oppervlak), en dat het belang van subtidale sedimenten voor de primaire productie van kustecosystemen in het verleden sterk onderschat werd (Cahoon, 1999). Het is dus niet onmogelijk dat in de ondiepe 'Vlakte van de Raan' toch *in situ* benthische primaire productie plaatsgrijpt. Meetgegevens tonen aan dat de eufotische zone in het gebied van de Vlaamse Banken, de Zeelandbanken en de Hinderbanken tot > 10 - 13m diep kan reiken (Dewicke *et al.*, 2003, Cattrijsse, pers. comm.). Belangrijke delen van de aanwezige zandbanksystemen (inclusief de 'Vlakte van de Raan') worden zodoende in theorie geschikt voor primaire productie (althans wat betreft het lichtklimaat). Wieking en Kröncke (2003) suggereren dat benthische primaire productie belangrijker kan zijn in de ondiepere delen van de Doggerbank (18 - 20m). In sedimenten van de Vlaamse Banken werden bovendien verhoogde chlorofylconcentraties gemeten vòòr de voorjaarspiek van de fytoplanktonbloeien, waardoor ze niet aan het bezinken hiervan toegeschreven kunnen worden (Bonne, 2003). Momenteel zijn geen gegevens beschikbaar over de aanwezigheid van benthische primaire producenten op de 'Vlakte van de Raan'. Gezien harde substraten ontbreken zou deze benthische productie vooral uitgevoerd worden door bodembewonende diatomeeën en niet door macroalgen.

7. Wat brengt de toekomst voor de primaire productie in de Scheldemonding?

De belangrijke economische rol van het Schelde-estuarium als toegangspoort tot de havens van Antwerpen, Gent, Terneuzen en Vlissingen, en het groeiende besef dat er maatregelen dienden genomen te worden tegen de enorme organische vervuiling van het estuarium, heeft gedurende de laatste jaren geleid tot een begin van verandering. Enerzijds zorgt de voortdurende verdieping van de Westerschelde tot morfologische en hydrodynamische veranderingen in de geulen en de getijdengebieden (slikken en schorren) van het estuarium – wat gevolgen heeft voor de aanwezige biota. Anderzijds is er een geleidelijke verbetering van de waterkwaliteit waar te nemen, wat met de ingebruikneming van de waterzuiveringsinstallatie op de Zenne – met het rioolwater van Brussel – in 2007 nog versterkt zal worden (Soetaert *et al.*, 2006).

Deze verbetering in waterkwaliteit, die zich vooral uitte in verhoogde zuurstofgehaltes in het water, leidden tot belangrijke biogeochemische veranderingen in het estuarium, die zich laten voelen tot in het mondingsgebied.

In het algemeen wordt aangenomen dat de primaire productie in de Westerschelde wordt beperkt door de hoeveelheid licht, omdat het systeem erg troebel is en rijk aan nutriënten (Kromkamp en Peene, 1995). Vanwege de verdiepingsactiviteiten in de Westerschelde zou het mogelijk zijn dat er nog meer gesuspendeerd materiaal in de waterkolom komt en dat dit de fytoplankton primaire productie zou beperken. Echter, in een vergelijking tussen 1991 en 2001 concludeerden Kromkamp en Peene (2005) dat de relatie tussen gesuspendeerd materiaal, de hoeveelheid licht in de waterkolom en de hoeveelheid chl_a tussen 1991 en 2001 niet is veranderd, en dit niettegenstaande de verdiepingswerken. Uit een analyse van de SPM-gegevens tussen 1996 en 2005 blijkt ook geen significante verandering. Hieruit kan geconcludeerd worden dat die processen, die bottom-up bijdragen aan de primaire productie (licht- en nutriënten- beschikbaarheid, temperatuur relatie m.b.t. fotosynthese activiteit) in die periode niet veranderd zijn, en dat iedere verandering in primaire productie het gevolg zou moeten zijn van veranderingen in de top-down controle op de fytoplanktonpopulatie, waarbij begrazing door schelpdieren en zooplankton de belangrijkste factoren zijn. Blijft over de vraag wat de achtergrond is van de variaties in algenbiomassa en primaire productie die een 5-jarige cyclus vertonen. Op dit moment is dat onduidelijk, maar de jaarlijkse primaire productie is sterk gecorreleerd aan de nutriëntgehaltes van het jaar daarvoor (voor stations Breskens varieert de r^2 tussen 0.61 en 0.62 met de gemiddelde DIN, fosfaat en silicaat concentraties, voor Borsele is de r^2 afgenomen tot ~ 0.48). Dit betekent dat een deel van de productie in het kustgebied misschien toch beperkt wordt door nutriënten. Als wordt aangenomen dat de Si-concentratie positief correleert met de regenval, zou het kunnen zijn dat de schommelingen in de productie samenhangen met de variaties in regenval.

De effecten van een verbetering in waterkwaliteit op de biogeochemie (en vooral de nutriëntstoichiometrie) van het estuarium en de aangrenzende kustzone zijn complex. Voor het optreden en de samenstelling van fytoplanktonbloeien zijn vooral de verhoudingen tussen de aanwezige potentieel limiterende nutriënten van belang. Indien deze ratio's sterk afwijken van de ratio's die vereist zijn voor de groei van algen, kan nutriëntlimitatie optreden. Veranderingen in deze ratio's in het estuarium duiden op de mogelijkheid van een P-limitatie voor de algengroei in zowel het estuarium als in het kustgebied (Soetaert *et al.*, 2006). DIN en fosfaat gehalten in het BCP zijn nu reeds dicht bij het limiterende niveau voor de groei van *Phaeocystis* (Muylaert *et al.*, 2006). Gezien de verdere verbetering van de waterkwaliteit in het Schelde-estuarium, valt het te verwachten dat in de toekomst veranderingen zullen optreden in de samenstelling en de intensiteit van de fytoplanktonbloeien in de zuidoostelijke Noordzee en het gebied van de Scheldemonding.

8. Aanbevelingen voor verder onderzoek

Teneinde de te verwachten veranderingen in de fytoplanktonbloeien – die resoneren doorheen het hele voedselweb – op te volgen, is een verdere inspanning voor langetermijnmonitoring van de abiotiek en het fytoplankton in het Schelde-estuarium en de rechtstreeks aangrenzende kustgebieden, inclusief de 'Vlakte van de Raan', noodzakelijk. Deze monitoring zal ons toelaten bestaande modellen met betrekking tot o.m. de regulatie van *Phaeocystis* versus diatomeeënbloeien te toetsen aan de werkelijkheid, en de onderliggende mechanismen te doorgronden. Deze monitoring zal ons ook toelaten om het voorkomen van bloeien van plaagalgen (zowel de schuimalg *Phaeocystis* als potentieel toxische algen zoals *Pseudo-nitzschia*) verder op te volgen.

Referenties

- Bonne W. (2003). Benthische copepodengemeenschappen in relatie tot natuurlijke en antropogene invloeden in de Noordzee: sedimenten, zandontginning en de phytoplanktonbloei. Ph.D. Thesis, UGent, België. 289 pp.
- Cahoon L.B. (1999). The role of benthic microalgae in neritic ecosystems. *Oceanography and Marine Biology: An annual Review*, 37: 47-86.
- Cole B.E. en Cloern J.E. (1987). An empirical model for estimating phytoplankton productivity in estuaries. *Marine Ecology Progress Series*, 36: 299-305.
- Dewicke A., Cattijssse A., Mees J. en Vincx M. (2003). Spatial patterns of the hyperbenthos of subtidal sandbanks in the southern North Sea. *Journal of Sea Research*, 49(1): 27-45.
- Kromkamp J. en Peene, J. (1995) Possibility of net phytoplankton primary production in the turbid Schelde Estuary (SW Netherlands). *Marine Ecology Progress Series*, 121:249-259.
- Kromkamp J. en Peene J. (2005). Changes in phytoplankton biomass and primary production between 1991 and 2001 in the Westerschelde estuary (Belgium/The Netherlands). *Hydrobiologia*, 540: 117-126.
- Muylaert K., Sabbe K. en Vyverman W. (2000). Spatial and temporal dynamics of phytoplankton communities in a freshwater tidal estuary (Schelde, Belgium). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 50: 673-687.
- Muylaert K., Gonzales R., Franck M., Lionard M., Van der Zee C., Cattijssse A., Sabbe K., Chou L. en Vyverman W. (2006). Spatial variation in phytoplankton dynamics in the Belgian coastal zone of the North Sea studied by microscopy, HPLC-CHEMTAX and underway fluorescence recordings. *Journal of Sea Research*, 55: 253-265.
- Muylaert K., De Bruycker J., Franck M., Sabbe K. en Vyverman W. (ingediend). Phytoplankton diversity along the river-estuary-coastal zone continuum of the Schelde (Belgium/The Netherlands). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*.
- Rijstenbil J.W., Bakker C., Jackson R.H., Merks A.G.A. en de Visscher P.R.M. (1993). Spatial and temporal variation in community composition and photosynthetic characteristics of phytoplankton in the upper Westerschelde estuary (Belgium, SW Netherlands). *Hydrobiologia*, 269/270: 263-273.
- Rijstenbil, J.W. (2001). Effects of periodic, low UV radiation on cell characteristics and oxidative stress in the marine planktonic diatom *Ditylum brightwellii*. *European Journal of Phycology*, 36: 1-8.
- Soetaert K., Middelburg J., Heip C., Meire P., Van Damme S. en Maris T. (2006). Long-term change in dissolved inorganic nutrients in the heterotrophic Scheldt estuary (Belgium, The Netherlands). *Limnology and Oceanography*, 51: 409-423.
- Wieking G. en Kröncke I. (2003). Macrofauna communities of the Dogger Bank (central North Sea) in the late 1990s: spatial distribution, species composition and trophic structure. *Helgoland Marine Research*, 57(1): 34-46.

DE BODEMFAUNA IN HET NEDERLANDS DEEL VAN DE SCHELDEMONDING

Johan A. Craeymeersch^{1,2}, Vincent Escaravage³, Josien Steenbergen², Jeroen Wijsman², Sander Wijnhoven³ en Belinda Kater¹

¹ Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ), Rijkswaterstaat, Postbus 8039, 4330 EA Middelburg, Nederland. Email: johan.craeymeersch@wur.nl

² Institute for Marine Resources and Ecosystem Studies, Wageningen IMARES, Postbus 77, 4400 AB Yerseke, Nederland

³ Nederlands Instituut voor Oecologisch Onderzoek, Centrum voor Estuariene en Mariene Ecologie (KNAW-NIOO-CEME), Korringaweg 7, Postbus 140, 4400 AC Yerseke, Nederland

1. Inleiding

De 'Vlakte van de Raan' is een omvangrijke zandplaat, centraal gelegen in de monding van de Westerschelde. Dit overgangsgebied tussen estuarium en zee is de zuidelijkste buitendelta (ondiepte gelegen aan de zeewaartse kant van een zeegat) in België en het zuidwesten van Nederland van de rivieren Schelde, Rijn en Maas. Het is de enige buitendelta in dit gebied die nog een natuurlijke verbinding heeft met een estuarium. Sinds de Deltawerken is de uitwisseling met de noordelijker gelegen Oosterschelde, Grevelingen en Haringvliet immers niet meer mogelijk of sterk gereduceerd. Deze werken hebben niet alleen een effect gehad op het binnengebied van de Delta, maar ook in het kustgebied morfologische veranderingen in gang gezet (IBV, 1993). Een groot deel van het gebied is, ten behoeve van de bescherming van natuur en milieu, aangewezen –respectievelijk aangemeld – als '*Speciale Beschermingszone*' in het kader van de Europese Vogel- en Habitatrichtlijnen.

De morfologische veranderingen resulteerden op hun beurt in verschuivingen in de ecologie van de bodemfauna. Deze veranderingen werden gevolgd binnen verscheidene monitoringsprogramma's uitgevoerd in dit gebied over de laatste dertig jaren. In de Haringvlietmond werd met de 'Maasvlakte' land aangewonnen ten behoeve van de uitbreiding van de haven van Rotterdam. Een nieuwe landaanwinning (Maasvlakte II) wordt momenteel voorbereid. Ook in dat kader is er onlangs een omvangrijk, aan bodemfauna gewijd, monitoringsprogramma uitgevoerd.

Het kustgebied is verder van belang voor verschillende vormen van visserij, o.a. op schelpdieren (kokkels, strandschelpen, mesheften). Ten behoeve van de vergunningverlening wordt al een aantal jaren het bestand van deze soorten geschat op basis van jaarlijkse bemonsteringen. Ook is onderzoek verricht naar de effecten van schelpdiervisserij op de rest van het bodemleven.

In voorliggend document wordt een overzicht gegeven van het uitgevoerde onderzoek en de belangrijkste resultaten daarvan, in het bijzonder wat betreft ruimtelijke en temporele fluctuaties. De resultaten worden weergegeven zoals in de onderliggende rapporten vastgelegd, maar met een focus op het mondingsgebied van de Westerschelde. We beperken ons tot de grotere, in de bodem levende dieren (macrobenthische endofauna). Voor het (beperkte) onderzoek naar de kleinere fauna-elementen (meiofauna) en de op en nabij de bodem levende dieren (epi- en hyperbenthos), verwijzen we naar Craeymeersch *et al.* (1990a, b); Cattijssse *et al.* (1993); Hamerlynck en Craeymeersch (1990); Hamerlynck en Mees (1991); Hamerlynck *et al.* (1990, 1992, 1993); Mees (1994); Huys *et al.* (1986); Vanreusel (1990, 1991); Craeymeersch en van der Land (1998).

2. Materiaal en methoden

2.1. Gegevens

Voor het bemonsteren van de endobenthische macrofauna vanaf schepen wordt in de Noordzee traditioneel gebruik gemaakt van happers en van de zwaardere box-corers (Fig. 1). Een box-corer kan vanwege zijn gewicht niet op alle schepen gebruikt worden, vooral niet in ondiepe gebieden. Bovendien maken bare weeromstandigheden het werken met een box-corer moeilijk (gevaarlijk), dan wel onmogelijk. In dat geval wordt veelal gebruik gemaakt van de meer handelbare happers. De meest gebruikte happer in Nederland is de Van Veen grijper. De oppervlakte van de happer is meestal iets groter dan van de box-corer maar de penetratiediepte van de eerste is echter beduidend kleiner, wat vooral resulteert in lagere dichtheden en biomassa's van dieper in het sediment levende soorten (Beukema 1974; Heip *et al.*, 1985).

Daarnaast zijn in de loop der jaren in de Noordzee ook heel wat types korren en dreggen gebruikt, die veelal slechts semi-kwantitatieve data opleveren, omdat de bemonsteringsefficiëntie van het tuig niet bekend is. Een relatief nieuwe type dreg te gebruiken voor een kwantitatieve bemonstering van de grotere en relatief zeldzame epifauna- en infauna-soorten is de bodemschaaf (Fig. 1). In Nederland zijn op dit moment twee types in gebruik: de triple-D (NIOZ) (Bergman en van Santbrink, 1994) en de schaaf gebruikt bij schelpdierinventarisaties (Wageningen IMARES), ondermeer in de Zeeuwse en Zuidhollandse kustzone (van Stralen, 1992; Craeymeersch en van der Land, 1998). De schaaf is een kooi (maaswijdte 0.5cm) aan de onderzijde voorzien van een mes van 10cm breed. Het mes is ontworpen om een strip sediment over een bepaalde afstand tot een diepte van 7cm weg te halen en in de kooi te brengen. Bovenaan de schaaf is een plaat gemonteerd die, als een autospoiler, ervoor zorgt dat het mes in de bodem gedrukt wordt. Omdat het voorste deel iets boven de bodem hangt, worden ook epibenthische dieren gevangen. De kooi fungeert als zeef. Het vissen gebeurt over een afstand van ongeveer 150 meter, waardoor het bemonsterde oppervlakte ongeveer $\pm 15\text{m}^2$ bedraagt. De beviste afstand wordt bepaald via een aan de zijkant van de schaaf gemonteerd wiel, voorzien van een elektronische teller die het aantal omwentelingen van het wiel registreert.

Voor de inventarisatie van schelpdierbestanden in ondiepe wateren maakt IMARES ook gebruik van een zuigkor (Fig. 1). De zuigkor is afgeleid van de bestaande kokkelkor aan boord van kokkelschepen. De zuigkor is uitgerust met een gewicht, dat ervoor zorgt dat tijdens het lichten van de zuigkor geen schelpdieren meer verloren gaan doordat de zuigmond wordt afgesloten. De breedte van het mes is 20cm i.p.v. 1m bij de commerciële kokkelkorren. De kor is verder voorzien van een gaas met een maaswijdte van 5mm.

Tevens wordt in de trommel een geperforeerde plaat met gaten van 0.5 bij 0.5cm gemonteerd. De beviste afstand wordt bepaald uit het navigatietraject. Bij een beviste afstand van 150m bedraagt het bemonsterde oppervlakte dus 20m^2 .

Box-corers en happers zijn vooral geschikt voor het bemonsteren van de relatief kleinere, minder 'zeldzame', in de bodem levende dieren, waarbij de box-corer door zijn grotere penetratiediepte de voorkeur heeft. Grotere mobiele en sedentaire soorten worden zelden in voldoende aantallen gevonden met deze tuigen. Een bodemschaaf (en kor) beperkt zich tot de bovenste bodemlaag, en gezien de grotere maaswijdte tot de grotere dieren, die ook in kleinere dichtheden voorkomen. Dit tuig is overigens ook geschikt voor het bemonsteren van de epifauna (Bergman en van Santbrink 1994; Ens *et al.*, in voorbereiding). In de volgende twee paragrafen wordt een overzicht gegeven van de bemonsteringen met deze tuigen in de kustzone tussen Zeebrugge en Hoek van Holland.



Fig. 1. Monstertuigen gebruikt bij onderzoek naar macrobenthos: box-corer (rechtsboven), Van Veen gripper (linksboven), bodemschaaf (linksonder) en hydraulische kor (rechtsonder).

2.1.1. Box-corer / van Veen

Onderstaande figuur geeft een overzicht van alle locaties die in het kustzone tussen Zeebrugge en Hoek van Holland minimaal eenmaal bemonsterd zijn. Het gaat om:

- Enkel raaien, bemonsterd bij aanvang van het onderzoek naar de effecten van de Deltawerken (1962, 1966);
- Gehele Voordelta, bemonsterd in het kader van het opstellen van het 'Integraal Beleidsplan Voordelta' (1984-1986, inclusief de monding van de Westerschelde);
- Gehele Voordelta, in het kader van het Monitoring- en Evaluatieprogramma Maasvlakte II (2004-2005, exclusief de monding van de Westerschelde);
- Nationaal monitoringprogramma (MWTL, Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands) (sinds 1991, 4 locaties);
- Evaluatie van de aanleg van het baggerspeciedepot bij de haven van Rotterdam (Haringvlietmonding, 1983-2000);
- Buitendelta's Oosterschelde en Grevelingen, in het kader van het opstellen van het 'Integraal Beleidsplan Voordelta' (1987-1988);

- Effectonderzoek schelpdiervisserij, inclusief monitoring (ruimtelijk beperkt tot de buitendelta's van de Oosterschelde, Grevelingen en Haringvliet, 1994-1996);
- Onderzoek naar de effecten van de schelpdiervisserij (Haringvlietmond en buitendelta Grevelingen, 2002-2003).

In totaal zijn meer dan 1 600 monsters genomen. Maar de bemonsteringen in het mondingsgebied van de Westerschelde zijn beperkt in de tijd: 1984-1986. Op één MWTL-locatie na, allen gelegen op de vooroever van de Voordelta op de grens van de buitendelta's van Westerschelde en Oosterschelde.

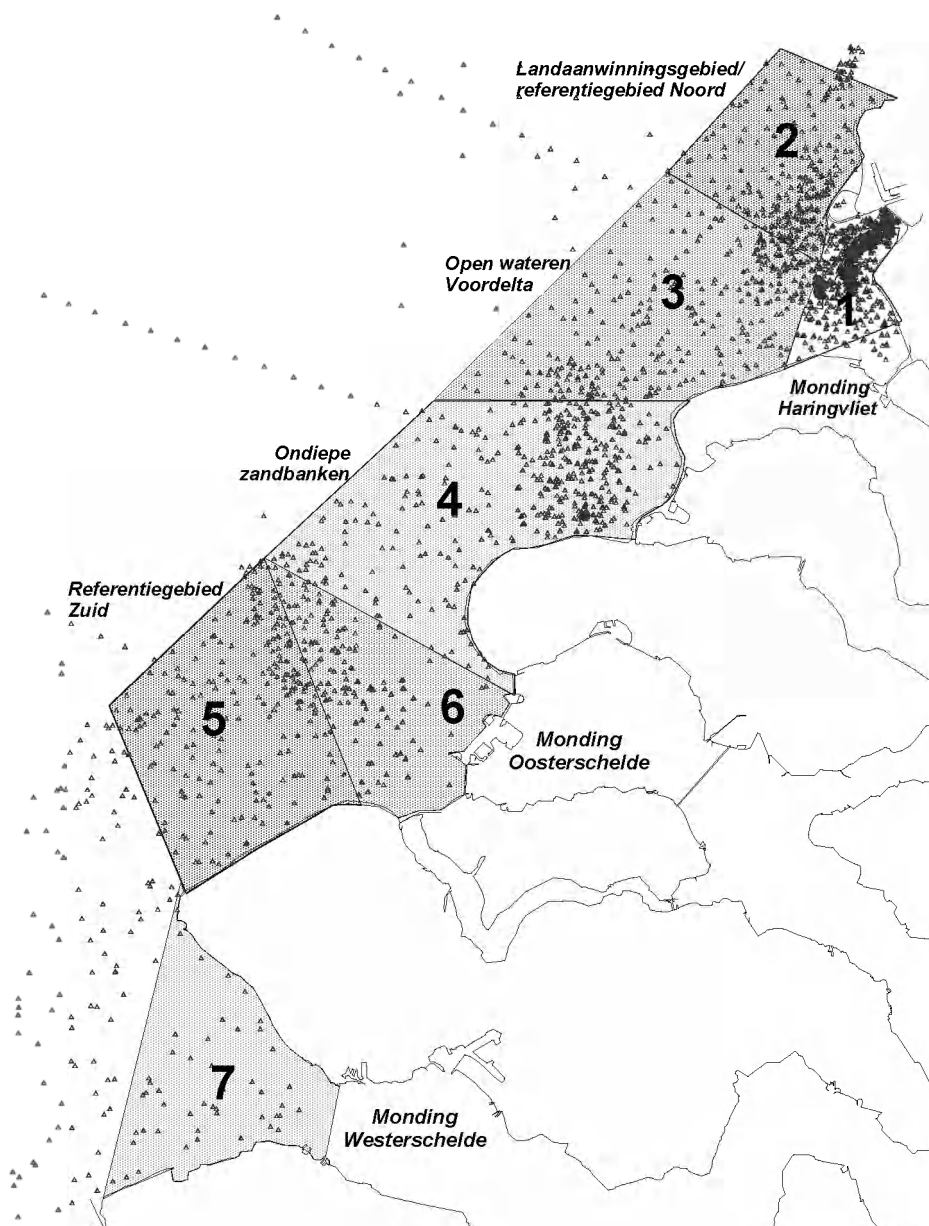


Fig. 2. Overzicht van alle met een happer of box-corer bemonsterde locaties in de periode 1962-2005, met de door Wijnhoven *et al.* (2006) onderscheidde deelgebieden (1 t/m 7).

Veelal is per locatie slechts één enkel monster genomen. De monsters zijn meestal direct uitgespoeld over een zeef met een maaswijdte van 1 mm, waarna het residu gefixeerd is met pH-geneutraliseerde formaldehyde. In het lab werden de monsters dan verder verwerkt. Alle dieren werden, voor zover mogelijk, tot op soort gedetermineerd. En van alle soorten werd de dichtheid (individueen per m²) en biomassa (g asvrijdrooggewicht per m²) bepaald. In 1962 en 1966 werd enkel de dichtheid bepaald.

2.1.2. Gesleepte vistuigen

In de Voordelta is men in het voorjaar van 1993 met bestandsopnames gestart. De bemonsteringen zijn primair gericht op kokkels *Cerastoderma edule* en halfgeknotte strandschelpen *Spisula subtruncata* en steeds uitgevoerd in het voorjaar (april-juni). Er is gemonsterd met twee vistuigen: een bodemschaaf en, in het ondiepe gebied van de Voordelta, een aangepaste zuigkor.

De monsterpunten worden over het onderzoeksgebied verdeeld volgens een grid, waarbij voor een efficiënte verdeling van de onderzoeksinspanning het gebied verdeeld is in een aantal strata: gebieden met een verschillende kans of verwachting op het voorkomen van strandschelpen en kokkels. In strata waar zich mogelijk schelpdieren bevinden, wordt een fijner grid bemonsterd dan in gebieden waar lage dichtheden verwacht worden. In strata waar geen schelpdieren verwacht worden, wordt het minst intensief bemonsterd. Gezien de geomorfologie van de Voordelta (geulen en platen) wordt daar standaard een fijner grid bemonsterd dan in de rest van de Nederlandse kustzone. De oppervlakte van het gridvlak waarvoor iedere locatie representatief is, is dus afhankelijk van het stratum. Als gevolg van deze procedure variëren het aantal monsterpunten, de monsterlocaties en de gebruikte strata over de jaren.

Dezelfde monstertuigen zijn, naast box-corers, ook gebruikt bij de eerder genoemde onderzoeken naar de effecten van schelpdiervisserij op het bodemleven, en het Monitoring- en Evaluatieprogramma Maasvlakte II.

In totaal werden in het gebied tussen Zeebrugge en Hoek van Holland jaarlijks 340 - 518 locaties bemonsterd. In totaal zijn meer dan 6000 monsters genomen, op zo'n 2000 locaties (Fig. 3). In meerdere jaren bevond een deel daarvan zich op het Belgisch Continentaal Plat.

Van alle soorten, ongeveer 40, wordt de dichtheid (individueen per m²) bepaald, van de meeste soorten ook de biomassa (g versgewicht inclusief schelp per m²; niet van o.a. mesheften, strandgapers en heremietkreeften).

Voor mesheften dient opgemerkt te worden dat de gepresenteerde dichtheden waarschijnlijk sterk onderschat zijn. Uit een vergelijking van de dichtheden in 2004, zoals bepaald uit de monsters met de box-corer en de bodemschaaf, blijkt een onderschatting van de aantallen op basis van de bodemschaaf van 61%. De mate van deze onderschatting geldt niet per se voor andere jaren en kan ook tussen deelgebieden verschillen als functie van de leeftijdsopbouw van de populatie. Oudere, grotere dieren zullen zich dieper in het sediment kunnen terugtrekken dan kleinere, jonge dieren en worden daardoor minder goed gevangen met de gesleepte vistuigen. Hierdoor is er waarschijnlijk geen eenduidige verhouding tussen het geschatte bestand en het werkelijk aanwezige bestand. De onderschatting zal vooral gelden voor de grotere mesheften. Als de broedval, en dus de leeftijdsopbouw, in de verschillende deelgebieden niet gelijk is, zal dit een grote invloed gehad hebben op de waargenomen dichtheden (Wijsman *et al.*, 2006). De conclusies met betrekking tot de temporele en ruimtelijke fluctuaties, die in dit overzicht gepresenteerd worden, moeten daarom met de nodige omzichtigheid gebruikt worden.

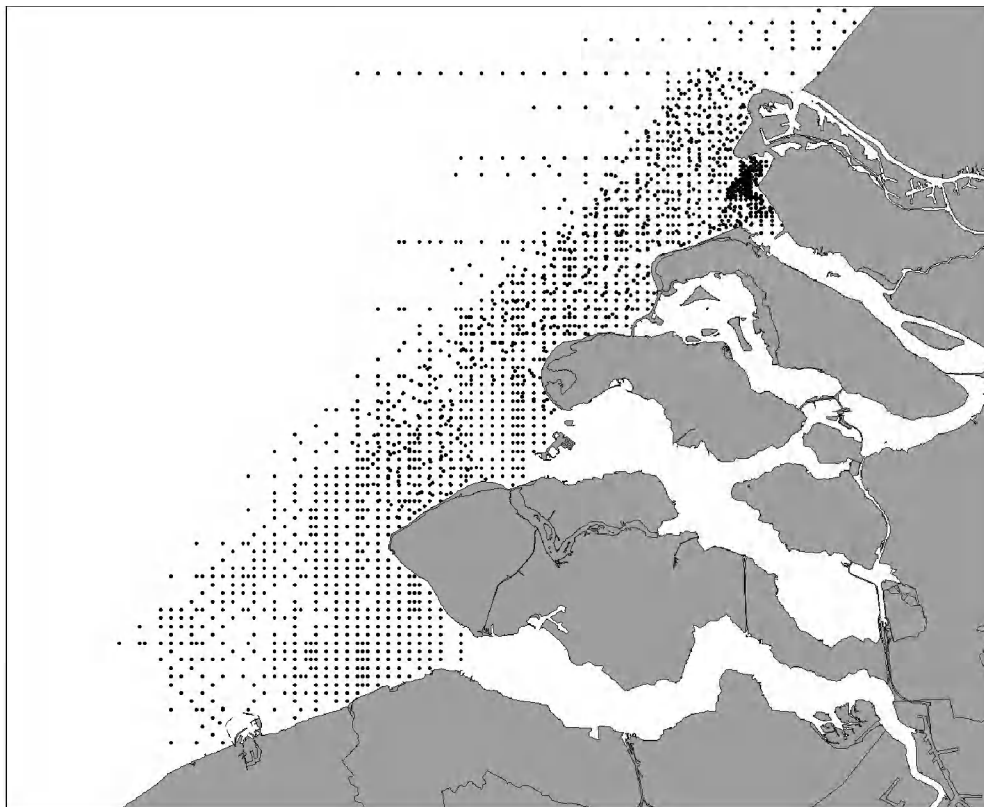


Fig. 3. Overzicht van alle met een gesleept vistuig bemonsterde locaties in de periode 1993-2005.

3. Ruimtelijke patronen

De soortensamenstelling in de vier buitendelta's is zeker niet overal gelijk. Op basis van data uit de periode 1984-1988 groepeerde Craeymeersch *et al.* (1990a) alle bemonsterde locaties in vijf groepen (clusters). De ruimtelijke weergave ervan levert een verdeling van het gebied in zes strata (deelgebieden) (Fig. 4).

Twee strata zijn ruimtelijk beperkt tot respectievelijk het mondingsgebied van het Haringvliet (stratum 5) en de Westerscheldemonding (stratum 6). De verdere verdeling is duidelijk gerelateerd aan de hoogteligging. Stratum 6 wordt gekenmerkt door een erg lage soortensamenstelling (zelfs locaties waar geen bodemdieren gevonden werden) en is daarom als afzonderlijke gemeenschap genomen. Voor de vijf andere strata kunnen een aantal kensoorten opgenoemd worden. De draadworm *Heteromastus filiformis* is karakteristiek voor cluster V.

Ook andere studies (o.a. Craeymeersch en van der land, 1998; Craeymeersch en Wijsman, 2006; Wijnhoven *et al.* 2006) geven aan dat dit gebied uniek is binnen de Voordelta, en dat enkel typisch estuariene soorten (bijv. ook kokkel *Cerastoderma edule* en strandgaper *Mya arenaria*) zich hier vestigen. Meer mariene soorten (als mesheften *Ensis* sp. en halfgeknotte strandschelp *Spisula subtruncata*) vestigen er zich niet, al vindt er wel eens broedval plaats.

Knipsprietkreeftjes *Bathyporeia* sp. zijn dan weer typisch voor het platengebied (cluster I). Andere soorten bereiken hun hoogste dichtheden in de overgangszone van geul naar plaat (cluster II) (*Nephtys cirrosa*) of in de diepere gebieden (cluster III en IV) (o.a. de borstelwormen *Nephtys hombergii* en *Pectinaria koreni*). Stratum III en IV zijn nauw verwant.

Soorten als de witte dunschaal *Abra alba* en het goudkammetje *Pectinaria koreni* komen er in gelijkaardige dichtheden voor. Andere soorten hebben in cluster IV echter veel lagere dichtheden (o.a. de borstelwormen *Lanice conchilega*, *Spiophanes bombyx*), of worden er niet aangetroffen. Uiteraard zijn de overgangen tussen de strata niet abrupt maar geleidelijk. Ook de omgevingsvariabelen die bepalen of soorten er wel of niet voorkomen, en in welke dichtheid en biomassa, veranderen niet abrupt (zie verder).

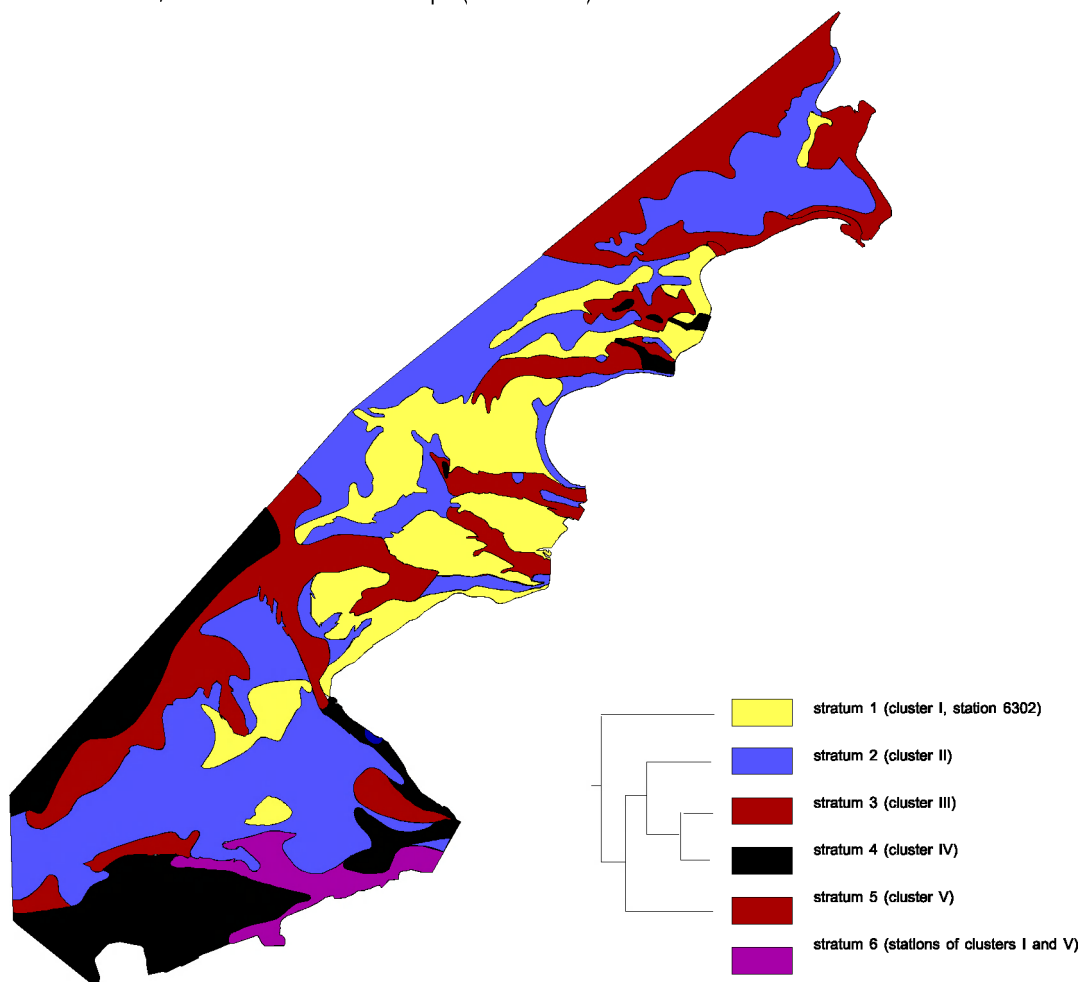


Fig. 4. Ruimtelijke variatie van het benthos: strata onderscheiden op basis van de endobenthische macrofauna (naar Craeymeersch *et al.*, 1990a) [dataset box-corer].

De onderscheiden strata verschillen niet alleen in soortensamenstelling, maar ook in soortenaantal, dichtheid en biomassa (Fig. 5). Stratum 3 is het soortenrijkst (bijna 120 soorten), en heeft verreweg de grootste gemiddelde dichtheid (bijna 15 000 ind.m⁻²) en totale biomassa (gemiddeld 45gADW.m⁻²). In het mondingsgebied van de Westerschelde komt deze cluster vooral aan de zeewaartse zijde van de 'Vlakte van de Raan' voor. Stratum 1 en 5 zijn het soortenarmst. Stratum 1 heeft verder ook de laagste dichtheid en de laagste biomassa.

Uit Fig. 4 blijkt dat de strata niet gelijkmatig over de buitendelta's van de Westerschelde, Oosterschelde, Grevelingen en Haringvliet verdeeld zijn. Gecombineerd met de hierboven genoemde verschillen tussen de strata in dichtheid en biomassa, resulteert dit in de hoogste gemiddelde dichtheid in de buitendelta van de Grevelingen (bijna 7 000 ind.m⁻²) (Fig. 6). Dit is vooral toe te schrijven aan de hoge aantallen borstelwormen. Met name in het gebied landwaarts van de 'Bollen van de Ooster' en in 'Brouwerhavense Gat' worden hoge dichtheden gevonden. In dit laatste gebied worden waarschijnlijk veel larven van bodemdieren aangevoerd. Ondermeer door de lage stroomsnelheden vinden ze er een ideale plaats om zich te vestigen (Hamerlynck en Craeymeersch, 1990).

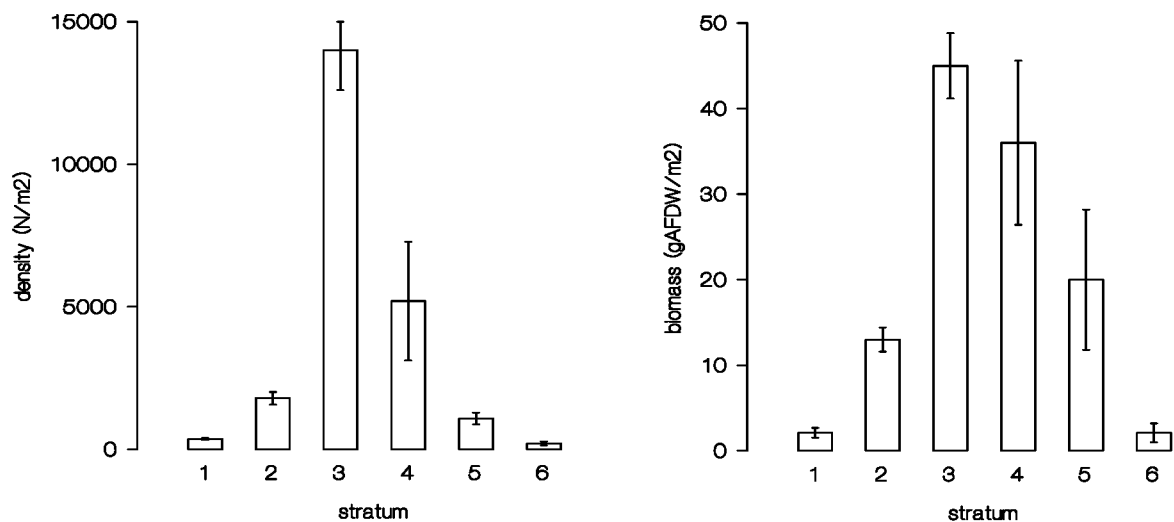


Fig. 5. Gemiddelde dichtheid (ind.m^{-2}) en biomassa (gADW.m^{-2}), en standaardfout van het gemiddelde per stratum (naar Craeymeersch *et al.*, 1990a) [dataset box-corer].

Opmerkelijk is verder de verdeling van de mollusken over de verschillende buitendelta's: er is duidelijk een noord-zuid gradiënt, met de hoogste dichtheden voor het Haringvliet, de laagste voor de Westerschelde. Wat de totale biomassa betreft, zijn de buitendelta's van de Westerschelde, Grevelingen en Haringvliet met elkaar vergelijkbaar (ongeveer 20gADW.m^{-2}). De buitendelta van de Oosterschelde heeft een veel lagere biomassa.

Ook voor individuele soorten blijken er grote verschillen tussen de vier buitendelta's in de verspreiding, dichtheid en biomassa (Craeymeersch, 1999) (Fig. 7). Zoals reeds hoger genoemd, wordt de kokkel bijna uitsluitend in de buitendelta van het Haringvliet gevonden, met name ten oosten van de 'Hinderplaat'. Wat het nonnetje *Macoma balthica* betreft, blijkt er een significant verschil tussen de buitendelta van de Westerschelde en de drie overige buitendelta's, zowel in dichtheid als in biomassa. De overige buitendelta's verschillen onderling niet significant in biomassa, maar meestal wel in dichtheid (geen significante verschillen tussen Grevelingen en Oosterschelde). Wat de mesheften *Ensis* sp. en de halfgeknotte strandschelp *S. subtruncata* betreft, blijken de verschillen in dichtheid groter te zijn dan in biomassa. Het meest opvallend is de lagere dichtheid van *Spisula subtruncata* in de Oosterschelde buitendelta.

In latere studies zijn vergelijkingen gemaakt tussen andere deelgebieden. Craeymeersch en Wijsman (2006) onderscheiden 8 deelgebieden, waarvan 2 in de buitendelta van de Westerschelde gelegen. In het rapport worden de historische gegevens (1993-2004) van vijf schelpdieren op een rij gezet: de kokkel *Cerastoderma edule*, de halfgeknotte strandschelp *Spisula subtruncata*, het zaagje *Donax vittatus*, de rechtsgestreepte platschelp *Tellina fabula* en mesheften *Ensis* sp.

De betreffende soorten zijn geselecteerd omdat zij potentieel voedsel voor zee-eenden (zwarte zee-eend, eidereend, grote toppereend) zijn. Voor alle soorten, op *Tellina fabula* na, blijken er significante verschillen tussen de deelgebieden. Ook deze studie concludeert dat vooral het gebied nabij de Haringvlietstuizen in faunasamenstelling sterk verschilt met de overige deelgebieden door de aanwezigheid van kokkels, en de lagere dichtheden van mesheften en strandschelpen. De twee gebieden in de Westerscheldemonding verschillen onderling niet. Ze verschillen verder enkel met een van de noordelijker gelegen deelgebieden in de aantallen en biomassa van zaagjes. In dat gebied zijn veel hogere waarden gevonden dan in de andere deelgebieden.

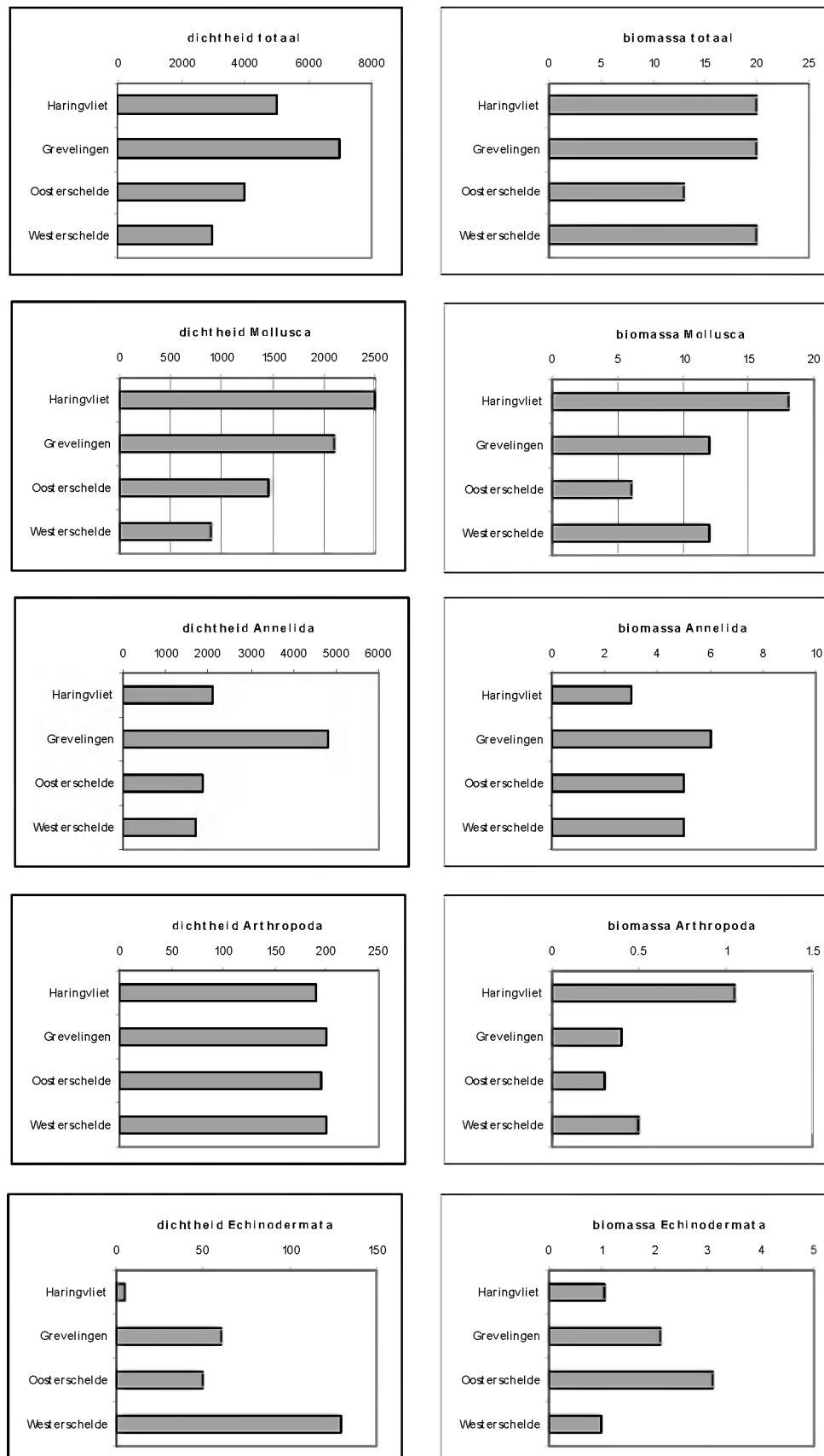


Fig. 6. Vergelijking van de buitendelta's van Westerschelde, Oosterschelde, Grevelingen en Haringvliet naar gemiddelde dichtheid (ind.m⁻²) en gemiddelde biomassa (gADW.m⁻²) van de verschillende taxonomische groepen (Craeymeersch *et al.*, 1990a) [dataset box-corer].

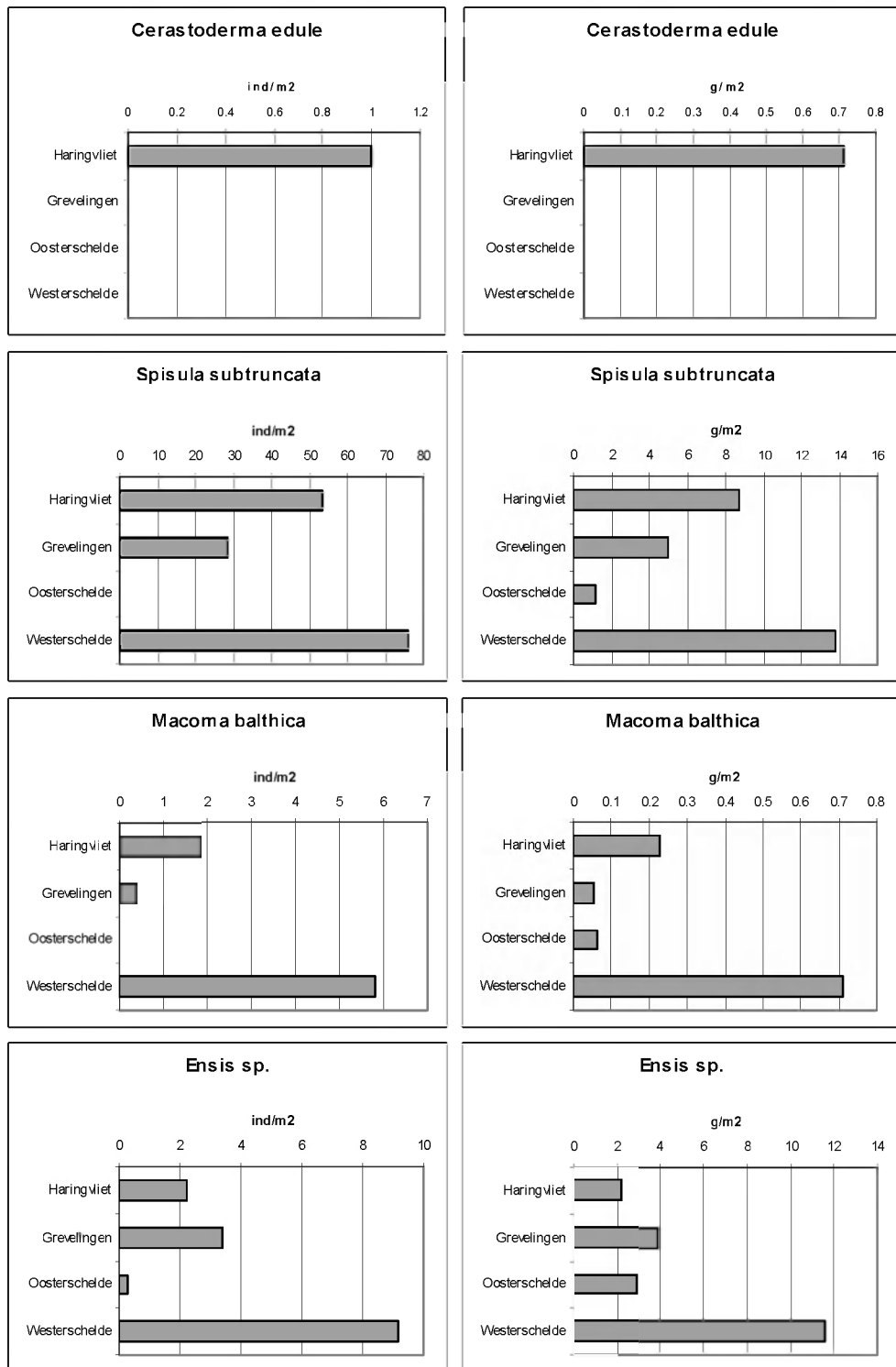


Fig. 7. Gemiddelde dichtheid (ind. m^{-2}) en biomassa ($\text{g vergewicht. m}^{-2}$) van de kokkel *Cerastoderma edule*, de halfgeknotte strandschelp *Spisula subtruncata*, het nonnetje *Macoma balthica* en mesheften *Ensis* sp. in de vier buitendelta's in de periode 1993-1997 (naar Craeymeersch, 1999) [dataset bodemschaaf].

Wijnhoven *et al.* (2006) tenslotte hebben een analyse uitgevoerd met alle data uit de periode 1962-2004 (Fig. 8). Slechts het oostelijk deel van het mondingsgebied van de Westerschelde is bij de analyses betrokken (zie Fig. 2). Er bleken significante verschillen tussen de onderscheiden deelgebieden, zowel in gemiddelde totale dichtheid als in de gemiddelde totale biomassa. Zowel de dichtheid als de biomassa in de Westerscheldemonding bleken significant lager dan in de andere deelgebieden.

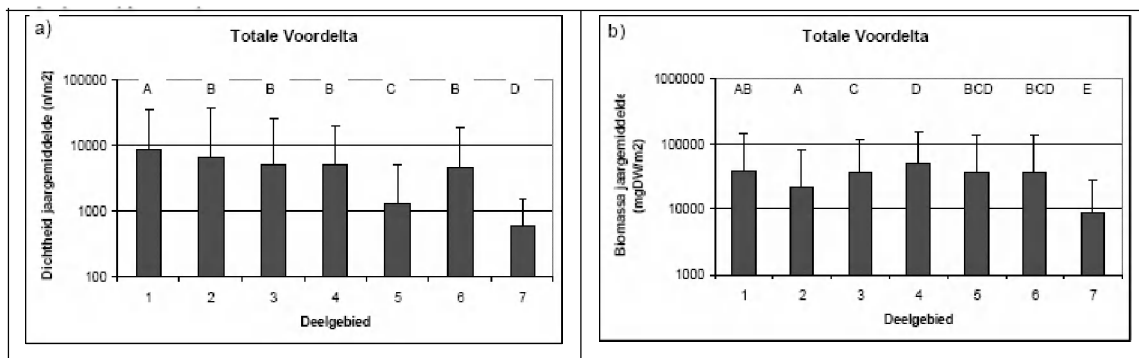


Fig. 8. Totale dichtheid (ind.m⁻²) en biomassa (gADW.m⁻²) in de 7 deelgebieden (zie Fig. 2), weergegeven als jaargemiddelde + standaarddeviatie over de periode 1962-2004. Significante verschillen zijn aangegeven met letters, waarbij overeenkomstige letters voor deelgebieden aanduiden dat er geen significante verschillen tussen die deelgebieden aanwezig zijn (Wijnhoven *et al.*, 2006) [dataset box-corer].

4. Temporele fluctuaties

Naast grote ruimtelijke variaties treden ook grote temporele variaties op. Dit als gevolg van natuurlijke processen die o.a. het succes van de broedval en het overwinteringssucces bepalen. Dit beeld wordt ook bevestigd door een recente studie van Steenbergen en Escaravage (2006). Zowel het aantal soorten, de totale dichtheid, als de totale biomassa van de infauna laten significante verschillen zien tussen de twee monsterjaren 2004 en 2005. Ook voor afzonderlijke soorten (kokkel, mesheften, halfgeknotte strandschelp en rechtsgestrepte platschelp) waren er grote verschillen te zien tussen 2004 en 2005. Het studiebrede bereik van de waargenomen veranderingen wijst op een sterke temporele controle. Dat is deels bevestigd door twee recente studies naar de historische ontwikkeling van de macrobenthische infauna.

Craeymeersch en Wijsman (2006) hebben de tijdseries (1993-2004) van de vijf eerder genoemde schelpdieren (*Cerastoderma edule*, *Spisula subtruncata*, *Tellina fabula*, *Donax vittatus* en *Ensis* sp.) geanalyseerd. De hoogste dichtheden en biomassa's aan kokkels werden er in de eerste helft van de negentiger jaren en de laatste jaren gevonden (Fig. 9), zoals reeds geschetst met name in het mondingsgebied van het Haringvliet. Zaagjes werden in de eerste jaren praktisch nergens gevonden. De laatste jaren is het bestand toegenomen. Mesheften komen in alle deelgebieden de laatste twee jaar in hogere aantallen voor dan voorheen. De dichtheid van de rechtsgestrepte platschelp blijft meestal laag met wat hogere waarnemingen in de laatste jaren. Strandschelpen kenden hun hoogste dichtheden en biomassa's in de eerste helft van de onderzochte periode.

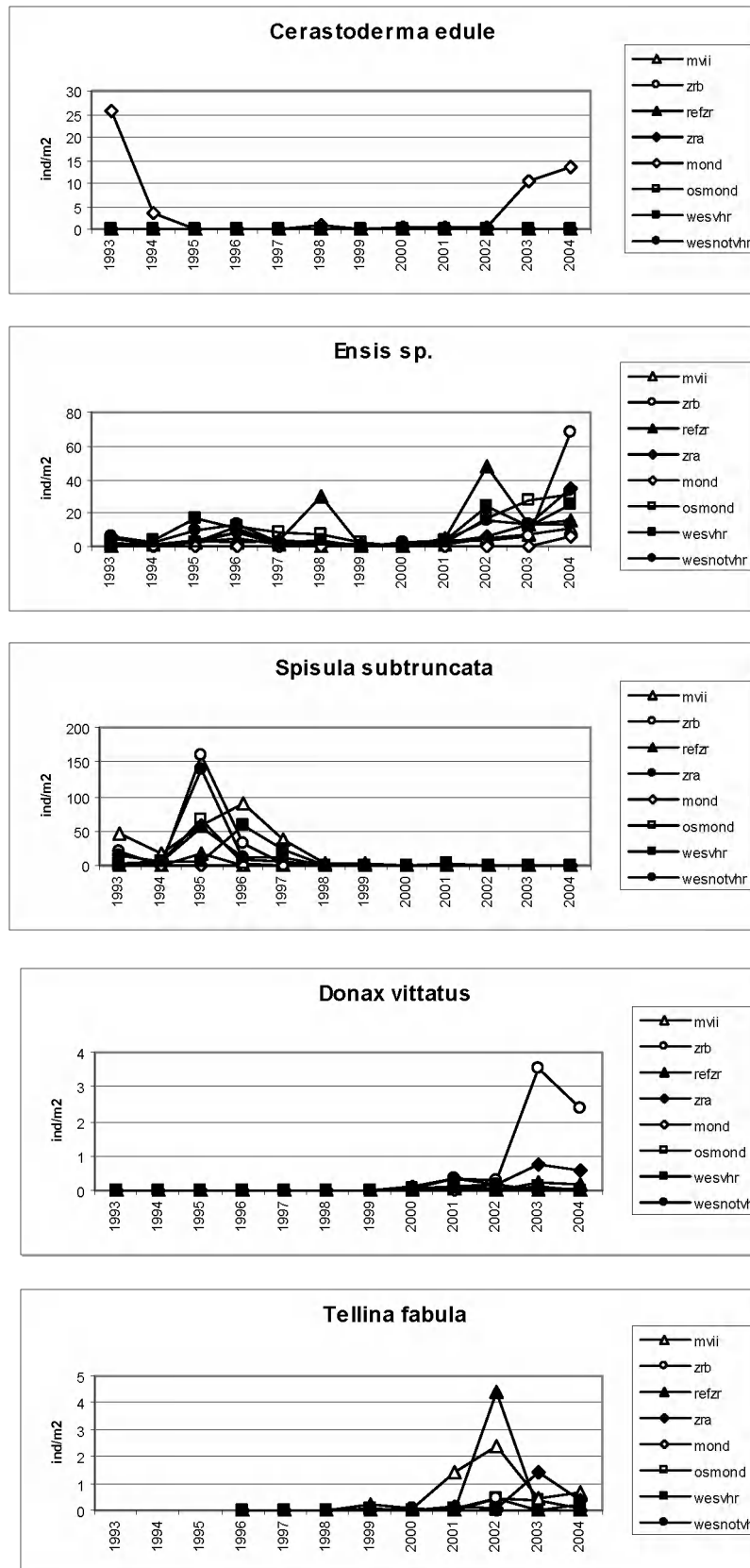


Fig. 9. Gemiddelde dichtheid (ind.m^{-2}) van de kokkel, het zaagje, mesheften, de rechtsgestreepte platschelpen de halfgeknotte strandschelp in de 8 deelgebieden (wesvhr en wesnotvhr gesitueerd in de buitendelta Westerschelde; data *T. fabula* vanaf 1995) (naar Craeymeersch & Wijsman 2006) [dataset bodemschaaf].

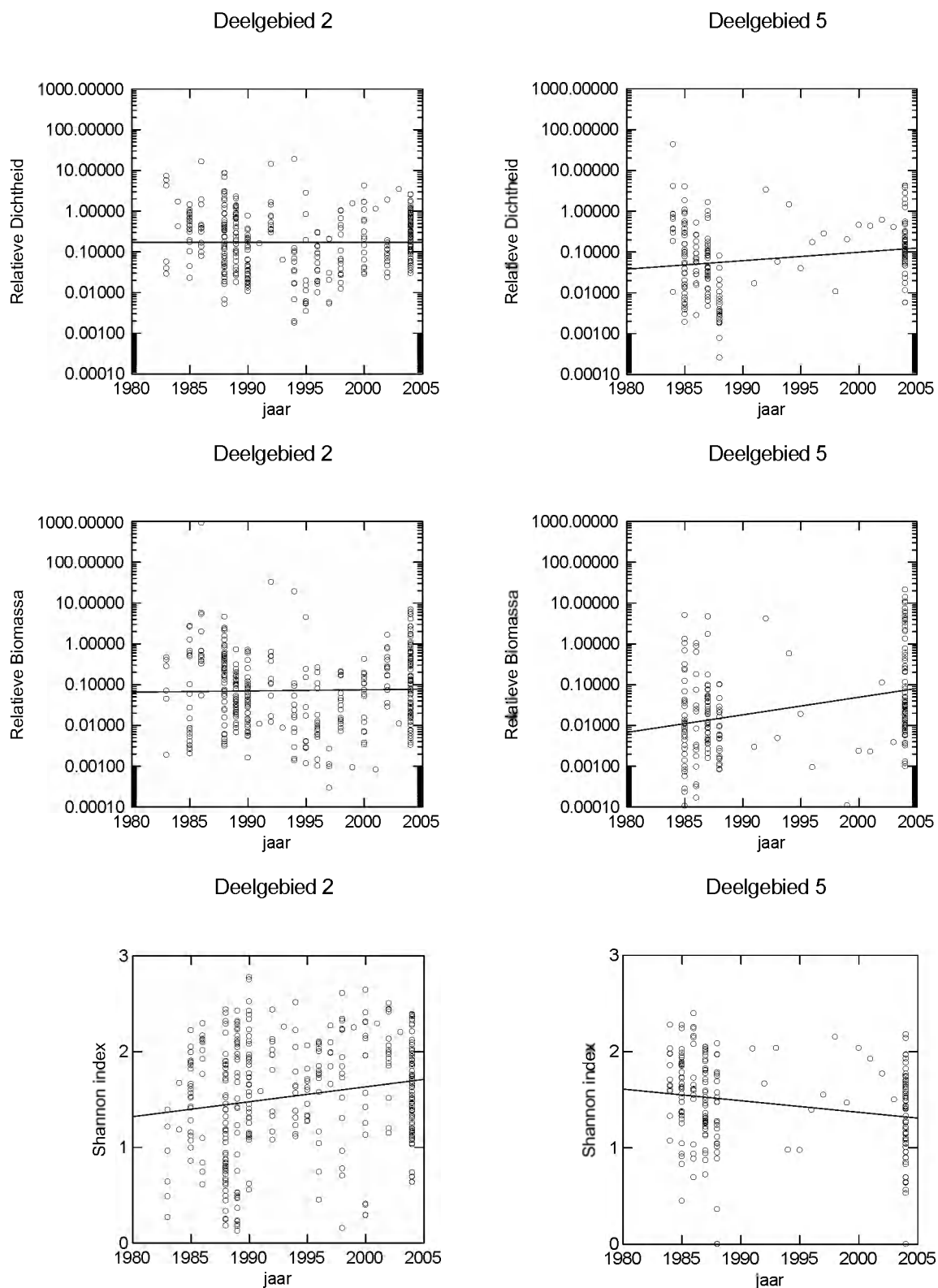


Fig. 10. Trends in totale dichtheid, totale biomassa en diversiteit (Shannon) in deelgebieden 2 en 5 (zie Fig. 2) (naar Wijnhoven *et al.*, 2006) [dataset box-corer].

De grootte van de fluctuaties kan erg verschillen, maar lijkt in de meeste gebieden het geringst te zijn voor de mesheften. Dat is in overeenstemming met eerdere bevindingen in Craeymeersch (1999) waar geconcludeerd wordt, op basis van een analyse van de data van 1993 t.e.m. 1997, dat de dichtheid en biomassa van kokkels en halfgeknotte strandschelpen sterker fluctueren dan de gemiddelde waarden van nonnetjes *Macoma balthica* en mesheften.

De analyses zijn vooral gericht op een beschrijving van trends in de gegevens en er is bovendien geen onderzoek gedaan naar de onderliggende processen die deze trends veroorzaken. Daardoor is voorzichtigheid geboden bij het extrapoleren van de geobserveerde trends naar de toekomst. Men zou kunnen beginnen met het zoeken naar overeenkomsten in geobserveerde trends tussen de verschillende soorten. Voor de meeste soorten is het verloop in het merendeel van de deelgebieden significant gecorreleerd. Zo lijkt het bijvoorbeeld dat de afname in de ene dominante soort in termen van biomassa, de halfgeknotte strandschelp, overeenkomt met de toename van een andere dominante soort, mesheften. Deze verschuivingen kunnen belangrijke effecten hebben voor zee-eenden die in sterke mate afhankelijk zijn van deze soorten.

Wijnhoven *et al.* (2006) concluderen uit een historische analyse van de infauna-monsters (box-corer of happer) dat er in de meeste deelgebieden (zie Fig. 2) sprake is van een trendbreuk in de ontwikkeling van totale dichtheid en biomassa. Een periode van afname is gevolgd door een toename (Fig. 8). Het dal (of de trendbreuk) is significant groter in het noorden van het onderzoeksgebied, en het lijkt erop dat het herstel (de toename na een eerdere afname) vroeger in de tijd wordt ingezet in het zuiden. De trends in diversiteit zijn duidelijk verschillend per deelgebied (Fig. 10): een toename in de twee noordelijke deelgebieden, een afname in de twee zuidelijke deelgebieden. Voor de duidelijkheid: een uitspraak over de ontwikkelingen in deelgebied 7 (Westererscheldemonding) is niet mogelijk door het beperkte aantal monsterjaren in de dataset.

6. Relatie met omgevingsvariabelen

Uit bovenstaande hoofdstukken blijkt dus dat de bodemdieren een grote variatie in tijd en ruimte kennen. Het is te verwachten dat de variatie in omgevingsvariabelen daarbij een grote rol speelt. De waarde van het monitoren van het macrobenthos neemt kwadratisch toe wanneer gezocht wordt naar de fractie van de waargenomen veranderingen die te voorspellen is uit de variatie in abiotische variabelen (als zoutgehalte, stroomsnelheid en sedimentsamenstelling). We verwijzen naar Ysebaert en Herman (2002) voor een uitgebreidere discussie hierover.

6.1. Relatie tussen soortensamenstelling van gemeenschappen en habitat

De zes strata, zoals beschreven door Craeymeersch *et al.* (1990a) (Fig. 4), verschillen significant in sedimentkarakteristieken, saliniteit, diepte, gehalte zwevende stof in de waterkolom, significante golfhoogte en orbitaalsnelheid (Fig. 11 en 12). De variatie in de abiotische gegevens is grafisch weergegeven in de vorm van box-and-whisker plots: de mediaan is weergegeven als een verticale lijn binnen een 'doos' (box) die voor het bereik van 50% van de waarnemingen rondom de mediaan staat.

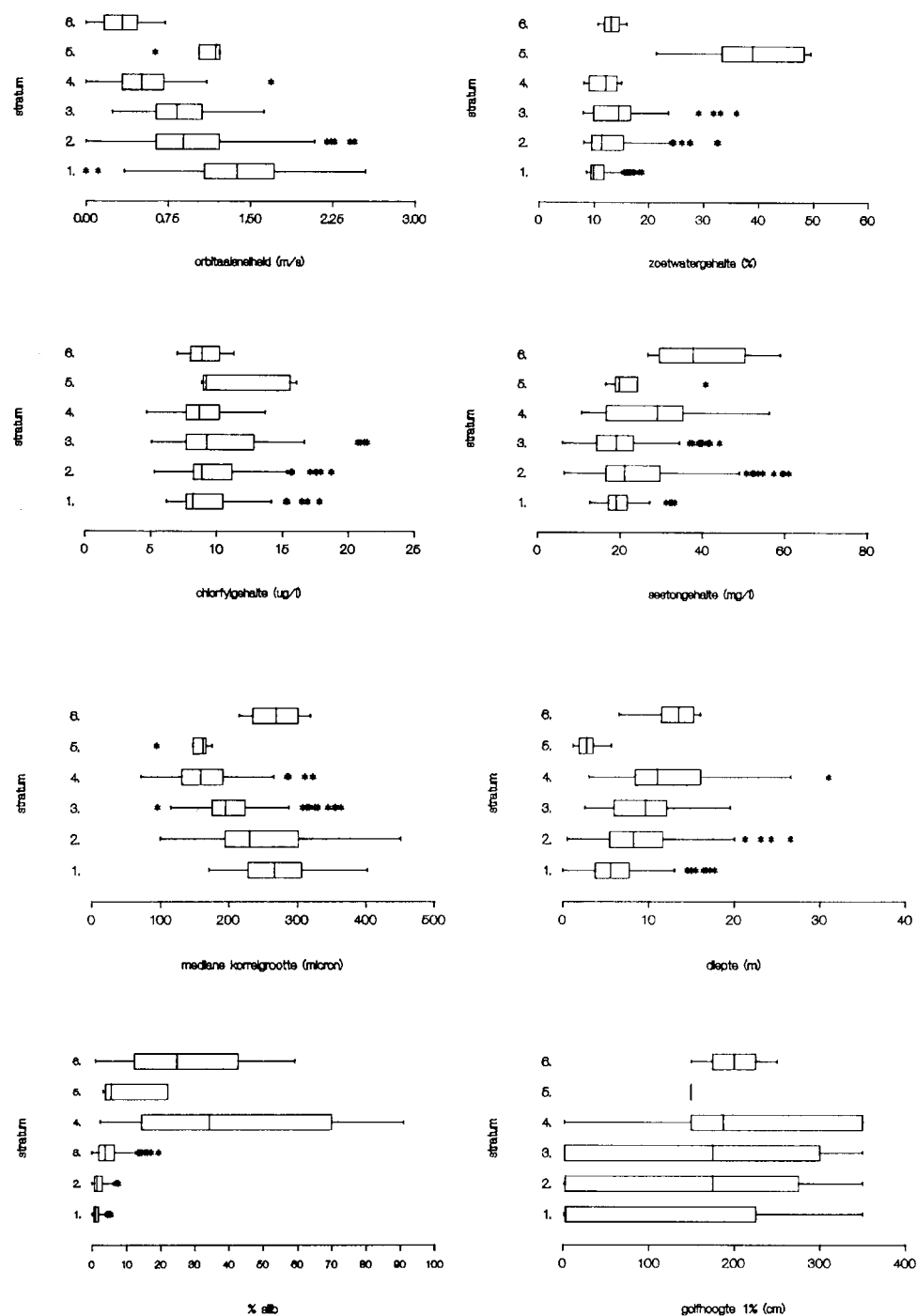
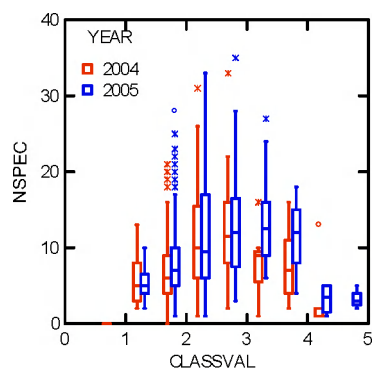
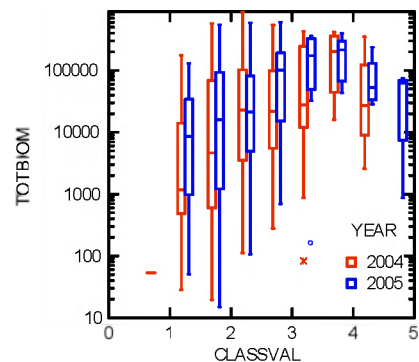


Fig. 11. Vergelijking van de zes macrobenthosstrata (Fig. 4) naar mediane korrelgrootte, slibgehalte, diepte, significante golfhoogte, orbitaalsnelheid aan de bodem, en het chlorofyl-, seston- en zoetwatergehalte van het water (Craeymeersch *et al.*, 1990b).

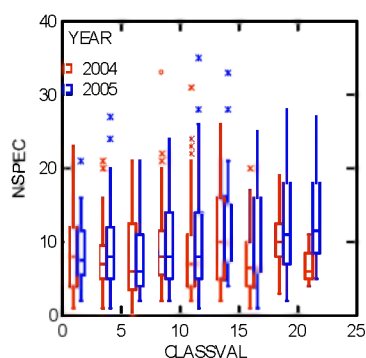
Mediane korrelgrootte
(phi)



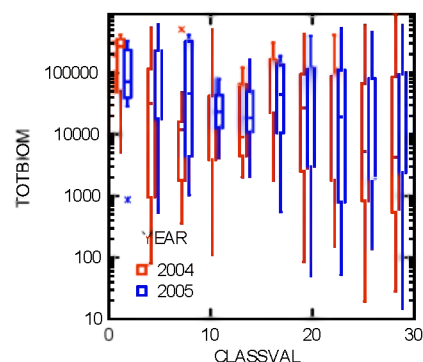
Mediane korrelgrootte
(phi)



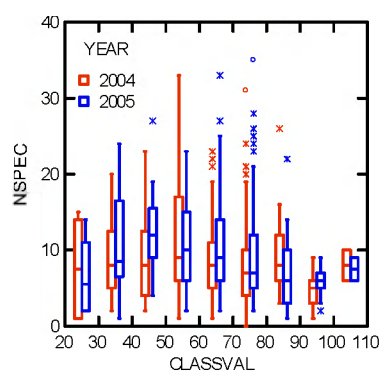
Diepte
(m)



Zoutgehalte
(ppt)



Max. stroomsnelheid bij gem. getij
(cm/s)



Gem. stroomsnelheid bij gem. getij
(cm/s)

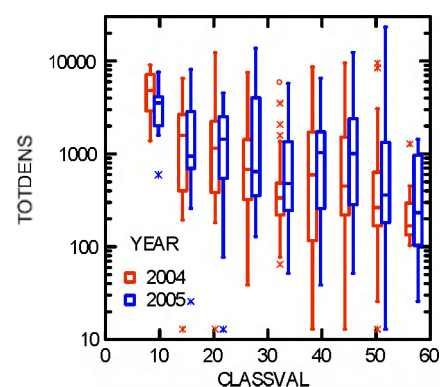


Fig. 12. Aantal soorten, totale dichtheid en totale biomassa vs. een aantal omgevingsvariabelen: mediane korrelgrootte, diepte, zoutgehalte, maximum stroomsnelheid bij gemiddeld tij, gemiddelde stroomsnelheid bij gemiddeld tij. Zie Steenbergen en Escaravage (2006) voor alle figuren [dataset box-corer].

Aan beide kanten van de 'doos' vallen de overige waarnemingen met hogere dan wel lagere waarden dan die van de waarnemingen rondom de mediaan. De horizontale lijntjes (whiskers) geven de extremen (minimum en maximum) (tot 1.5 maal de afstand van de mediaan tot rand van de 'doos'). Elk sterretje staat voor een uitbijter groter dan 1.5 maal de afstand mediaan-doosrand. Uitbijters groter dan 3 maal deze afstand zijn niet weergegeven. Uit deze figuren blijkt dat de strata 1 tot en met 4 een gradiënt vormen van ondiep naar diep, van slibarm zand naar slibrijker, waarbij vooral cluster 4 erg slibrijk is (op 75% van de bemonsterde punten was het slibgehalte groter dan 10%). Stratum 4 is verder gekarakteriseerd door een hoger sestongehalte in het water dan strata 1 tot en met 3. Dit is te verklaren doordat stratum 4 bijna volledig in de Westerschelde buitendelta ligt, en daar de hoogste gehalten zwevende stof gemeten worden (zie bijlage in Kohsiek en Mulder, 1988). Stratum 5 bevat ondiepe, slibrijke, fijnzandige stations, sterk onder invloed van de zoetwatertoevoer via de Rijn, Hierdoor kan er blijkbaar een type gemeenschap bestaan die in de rest van de Voordelta niet voorkomt. Stratum 6, beperkt tot de Wielingen, is gekenmerkt door tijdelijke slibaccumulaties van 1 tot 60%. Waarschijnlijk daardoor kunnen er zich weinig dieren vestigen.

De verschillen tussen de strata met betrekking tot de abiotische factoren tonen een eenduidige relatie met de vastgestelde verschillen in het aantal soorten en de totale dichtheid en biomassa (Steenbergen en Escaravage, 2006). Het maximale aantal soorten wordt gevonden bij een gemiddelde mediane korrelgrootte (2 - 3 phi = 125 - 250 micron) (Fig. 12) en neemt toe met de diepte. De relatie tussen stromingspatronen en aantal soorten is niet eenvoudig, maar wijst op een sturend effect bij extreme waarden. Het aantal soorten neemt duidelijk toe bij een zoutgehalte tussen 0 en 10. Boven een zoutgehalte van 20 ppt neemt de diversiteit weer af. De hoogste biomassa komt voor bij fijnere sedimenten: 3 - 4 phi (63 - 125 micron). Bij deze korrelgrootte heeft ook de dichtheid een optimum. De dichtheid neemt sterk af bij toenemende stroomsnelheden. In tegenstelling tot het aantal soorten neemt de biomassa af bij een zoutgehalte tussen 0 en 10 ppt.

Ongeacht de eenduidige overeenkomsten tussen de distributie van bodemdieren en de abiotische gradiënten blijft het verklarende vermogen van de omgevingsvariabelen voor de infauna over het algemeen matig: 37% voor het aantal soorten, 22% voor de totale biomassa en 32% voor de totale dichtheid.

Stratum 3 en 4 zijn gekenmerkt door hun hoge soortenrijkdom, en hebben de hoogste gemiddelde dichtheid en biomassa. Hiervoor achten we de diepteligging (golfinwerking minimaal) en de sedimentsamenstelling (slibrijk zand) verantwoordelijk. De strata 1 en 2 zijn minder diep, en staan bijgevolg meer aan golfinwerking bloot, wat ook resulteert in een laag slibgehalte en hoge mediane korrelgrootte van de zandfractie. Hiermee correleren lagere dichtheden en biomassa's samen met een verschuiving in de dominantieverhoudingen ten nadele van mollusken (vooral qua biomassa) en ten voordele van arthropoden (vooral qua dichtheden). In stratum 1 tot en met 3 valt een toenemende biomassa en dichtheid samen met een toenemende diepte en slibgehalte (maar kleiner dan 10%). Wanneer dit gehalte hoger wordt dan 10% vinden we terug een veel lagere gemiddelde dichtheid en een iets lagere biomassa (stratum 4).

Wat stratum 5 betreft, lijken de hoge slibgehalten, het gehalte fijn zand in combinatie met het hoge zoetwatergehalte verantwoordelijk voor de kleine soortenrijkdom en lage gemiddelde dichtheid (Craeymeersch *et al.*, 1990b).

6.2. Habitatpreferenties van individuele soorten

Steenbergen en Escaravage (2006) hebben nagegaan welk deel van de variatie in de data van zeven schelpdiersoorten (kokkel, halfgeknotte strandschelp, nonnetje, wittte dunschaal, zaagje, halfgeknotte strandschelp, rechtsgestrepte platschelp) verklaard kon worden aan de hand van volgende omgevingsfactoren: diepte, gemiddelde en maximale stroomsnelheid bij gemiddeld tij en bij springtijd, en de mediane korrelgrootte van de zandfractie. Het verklarende vermogen is uitgedrukt als het percentage van de waargenomen variatie die verklaard kan worden. Er zijn in deze studie geen interactietermen gebruikt, wat wellicht een betere beschrijving zou opleveren. Het verklarende vermogen van de modellen voor de schelpdieren varieerde van matig/slecht tot goed, afhankelijk van de schelpdiersoort. Voor de witte dunschaal blijkt het zoutgehalte het meeste te verklaren (23% van de 59% verklaarde variatie). Ook sediment is van groot belang (16%). Voor de kokkel is sediment het belangrijkste, gevolgd door zoutgehalte (respectievelijk 34 en 28% van de 78% verklaarde variatie). Voor het zaagje is zowel sediment als gemiddelde stroomsnelheid bij gemiddeld tij van belang (totale verklaarde variatie = 56%). Dat geldt ook voor het nonnetje (totale verklaarde variatie = 63%). Het voorkomen van mesheften wordt het meest bepaald door de maximale stroomsnelheid bij spring en het zoutgehalte (totale verklaarde variatie = 17%). Het voorkomen van de rechtsgestrepte platschelp en de halfgeknotte strandschelp worden voornamelijk bepaald door diepte en sediment (totale verklaarde variatie is voor beide ongeveer 30%).

De resultaten zijn in lijn met andere studies, en met de preferenties voor een bepaalde diepte en sedimentkarakteristieken in eerdere studies beschreven. Op basis van de aard van hun preferentie voor een bepaalde diepte werden door Craeymeersch *et al.* (1990b) de bestudeerde soorten als volgt ingedeeld:

- soorten die voornamelijk beperkt zijn tot ondiepe gebieden (*Heteromastus filiformis*);
- soorten waarvan, tot een diepte van 15m, hun verspreiding toeneemt met de diepte (*Nereis longissima*, *Abra alba* en *Pectinaria koreni*);
- soorten die hun grootste verspreiding hebben in de zone van 5 - 10m; hiertoe behoren alle overige soorten; ze kunnen verder ingedeeld worden in:
 - soorten die verder eenzelfde affiniteit hebben voor de minder diepe en diepere zone (*S. subtruncata*);
 - soorten die verder hun grootste verspreiding hebben in de zone 10 - 15m (*S. filicornis*, *M. papillicornis*, *A. mucosa*, *N. hombergi*, *T. fabula*, *U. poseidonis*, *S. bombyx*, *M. lidentata* en *L. conchilega*);
- soorten die verder hun grootste verspreiding hebben in de zone 0 - 5m (*N. Cirrosa* en *Bathyporeia* sp.).

Op basis van hun preferenties voor een bepaalde zandfractie werden volgende soorten onderscheiden:

- soorten met slechts een lichte affiniteit voor een bepaalde klasse (met name voor de klasse 200 - 250 μ m) (*N. Cirrosa* en *Bathyporeia* sp.);
- soorten die praktisch beperkt zijn tot de fijnste zanden (*Heteromastus filiformis*);
- soorten die de hoogste verspreiding hebben in de fijne zanden (tot 250 μ m), met een voorkeur voor de fractie tot 200 μ m (alle overige soorten).

Op basis van hun al of niet aanwezig zijn in sedimenten met een verschillend slibgehalte, werd volgende indeling gemaakt:

- soorten die niet echt gebonden zijn aan een bepaald slibgehalte, maar toch de hoogste affiniteit hebben voor sedimenten met slibgehaltenes tussen 2 en 6% (*H. filiformis*, *A. alba*, *P. koreni* en *M. bidentata*);

- soorten voornamelijk verspreid in sedimenten met slibgehaltes kleiner dan 6%, en een lichte voorkeur voor de klasse 2 - 6% (*T. Fabula* en *L. conchilega*);
- soorten voornamelijk tot bijna uitsluitend voorkomend in sedimenten met slibgehaltes kleiner dan 6%, en met een voorkeur voor de slibarmste zanden (de overige soorten).

Deze habitatspreferenties kunnen gecombineerd worden met de verdeling van de onderscheiden klassen per stratum. Zo heeft bijvoorbeeld *Heteromastus filiformis* een voorkeur voor slibrijke, ondiepe sedimenten en vinden we dus in stratum 5. Kniksprietkreeftjes, *Bathyporeia* sp., met een voorkeur voor ondiepe gebieden met lage slibgehaltes, hebben de hoogste dichtheden in strata 1 en 2. Stratum 3, met vooral fijne zanden met 2 - 6% slib en dieptes tussen 5 en 15m, heeft de voorkeur voor soorten als *Lanice conchilega* en *Spisula subtruncata*. Niet bij alle soorten ligt de relatie echter even duidelijk. Dit is toe te schrijven aan o.a. het feit dat ook factoren als competitie en predatie de dichtheid bepalen, en dat mogelijk ook andere abiotische karakteristieken van invloed zijn op de verspreiding van de soort.

7. Conclusies

In de laatste twee decennia is in het kustgebied, zeewaarts van de zeegaten Westerschelde, Oosterschelde, Grevelingenmeer en Haringvliet, veel kennis vergaard over de endobenthische macrofauna. Het onderzoek is echter vooral toegespitst geweest op de noordelijker gelegen gebieden, met uitzondering van de bestandsschattingen van schelpdieren. De campagnes ten behoeve van de bestandsschattingen van commercieel geëxploiteerde schelpdieren hebben ook gegevens van heel wat andere endo- en epibenthische soorten opgeleverd, maar die zijn slechts beperkt geanalyseerd. Uit deze data blijkt overigens dat er in de hele kustzone veranderingen plaatsvinden (zie bijv. Craeymeersch en Perdon, 2005; Craeymeersch en Rietveld, 2005).

De grote fluctuaties in ruimte en tijd tonen aan dat de infaunasoorten gekenmerkt worden door een grote populatiedynamiek. Voor meerdere variabelen blijken de trends tussen deelgebieden te verschillen. Dat heeft zijn weerslag op onderzoek naar de autonome ontwikkelingen, het vaststellen van geschikte referentiegebieden en het bereiken van het gewenste onderscheidingsvermogen bij effectstudies. Het kiezen van deelgebieden ten behoeve van effect- of monitoringsonderzoek moet daarom weloverwogen gebeuren.

De eerste habitatmodellen laten zien dat dergelijke modellen kunnen bijdragen aan de verklaring van de variatie in de doelvariabelen (aantal soorten, totale dichtheid en biomassa, dichtheid en biomassa van individuele soorten). Deze modellen moeten verder ontwikkeld worden en getest op hun voorspellend vermogen.

Referenties

- Bergman M.J.N. en van Santbrink J.W. (1994). A new benthos dredge ('Triple-D') for quantitative sampling of infauna species of low abundance. *Journal of Sea Research*, 33(1): 129-133.
- Beukema J.J. (1974). The efficiency of the Van Veen grab compared with the Reineck box sampler. *ICES Journal of Marine Science*, 35: 319-327.
- Cattrijsse A., Mees J. en Hamerlynck O. (1993). The hyperbenthic Amphipoda and Isopoda of the Voordelta and the Westerschelde estuary. *Cahier de Biologie Marine*, 34: 187-200.
- Craeymeersch J.A. (1999). Ruimtelijke verschillen en temporele fluctuaties in het voorkomen van bodemdieren in het Deltagebied: een verkennende studie Nederlands Instituut voor Visserijonderzoek, IJmuiden RIVO Rapport C056/99. 75 pp.

- Craeymeersch J.A., Hamerlynck O., Hostens K., Vanreusel A. en Vincx M. (1990a). De ekologische ontwikkeling van de Voordelta. Deelrapport 1. De huidige ekologische situatie van de Voordelta. Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek - Rijksuniversiteit Gent, Sectie Mariene Biologie. 92 pp.
- Craeymeersch J.A., Hamerlynck O., Hostens K., Vanreusel A. en Vincx M. (1990b). De ekologische ontwikkeling van de Voordelta. Deelrapport 2. De autonome ekologische ontwikkeling. Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek - Rijksuniversiteit Gent, Sectie Mariene Biologie. 76 pp.
- Craeymeersch J.A. en van der Land M.A. (1998). De schelpdierbestanden in de Voordelta 1993-1997. Rijksinstituut voor Visserijonderzoek RIVO-DLO Rapport C056/98. 37 pp.
- Craeymeersch J. en Perdon J. (2005). De otterschelp *Lutraria* in Nederlandse wateren. Het Zeepaard, 65: 144-150.
- Craeymeersch J. en Rietveld M. (2005). Dog whelks in Dutch coastal waters. MarBEF Newsletter, 3: 22-24.
- Craeymeersch J.A. en Wijsman J.W.M. (2006). Ruimtelijke verschillen en temporele fluctuaties in het voorkomen van een aantal schelpdieren in de voordelta. Wageningen IMARES. Rapport nr. C013/06. 27 pp.
- Ens B.J., Craeymeersch J.A., Dekker R., Fey F., van der Meer J., Smaal A.C. en van Stralen M.R. (in voorbereiding). Rapportage PRODUS sublitoraal.
- Hamerlynck O. en Craeymeersch J.A. (1990). Het bodemleven in de Voordelta. p. 27-83. In: De veranderende Delta. Kuipers J., Hamerlynck O., Craeymeersch J.A., Baptist H. en van der Laan D. (Eds.). Stichting Uitgeverij Koninklijke Nederlandse Natuurhistorische Vereniging, Utrecht, Nederland.
- Hamerlynck O., Hostens K., Arellano R.V., Mees J. en Van Damme P.A. (1993). The mobile epibenthic fauna of soft bottoms in the Dutch Delta (South-West Netherlands): spatial structure. Netherlands Journal of Aquatic Ecology, 27: 343-358.
- Hamerlynck O., Hostens K., Mees J., Arellano R.V., Cattijssse A., Van de Vijver P. en Craeymeersch J.A. (1992). The ebb tidal delta of the Grevelingen: a man-made nursery for flatfish? Netherlands Journal of Sea Research, 30: 191-200.
- Hamerlynck O. en Mees J. (1991). Temporal and spatial structure in the hyperbenthic community of a shallow coastal area and its relation to environmental variables. Oceanologia Acta, sp. no. 11: 205-211.
- Hamerlynck O., Mees J., Van de Vyver P., Van Landschoote E., Hostens K. En Cattijssse A. (1990). Eindverslag Hyperbenthosonderzoek Voordelta. Sectie Mariene Biologie, Instituut voor Dierkunde, Rijksuniversiteit Gent. 101 pp.
- Heip C., Brey T., Creutzberg F., Dittmer J., Dörjes J., Duineveld G., Kingston P., Mair H., Rachor E., Rumohr H., Thielemans L. en Vanosmael C. (1985). Report on an intercalibration exercise on sampling methods for macrobenthos. ICES CM 1985/L:19.
- Huys R., Vanreusel A., Heip C. (1986). Het meiobenthos van de Voordelta. September-november 1984, april-mei 1985, september 1985. Eindverslag (samenvatting).
- IBV (1993). Vorm in verandering. In: Integraal Beleidsplan Voordelta. Van Alphen J. en Molendijk R. (Eds.). Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat. 75 pp.
- Kohsiek L.H.M. en Mulder J.P.M. (1988). Een verkenning van een veranderend watersysteem: de Voordelta. Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren. Nota GWAO-88.002. 60 pp.
- Mees J. (1994). The hyperbenthos of shallow coastal waters and estuaries: community structure and biology of the dominant species. Ph.D. Thesis, UGent, België. 212 pp.
- Steenbergen J. en Escaravage V. (2006). Baseline study MEP-MV2. Lot 2: bodemdieren. Eindrapportage campagnes 2004-2005. Wageningen IMARES. Rapport nr. C053/06. 64 pp.

- Vanreusel A. (1990). Ecology of the free-living marine nematodes from the Voordelta (Southern Bight of the North Sea). I. Species composition and structure of nematode communities. *Cahier de Biologie Marine*, 31: 439-462.
- Vanreusel A. (1991). Ecology of free-living marine nematodes in the Voordelta (Southern Bight of the North Sea). II. Habitat preferences of the dominant species. *Nematologica*, 37: 343-359.
- Wijnhoven S., Sijm W. en Escaravage V. (2006). Historische waarnemingen van infauna uit het Voordelta gebied. KNAW-NIOO, Centrum voor Estuariene en Marine Ecologie, Yerseke. NIOO-CEME Rapport 2006-04. 51 pp.
- Wijsman J.W.M., Kesteloo J.J. en Craeymeersch J.A. (2006). Ecologie, visserij en monitoring van mesheften in de Voordelta. Nederlands Instituut voor Visserijonderzoek (RIVO). Rapport nr. C009/06. 37 pp.
- Ysebaert T. en Herman, P.M.J. (2002) Beschrijven, modelleren en voorspellen van bodemdieren in een estuariene omgeving. NIOO-CEME Rapport 2002-6. KNAW-NIOO, Centrum voor Estuariene en Mariene Ecologie, Yerseke.

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

Steven Degraer¹, Els Verfaillie² en Magda Vincx¹

¹ Sectie Mariene Biologie, Vakgroep Biologie, Universiteit Gent, Krijgslaan 281/S8, B-9000 Gent, België. Email: steven.degraer@ugent.be

² 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 gripper.

Deze grijper hapt een stuk uit de bodem over een oppervlakte van 0.1 m² en tot een diepte van ongeveer 10 cm. Door het verzamelde sediment te zeven over een zeef met maaswijdte 1 mm, 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 m²) 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 (stenotopie 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 0.1 m²) en dichtheid (gemiddeld: 190 ind.m⁻²) (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 0.1 m²) en dichtheid (gemiddeld: 402 ind.m⁻²). 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 0.1 m²) en een hoge dichtheid (gemiddeld: 6 432 ind.m⁻²) 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 0.1 m²) en dichtheid (gemiddeld: 967 ind.m⁻²) 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.

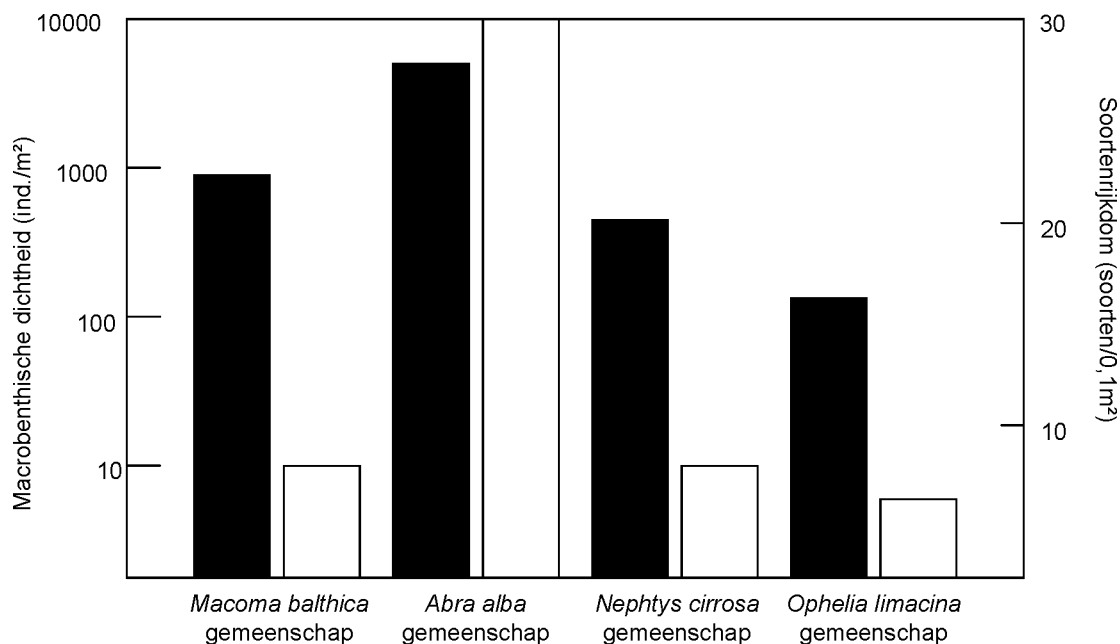


Fig. 1. De macrobenthische dichtheid (ind.m⁻²) en soortenrijkdom (soorten per 0.1m²) zijn sterk afhankelijk van de gemeenschap. Zwarte staven: macrobenthische dichtheid; witte staven: macrobenthische soortenrijkdom.

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/macrobels>). 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. 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'.

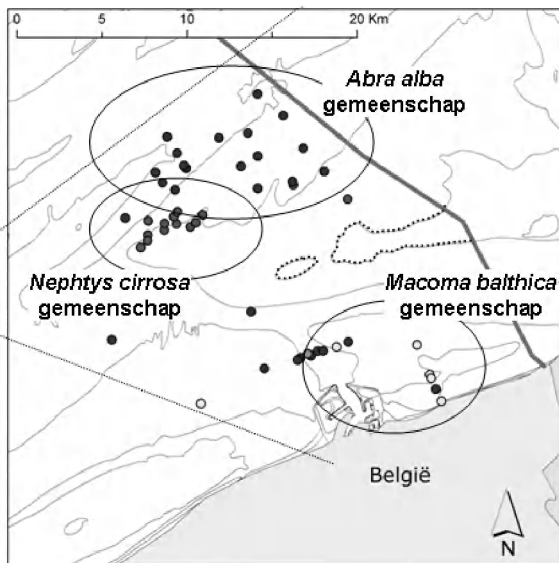


Fig. 2. De drie frequent voorkomende gemeenschappen in de ruime omgeving van de 'Vlakte van de Raan' (de *Abra alba*, *Macoma balthica* en *Nephtys cirrosa* gemeenschappen) bezetten elk een heel specifieke zone binnen het gebied.

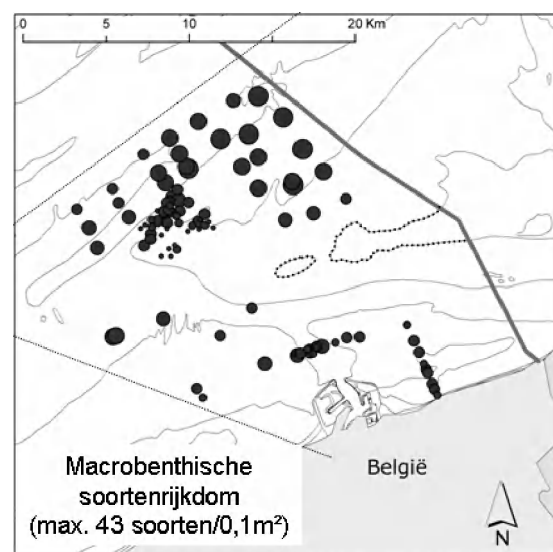
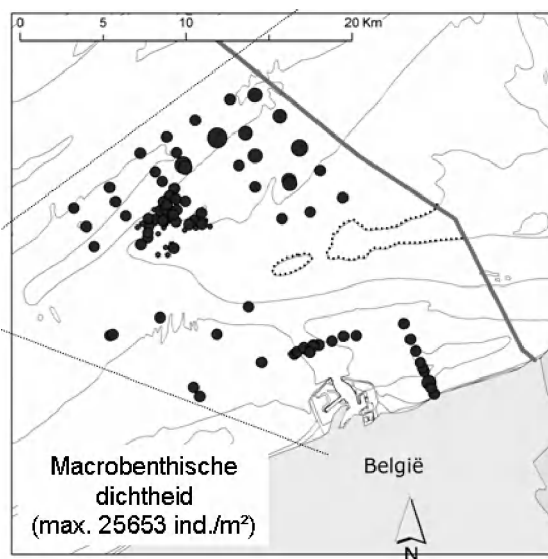


Fig. 3. De macrobiotische dichtheid en soortenrijkdom zijn maximaal (tot 25 653 ind.m⁻² en 43 soorten per 0.1m², respectievelijk) in de noordelijke zone en minimaal in de omgeving van de baggerstortplaats 'Sierra Ventana'. Hoe groter de diameter van de cirkel, hoe hoger de macrobiotische dichtheid of 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⁻² en 43 soorten per 0.1m², 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⁻² 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⁻², zijn in hun verspreiding evenwel beperkt tot de zuidelijke zone van het gebied.

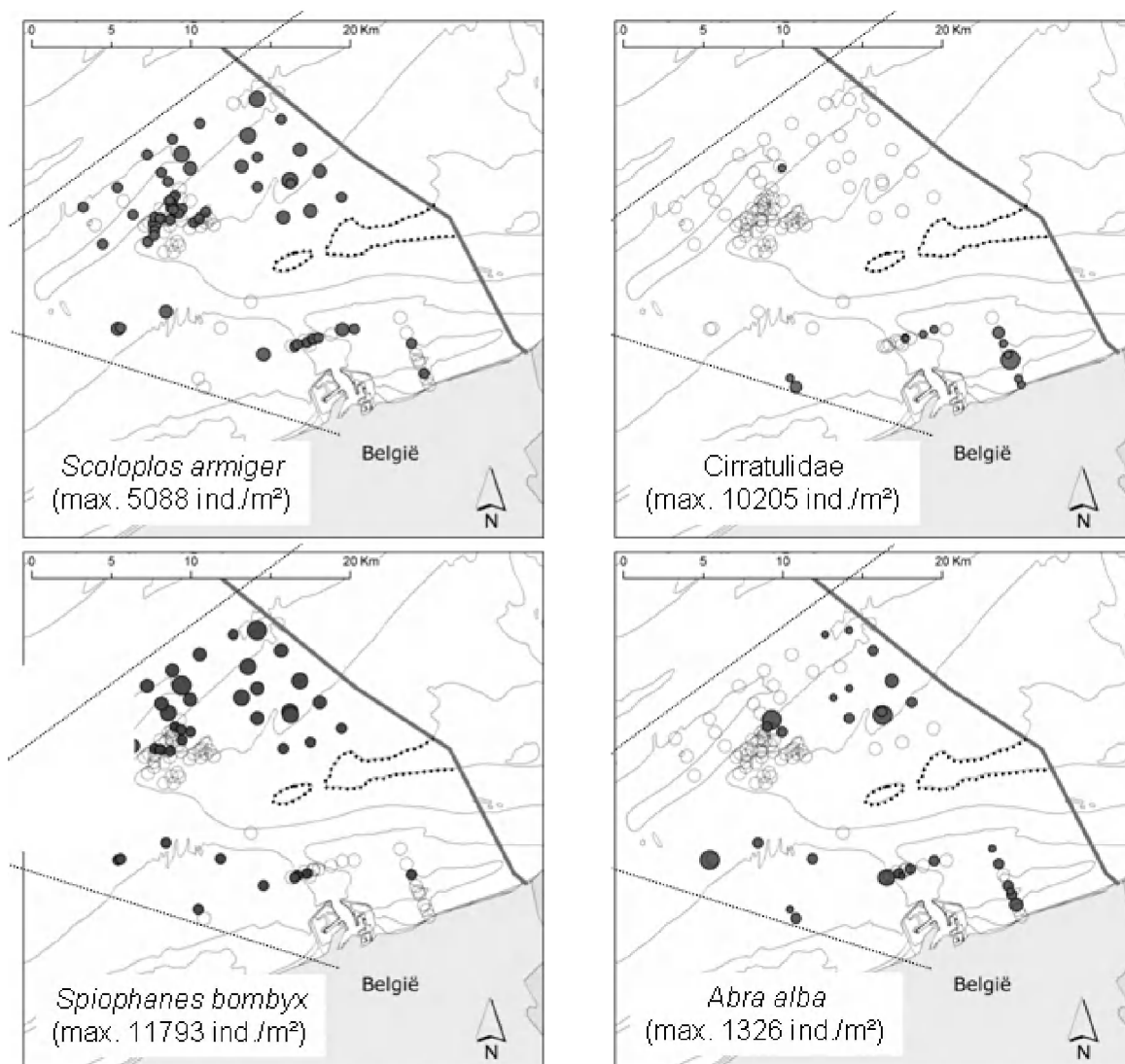


Fig. 4. De vier meest abundante macrobenthische soorten nemen elk een specifieke plaats in binnen de ruime omgeving van de 'Vlakte van de Raan'. Hoe groter de diameter van de cirkel, hoe hoger het aantal individuen.

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⁻² 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⁻²) 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⁻² (*Lanice conchilega*) en 731 ind.m⁻² (*Owenia fusiformis*). Binnen deze zone bereiken de beide soorten dichtheden die tot de hoogste in het BDNS behoren.

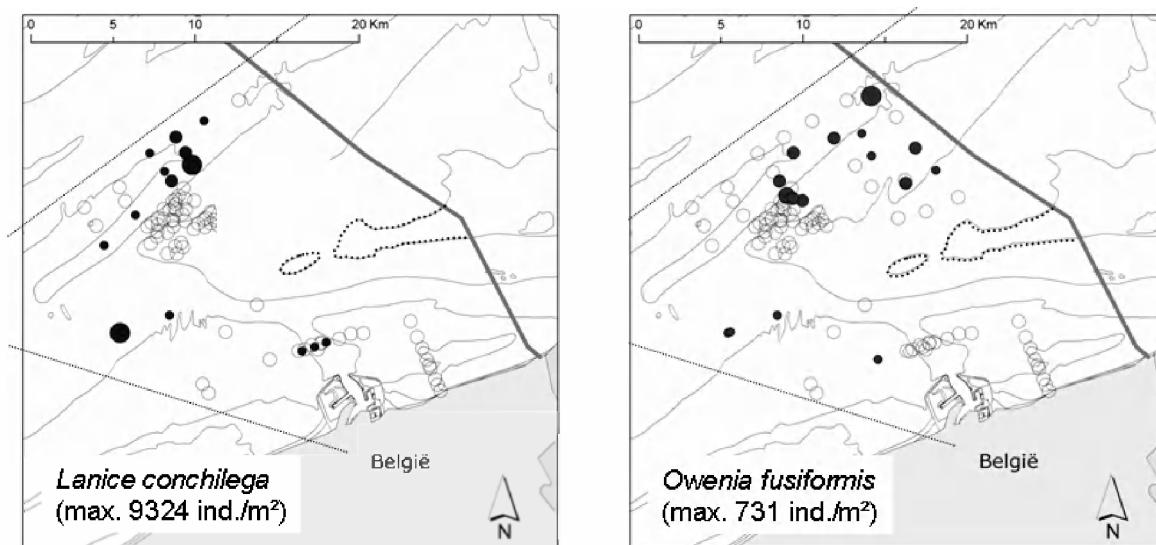


Fig. 5. De twee habitatingenieurs *Lanice conchilega* en *Owenia fusiformis* worden in hoge dichtheden ten noorden van de 'Vlakte van de Raan' aangetroffen. Hoe groter de diameter van de cirkel, hoe hoger het aantal individuen.

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).

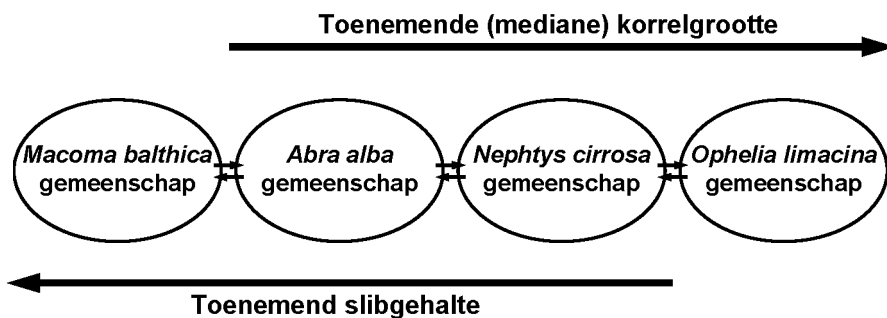


Fig. 6. De korrelgrootteverdeling van het sediment – meer bepaald de mediane korrelgrootte en het slibgehalte – blijkt sterk structurerend te zijn voor de verspreiding van de vier frequent voorkomende macrobenthische gemeenschappen in het Belgisch deel van de Noordzee.

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 beleids mensen 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'.

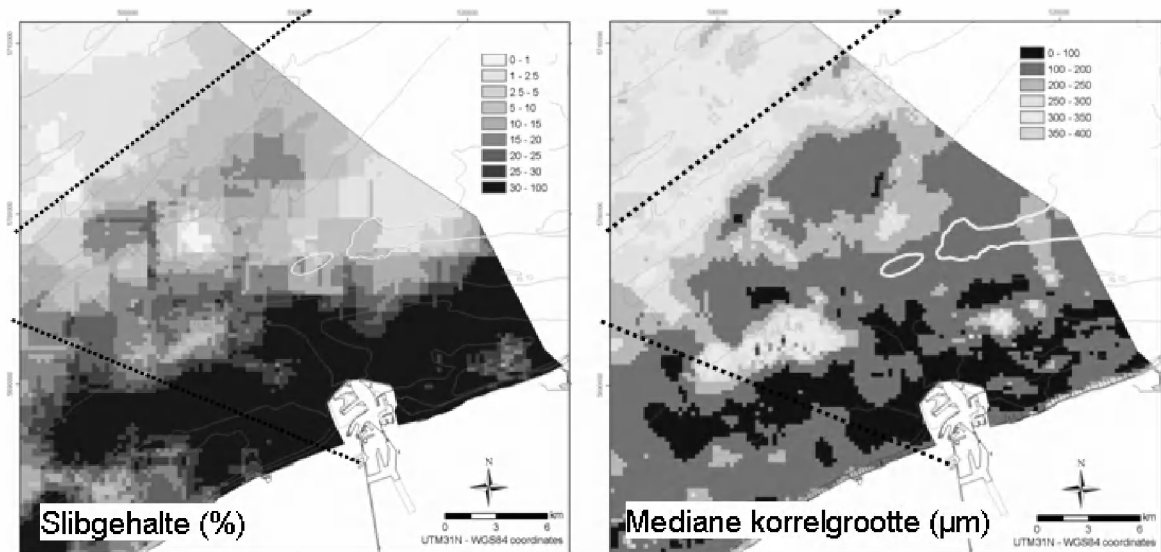


Fig. 7. De gebiedsdekkende slibgehalte en mediane korrelgroottekaart (Verfaillie *et al.*, in druk) dienden als basis voor de voorspelling van de verspreiding van de macrobenthische gemeenschappen op de top van de 'Vlakte van de Raan'.

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 bevraagd aan de hand van bij consensus geselecteerde criteria: zeldzaamheid, aggregatie, fitheidsgevolgen, natuurlijkheid en proportioneel belang (Deros *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.

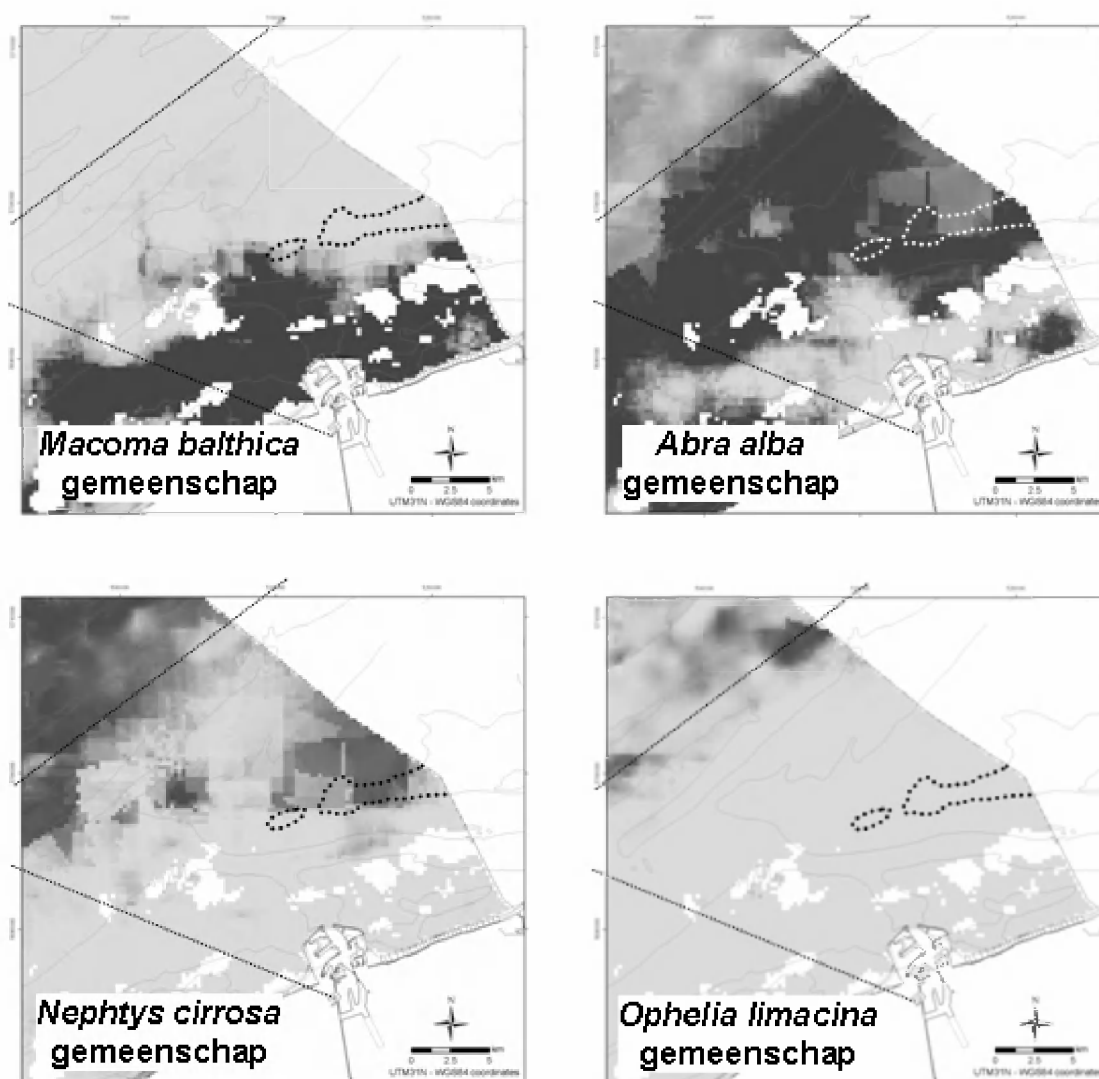


Fig. 8. De kans op het voorkomen van de vier macrobenthische gemeenschappen, berekende aan de hand van HABITAT model. Hoe donkerder ingekleurd, hoe hoger de kans op voorkomen.

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., Moutaers 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.

DE MACRO-, EPI- EN VISFAUNA OP DE VLAKTE VAN DE RAAN

Kris Hostens en Ine Moulaert

Instituut voor Landbouw- en Visserijonderzoek (ILVO-Visserij), Ankerstraat 1, B-8400 Oostende, België. Email: kris.hostens@ilvo.vlaanderen.be

Samenvatting

Om een antwoord te kunnen geven op de vraag naar wat er leeft in en op de bodem van de 'Vlakte van de Raan' werden de data betreffende het macrobenthos, het epibenthos en de demersale visfauna op het Belgisch Continentaal Plat (BCP) gebundeld. Deze werden door ILVO-Visserij in het kader van verschillende projecten over een periode van 30 jaar bemonsterd, maar tot op heden werden vooral de data van het laatste decennium gedigitaliseerd en gevalideerd.

Het gebied op en rond de 'Vlakte van de Raan', afgebakend door de 10m dieptelijn, is een relatief stabiel gebied wat betreft de sedimentologie met een mediane korrelgrootte tussen 170 en 180µm en een slibfractie tussen 0.5 en 3%. In vergelijking met de rest van het BCP, was de 'Vlakte van de Raan' (en de nabije rand/geulzone) gekenmerkt door een relatief lage soortenrijkdom voor het macrobenthos, een relatief hoge soortenrijkdom voor het epibenthos en relatief gemiddelde waarden voor de demersale visfauna. Wat betreft de densiteit, werden relatief lage waarden voor het macrobenthos genoteerd en relatief hoge waarden voor de twee andere ecosysteemcomponenten. Voor diversiteit daarentegen was min of meer het tegenovergestelde het geval. Voor de drie groepen was de procentuele soortensamenstelling grotendeels vergelijkbaar over de hele 'Vlakte van de Raan' en was de densiteit meestal veel hoger in het najaar.

De belangrijkste macrobenthische soorten waren de borstelworm *Nephtys cirrosa*, vlokreeftjes *Bathyporeia* spp. en Amerikaanse zwaardschede *Ensis directus*. Deze laatste soort komt sinds het begin van de jaren '90 in grote aantallen voor en kende in het najaar van 2005 een nieuwe bloei. In de meeste staalnamepunten waren de piekdensiteiten van korte duur en werden ze veroorzaakt door slechts één of enkele macrobenthische soorten. De heersende stortactiviteiten op loswal S2 (en S1) hebben zeker een lokale invloed op het macrobenthos.

De meest voorkomende epibenthische soort was grijze garnaal *Crangon crangon*, over het algemeen met meer dan 70% van de totale densiteit. Deze werd op ruime afstand gevolgd door gewone zwemkrab *Liocarcinus holsatus*, gewone slangster *Ophiura ophiura* en opeenvolgende pieken van diverse tweekleppigen, o.a. halfgeknotte strandschelp *Spisula subtruncata* (vooral in de jaren '80 en '90), Amerikaanse zwaardschede *Ensis directus*, Amerikaanse boormossel *Petricola pholadiformes*, witte dunschaal *Abra alba* en nonnetje *Macoma balthica*. Op één locatie in de randzone lag de densiteit van deze tweekleppigen wel een grootte-orde hoger.

De meest voorkomende vissoorten waren de grondels *Pomatoschistus lozanoi* en *Pomatoschistus minutus*, met over het algemeen meer dan 50% van de totale densiteit. Andere belangrijke soorten waren tong *Solea solea*, en schol *Pleuronectes platessa*, en in mindere mate steenbolk *Trisopterus luscus*, haring *Clupea harengus*, harnasmannetje *Agonus cataphractus* en schor *Limanda limanda*, telkens in één of meerdere locaties en/of periodes.

Op basis van deze gegevens kan gesteld worden dat de 'Vlakte van de Raan' en vooral de nabije rand- en geulzone een relatief rijk gebied is voor het epibenthos en de demersale visfauna. Voor deze twee ecosysteemcomponenten lijkt het alvast een goede keuze te zijn om een deel van de 'Vlakte van de Raan' af te bakenen tot natuurgebied, doch een uitbreiding met een gedeelte van de rand/geul zone is aangewezen.

1. Inleiding

Van de 'Vlakte van de Raan' wordt dikwijls gesuggereerd dat het een belangrijk gebied is voor garnalen en commerciële vissoorten zoals tong *Solea solea*. Dit was trouwens, naast de zogeheten visuele vervuiling, één van de belangrijkste redenen om een windmolenpark op de 'Vlakte van de Raan' af te wijzen.

De Sectie Milieumonitoring van ILVO-Visserij (het voormalige Departement voor Zeevisserij) onderzoekt reeds enkele decennia de mogelijke effecten van allerlei antropogene activiteiten op het bodemleven van het Belgisch Continentaal Plat (BCP). Er wordt daarbij gekeken naar zowel het macrobenthos, het epibenthos, als de demersale vissen. In de context van verschillende studies (maar voornamelijk naar de effecten van zandwinning en baggerlossingen) werden locaties, verspreid over het ganse BCP, bemonsterd. Van sommige locaties zijn lange datareeksen beschikbaar, terwijl andere slechts één of meerdere malen in het kader van bepaalde projecten werden bemonsterd. In de laatste jaren zijn er verscheidene locaties bijgekomen om de mogelijke effecten op het mariene bodemleven beter te kunnen weergeven.

Voor deze studie werden enerzijds de gegevens voor 2005 bekeken om de 'Vlakte van de Raan' qua benthos te situeren binnen het BCP. Anderzijds werden een aantal locaties geselecteerd op en in de nabijheid van de 'Vlakte van de Raan' waarvoor langere termijnreeksen bestaan op ILVO-Visserij. Aan de hand van deze gegevens wordt een beeld geschetst van wat er in en op de bodem van de 'Vlakte van de Raan' leeft qua macrobenthos, epibenthos en demersale vissen.

2. Materiaal en methode

Alle staalnames gebeuren tweemaal per jaar, in het voor- en najaar, vanaf R.V. Belgica verspreid over het Belgisch Continentaal Plat. Het macrobenthos wordt bemonsterd met een Van Veen grijper met een staalname oppervlakte van 0.1m², na fixatie gezeefd op een 1mm zeef en in het labo gesorteerd, gedetermineerd, geteld en gewogen. De gebruikte parameters zijn densiteit, soortenrijkdom en diversiteit. Naast de uitgebreide staalname verspreid over het volledige BCP, worden sinds enkele decennia verscheidene locaties op en naast de 'Vlakte van de Raan' bemonsterd in het kader van de stortactiviteiten die er plaatsvinden (Fig. 1).

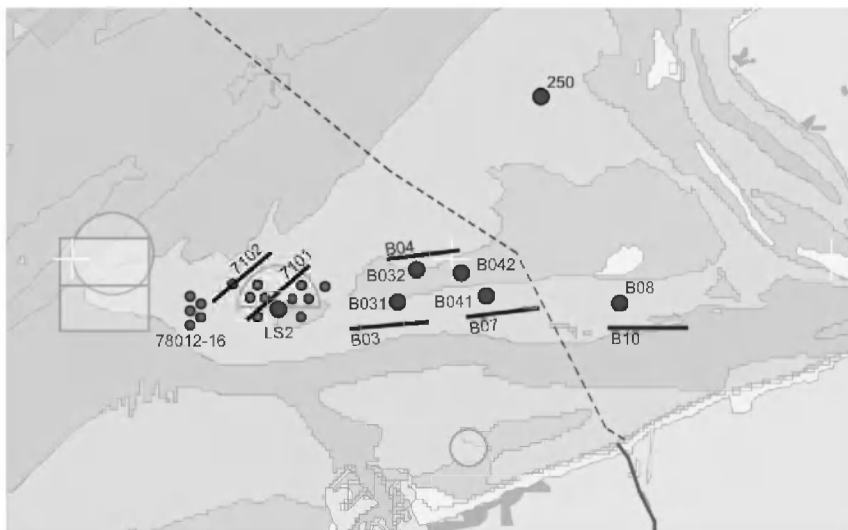


Fig. 1. Overzicht van de staalnamelocaties op en in de nabijheid van de 'Vlakte van de Raan', bemonsterd door ILVO-Visserij gedurende de laatste decennia.

In het centrum van loswal S2 worden reeds sinds 1980 stalen verzameld. Sinds 2006 worden enkele extra stalen in en buiten de loswal bemonsterd om de impact van het storten op het macrobenthos nog beter te kunnen inschatten. In het centrum van de twee ex-loswallen B03 en B04 worden stalen genomen sinds 1997. Sinds 2004 worden ook op de rand van deze zones enkele stalen genomen. Tenslotte werden ook op het westelijke deel van de 'Vlakte van de Raan' 5 locaties bemonsterd in het najaar van 2004 en in het voorjaar en najaar van 2005. Deze 5 punten zijn gelegen op de plaats waar loswal S1 gesitueerd was in de jaren zestig en zeventig.

Daarnaast worden sinds 1997 ook een paar locaties op het Nederlands Continentaal Plat bemonsterd. Locatie 250 is gelegen in het noordoostelijke deel van de 'Vlakte van de Raan', locatie B08 ligt dicht bij de monding van de Schelde.

Het epibenthos en de demersale vis worden bemonsterd met een 8m boomkor en een fijnmazig garnalennet (22mm in de kuil en een bollenpees), gedurende een half uur durende vissleep, gevaren aan 3.5 knopen. Een dergelijk net heeft het voordeel dat het minder schadelijk is voor het bodemecosysteem dan wanneer met kettingsmatten zou gewerkt worden. Toch is het efficiënt voor het bemonsteren van epibenthische organismen en de meeste demersale vissoorten. Enkel organismen die zich 'vasthechten' aan de bodem zoals tong, semipelagische soorten zoals haring en dunne vissoorten zoals zandspiering worden iets minder efficiënt gevangen. Het materiaal wordt direct gesorteerd, al dan niet m.b.v. een spoel- en sorteermachine, aan boord en/of in het labo gedetermineerd, gemeten en geteld. De gebruikte parameters zijn dichtheid, soortenrijkdom en diversiteit. Naast de vele vissleepen, verspreid over het BCP, worden ook voor deze twee ecosysteemcomponenten enkele locaties bemonsterd op en naast de 'Vlakte van de Raan' in het kader van de stortactiviteiten die er plaatsvinden. Dwars over loswal S2 (sleep 7101) worden reeds sinds 1984 stalen verzameld op een uniforme manier, doch voor demersale vis zijn de bruikbare gegevens momenteel beperkt tot de periode vanaf 1996. Sinds 2005 wordt een extra vissleep genomen direct naast de loswal. In de geul t.h.v. twee ex-loswallen (B03 en B07) worden stalen genomen sinds 1997. Sinds 2006 wordt een extra vissleep gedaan aan de noordelijke kant van deze ondiepe zone (B04). Op Nederlands grondgebied wordt locatie B10 in de diepere geul voor de Scheldemonding meegenomen binnen deze studie.

Daarnaast zijn er ook gegevens beschikbaar die jaarlijks in het kader van de '*demersal young fish survey*' (DYFS) worden verzameld met de Broodwinner langsheen de Belgische kustzone in het najaar. Uit deze uitgebreide dataset werden voor 4 locaties op de 'Vlakte van de Raan' de gegevens geselecteerd voor 4 commerciële vissoorten (tong, schol, schar en wijting) over de periode 1976-2005.

3. Resultaten en discussie

3.1. Ruimtelijke verspreiding van het macrobenthos

Uit de vergelijking van de soortenrijkdom en de gemiddelde dichtheid voor het macrobenthos kunnen verschillende gebieden worden afgebakend (Fig. 2). Enerzijds zijn er de rijkere zones: voornamelijk het gebied dat zich uitstrekt van de westelijke kustzone tot het gebied boven de 'Vlakte van de Raan', en de verder van de kust gelegen geulen. De toppen van de banken, alsook de zone tussen Wenduine en de monding van de Schelde en de 'Vlakte van de Raan' behoren tot de gebieden van het BCP met een lagere soortenrijkdom en dichtheid.

Uit de multivariate gemeenschapsanalyses kunnen ook zones worden aangeduid gebaseerd op de vergelijkbaarheid van de soortensamenstelling. In het najaar van 2005 vormden de stalen van de 'Vlakte van de Raan' een duidelijk afgebakende groep.

Alhoewel de gelijkenis tussen de stalen van de 'Vlakte van de Raan' slechts 47% bedroeg, was het verschil tussen de stalen van deze groep en stalen van andere groepen op het BCP telkens meer dan 75%. De 'Vlakte van de Raan' was gekenmerkt door een relatief arme gemeenschap met een lage densiteit en soortenrijkdom met als belangrijkste indicator soorten *Ensis directus*, *Nephtys cirrosa*, *Bathyporeia* spp. en *Magelona johnstoni*. De afscheiding van de stalen van de 'Vlakte van de Raan' als een aparte groep, was vooral te wijten aan de hoge densiteit van *Ensis directus* in het najaar van 2005. In 2005 werden trouwens over het hele Noordzeegebied en zelfs de Noord-Atlantische oceaan hoge waarden genoteerd voor tal van organismen. Wanneer echter de macrobenthos gegevens van andere jaren worden vergeleken, blijft de 'Vlakte van de Raan' wel afgescheiden, doch minder eenduidig.

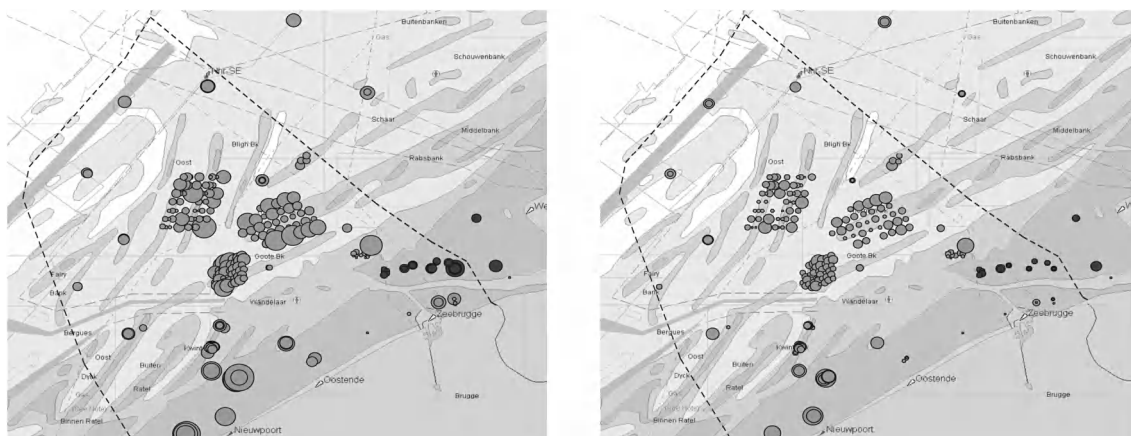


Fig. 2. Ruimtelijke verspreiding van het macrobenthos op het BCP, gebaseerd op najaar 2005. Links densiteit (10 - 7300 ind.m⁻²), rechts soortenrijkdom (1 - 40 soorten).

3.2. Temporele evolutie van het macrobenthos op de Vlakte van de Raan

3.2.1. Het westelijke deel onder de invloed van stortactiviteiten

Het macrobenthos van station 710, gelegen in het centrale punt van loswal S2, vertoonde in de loop van de afgelopen 25 jaar een variabele, maar relatief lage soortenrijkdom (Fig. 3). De densiteit bleef stabiel met uitzondering van enkele pieken (najaar van 1981, 1988, 1994 en 1998). De eerste twee pieken werden veroorzaakt door *Spio* spp., terwijl de laatste twee een gevolg waren van de toename aan *Magelona johnstoni*. Beide soorten hebben een korte levensduur met een snelle reproductie en verspreidingsmogelijkheid. De laatste zes jaar (2001 - 2006) bleef de densiteit laag, vergelijkbaar met de periode tussen 1982 en 1987. In de jaren '80 was de mediane korrelgrootte echter een stuk hoger. Ofwel was de locatie van de staalname in deze periode niet nauwkeurig genoeg, ofwel was het sediment tijdens deze periode ter hoogte van loswal S2 grover. Dit kan pas worden nagegaan wanneer alle oude gegevens gedigitaliseerd zijn.

Het aandeel van de schaaldieren in de densiteit is sinds het midden van de jaren '90 afgenomen. Sindsdien wordt de densiteit vooral ingenomen door schelpdieren (vooral *Ensis directus*) en borstelwormen. De dominerende soorten zijn Amerikaanse zwaardschede *Ensis directus*, de carnivore borstelworm *Nephtys cirrosa* (juvenile and adulte individuen) en *Spio* spp., *Spiophanes bombyx* en *Magelona johnstoni* die allen 'surface deposit feeder' zijn. De diversiteit varieerde in de laatste 25 jaar tussen 0.7 en 3.5. In vergelijking met de jaren '80 werden in de jaren '90 lagere diversiteitswaarden gemeten, maar in de laatste 5 jaar is deze duidelijk weer toegenomen.

Algemeen waren geen grote veranderingen waar te nemen in de belangrijke soorten die de gemeenschap bepalen, met uitzondering van *Ensis directus*, die pas vanaf het begin van de jaren '90 dominant aanwezig is. Enkele soorten kwamen na de intrede van *Ensis directus* in veel lagere aantallen voor (*Urothoe poseidonis*, *Fabulina fabula*, *Scoloplos armiger* en *Bathyporeia* spp.). De hogere densiteit van *Ensis directus* in het najaar van 2005 was toch nog relatief laag in vergelijking met de piekdensiteiten waargenomen in de periode 1997-2000.

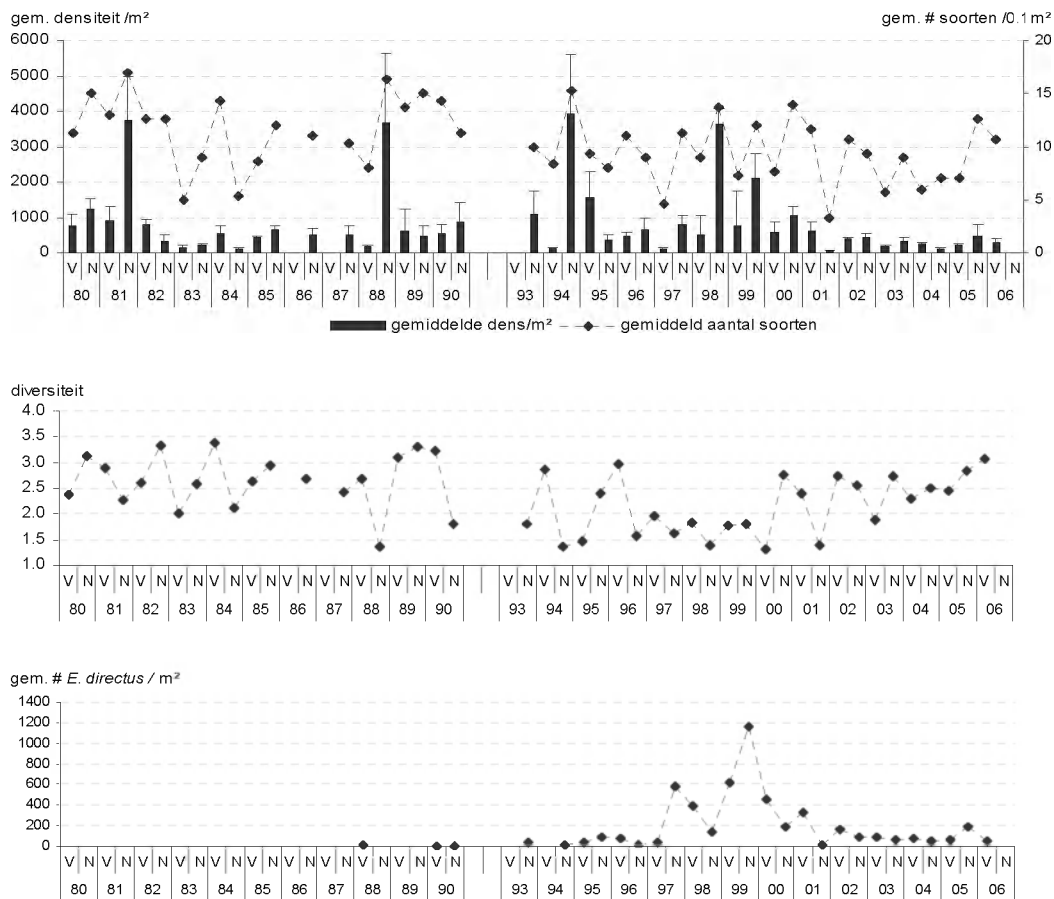


Fig. 3. Verloop van de gemiddelde densiteit (per m²), het gemiddeld aantal soorten (per 0.1 m²) en de Shannon-Wiener diversiteit voor het macrobenthos en de gemiddelde densiteit van *Ensis directus* (per m²) in de periode 1980-2006 (voor- en najaar) voor station 710.

Uit de staalname van 2006 waarbij een aantal stalen in de loswal en een aantal er net buiten werden genomen blijkt dat op de staalnamepunten, gelegen in het gebied met de hoogste dumpingsintensiteit, de laagste densiteiten en soortenaantallen werden waargenomen. Vooral de afwezigheid van enkele grotere soorten zoals *Ensis directus* en *Nephtys cirrosa* geeft aan dat dit gebied minder aantrekkelijk is.

Vergelijkbare densiteiten werden aangetroffen in het meest westelijke deel van de 'Vlakte van de Raan' dat lang onderhevig is geweest aan stortactiviteiten van gebaggerd materiaal uit de haven van Zeebrugge. Dit gebied wordt pas sinds najaar 2004 bemonsterd. De densiteit varieerde er tussen 200 en 400 ind.m⁻², met uitzondering van 2 punten die in het najaar van 2005 iets hoger waren door een toename van de Amerikaanse zwaardschede *Ensis directus*. Het aantal soorten per staal varieerde van 5 tot 14 en de diversiteit van 1.7 tot 3.2.

De belangrijkste soorten in dit gebied waren opnieuw vergelijkbaar met alle andere zones op de 'Vlakte van de Raan': *Bathyporeia* spp., *Nephtys cirrosa* en vooral in het najaar van 2005 *Ensis directus*.

3.2.2. Het middengedeelte tussen loswal S2 en de grens (stations B031, B032, B041 en B042)

Deze vier punten zijn gelegen in het meest oostelijke Belgische deel van de 'Vlakte van de Raan' dat werd voorgesteld tot natuurgebied. Hoewel voor stations B031 en B041 data voorhanden zijn sinds het einde van de jaren '90, werden enkel de data vanaf het najaar van 2003 gebruikt (omdat voordien de staalname-locatie niet nauwkeurig genoeg was). Sinds 2003 wordt een constante mediane korrelgrootte en slibfractie waargenomen (mediane korrelgrootte tussen 170 en 180 μm ; slibfractie tussen 0.5 en 3%). Stations B042 en B032 worden pas sinds het voorjaar van 2004 bemonsterd. Ook op deze locaties was de samenstelling van het sediment stabiel en vergelijkbaar.

De variatie in densiteit en soortenrijkdom tussen de verschillende replica's van het macrobenthos van deze zone was relatief beperkt (variatiecoëfficiënt meestal lager dan 0.3). De densiteit varieerde in 2003 en 2004 tussen 100 en 200 ind.m⁻² en het aantal soorten tussen 5 en 10 (Fig. 4). De toename van de densiteit in het najaar van 2005 was in de vier staalnamepunten terug te vinden en opnieuw vooral te wijten aan *Ensis* spp.

De belangrijkste soorten die in de meeste stalen van deze zone werden aangetroffen zijn *Bathyporeia* spp., *Magelona johnstoni*, *Nephtys cirrosa*, *Scoloplos armiger* en *Spio* spp. Sinds het najaar van 2005 is *Ensis directus* echter de belangrijkste soort.

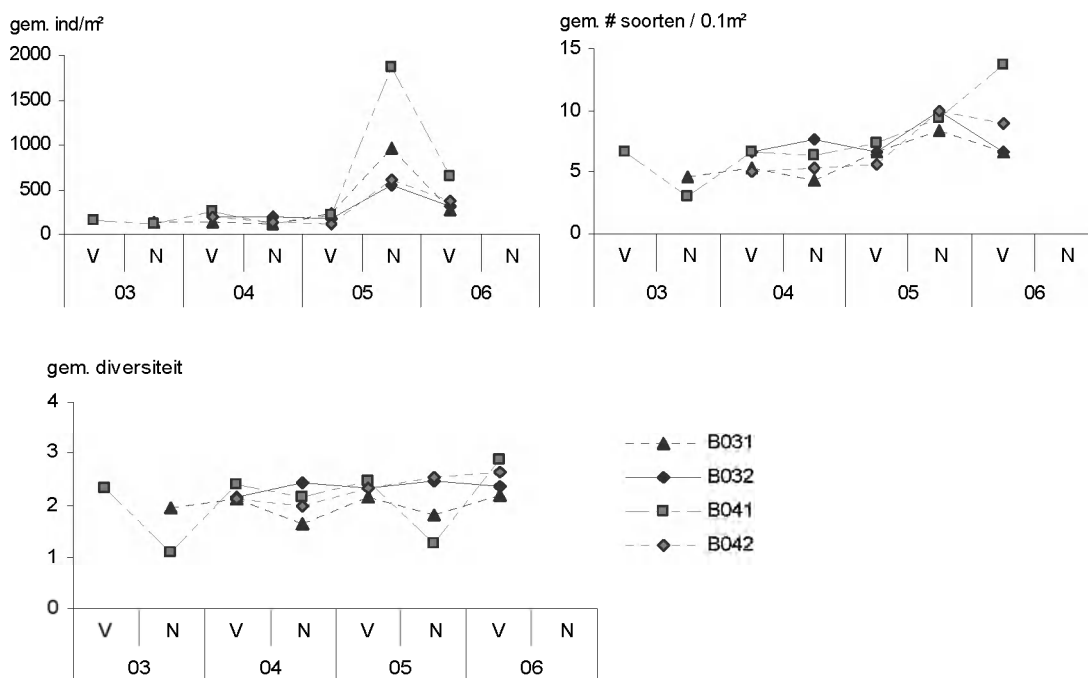


Fig. 4. Verloop van de gemiddelde densiteit (per m²), het gemiddeld aantal soorten (per 0.1m²) en de Shannon-Wiener diversiteit voor het macrobenthos in de periode 2003-2006 (voor- en najaar) voor station 4 stations in het middengedeelte van de 'Vlakte van de Raan'.

3.2.3. Het Nederlandse deel van de 'Vlakte van de Raan' (B08 en 250)

Voor station B08 was de periode voorjaar 2002-voorjaar 2004 relatief arm qua macrobenthos (Fig. 5). Gemiddeld werden minder dan 300ind.m⁻² en minder dan 10 soorten per staal waargenomen. In het najaar van 2004 vertoonde de densiteit een sterke toename. Deze piek was voornamelijk toe te schrijven aan de hoge densiteit van *Cirratulidae* spp., maar ook *Abra alba* en *Spio* spp. kwamen voor in hogere aantallen dan in de seizoenen ervoor. De variatie in densiteit tussen de verschillende replica's was meestal redelijk hoog (variatiecoëfficiënt ± 0.5), alsook de variatie in mediane korrelgrootte en slibfractie.

Ter hoogte van station 250, gelegen in het noordoostelijke Nederlandse deel van de 'Vlakte van de Raan', werd een gemiddelde densiteit waargenomen tussen 200 en 400ind.m⁻² en een gemiddelde soortenrijkdom tussen 6 en 10. Alle pieken in de densiteit (najaar van 1997 en 2001, voorjaar van 2002 en najaar van 2005) waren toe te schrijven aan *Ensis directus*. Met uitzondering van enkele jaren was de variatie in densiteit en aantal soorten tussen de verschillende replica's relatief laag. Ook de variatie in mediane korrelgrootte en slibfractie was niet alleen klein tussen de verschillende replica's maar ook de variatie tussen de staalname perioden was sinds 2001 klein (mediane korrelgrootte tussen 170 - 190 μ m en slibfractie tussen 1 en 2%). De belangrijkste soorten waren ook hier *Bathyporeia* spp., *Nephtys cirrosa*, *Scoloplos armiger*, *Spio* spp. en vooral *Ensis directus*.

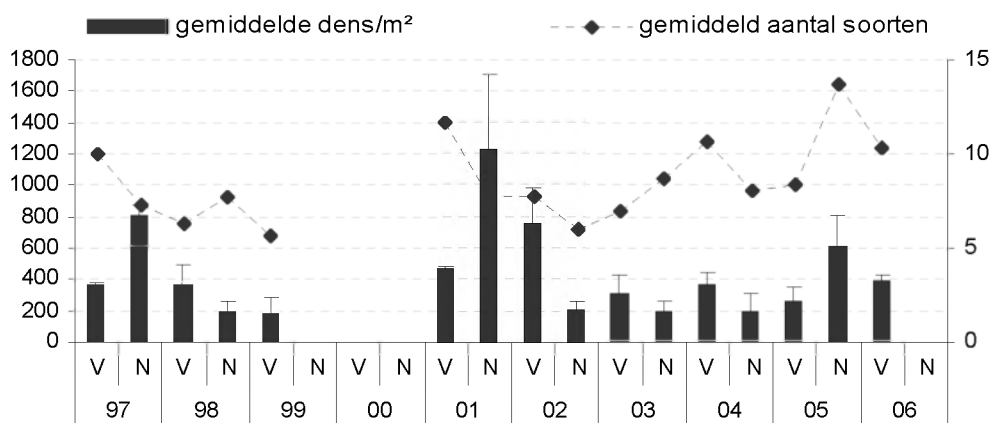


Fig. 5. Verloop van de gemiddelde densiteit (per m²) en het gemiddeld aantal soorten (per 0.1 m²) voor het macrobenthos in de periode 1997-2006 (voor- en najaar) voor station 250.

3.2.4. Temporele vergelijking met 2 andere stations

Station 780 (net ten noorden van Ioswal S1) en station 120 (t.h.v. Nieuwpoort) liggen beiden in de 'rijkere' macrobenthoszone (zie hierboven). Het aantal soorten op deze locaties was in de laatste 6 jaar nooit lager dan 15 per Van Veen en de gemiddelde densiteit nooit lager dan 500ind.m⁻² (Fig. 6). Voor de stations op de 'Vlakte van de Raan' was net het omgekeerde het geval en werd de soortenrijkdom nooit hoger dan 15 en de densiteit nooit hoger dan 500ind.m⁻² in die laatste 6 jaren. In de jaren negentig liepen de waarden voor beide parameters in beide zones meer dooreen. De continu lagere waarden op de 'Vlakte van de Raan' zouden kunnen wijzen op een lokale negatieve invloed van de huidige baggerstortactiviteiten in dit gebied.

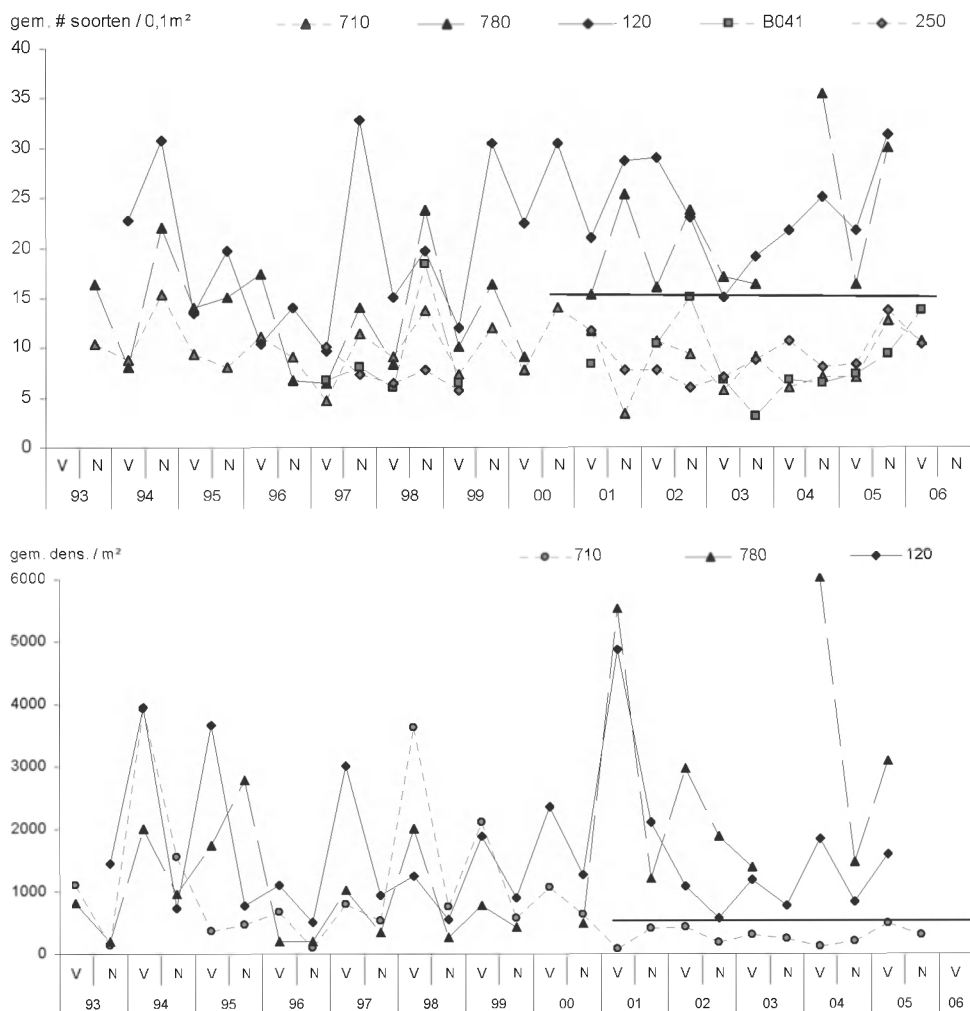


Fig. 6. Verloop van het gemiddeld aantal soorten (per 0.1m²) en de gemiddelde dichtheid (per m²) voor het macrobenthos in de periode 1993-2006 (voor- en najaar) voor enkele stations.

3.3. Ruimtelijke verspreiding van het epibenthos

Uit de vergelijking van de gemiddelde dichtheid van het epibenthos kunnen verschillende gebieden worden afgebakend op het BCP (Fig. 7). Enerzijds is er een duidelijk rijk gebied dat zich uitstrekt van de westelijke kustzone tot voorbij de 'Vlakte van de Raan' en de geulen er rond. De oostelijke kustzone tussen Wenduine en de monding van de Schelde was gekenmerkt door een lagere dichtheid. Ook in de zone tussen 15 en 35 km uit de kust, grotendeels bestaande uit de Vlaamse Banken en de Zeelandbanken, werden beduidend lagere densiteiten waargenomen. Hier valt ook op dat de densiteiten in de geulen rond de banken hoger lagen dan deze op de banken zelf. Deze laatste zijn dan weer vergelijkbaar met de zeer arme offshore zone > 35km uit de kust (o.a. de Hinderbanken). Zoals reeds voor het macrobenthos gezegd, was 2005 een uitzonderlijk jaar voor een veel ruimer gebied dan het BCP. Een vergelijking voor andere jaren levert echter ook voor het epibenthos grotendeels eenzelfde patroon op, zij het iets minder uitgesproken.

Qua soortenrijkdom is de opsplitsing tussen de drie zones veel minder duidelijk. De soortenrijkdom op de 'Vlakte van de Raan' lag in 2005 iets lager dan in de westelijke kustzone, vergelijkbaar tot iets lager dan in de verder af gelegen gebieden, en iets hoger dan in de oostelijke kustzone Wenduine-Scheldemonding.

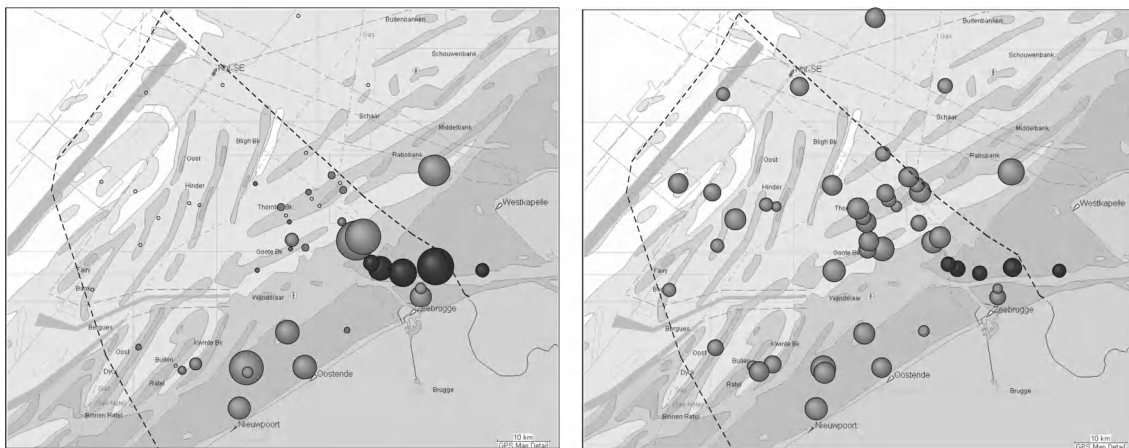


Fig. 7. Ruimtelijke verspreiding van het epibenthos op het BCP, gebaseerd op een gemiddelde voor 2005. Links densiteit (10 - 1600 ind.1000m⁻²), rechts soortenrijkdom (8 - 22 soorten).

3.4. Temporele evolutie van het epibenthos op de Vlake van de Raan

3.4.1. Het westelijke deel onder de invloed van stortactiviteiten

Voor het epibenthos op loswal S2 (vissleep 7101) lag de densiteit in het najaar met 400 - 1300 ind.1000m⁻² gemiddeld vier tot zes maal hoger t.o.v. het voorjaar (meestal < 200 ind.1000m⁻²), met uitzondering van 1988 en 1992 (Fig. 8). Tussen 1984 en 2006 kunnen periodes met hoge najaarsdensiteiten (1987-1990, 1997-2005) onderscheiden worden van periodes met lagere najaarsdensiteiten (1984-1985, 1993-1995). In 1991 werden uitzonderlijk lage densiteiten gevonden, en ook in 1998 en 2003 was de najaarsdensiteit lager. Voor de meeste jaren maakt grijze garnaal *Crangon crangon* > 70% uit van de totale densiteit (Fig. 9). Enkel in 1989 werd een verhoogde densiteit voor halfgeknotte strandschelp *Spisula subtruncata* en witte dunschaal *Abra alba* waargenomen, en in 1999 voor gewone zwemkrab *Liocarcinus holsatus*. Ook gewone slangster *Ophiura ophiura* kwam in iets hogere aantallen voor in diverse jaren.

De soortenrijkdom in vissleep 7101 varieerde tussen 6 en 14 soorten, met enkele hoge pieken in het najaar 1989 en voorjaar 2006. Over het algemeen was de soortensamenstelling evenredig verdeeld over garnalen, krabben (en heremietskreeften), weekdieren en stekelhuidigen, aangevuld met bloemdieren. De variatie in soortenrijkdom werd vooral teweeggebracht door meer of minder soorten krabben en/of tweekleppigen. De diversiteit was gedurende verschillende periodes laag en schommelde tussen 0.5 en 1.5. Er werden echter ook enkele piekwaarden genoteerd, meestal in het voorjaar (tot 2.5), met voorjaar 1997 als grote uitzondering (0.2).

Sinds 2005 wordt ook een vissleep (7102) uitgevoerd net naast loswal S2. De soortenrijkdom was vergelijkbaar met de vissleep op de loswal (7101) en ook hier was *C. crangon* de belangrijkste soort. De najaarsdensiteit in 2005 was echter iets lager dan in 7101.

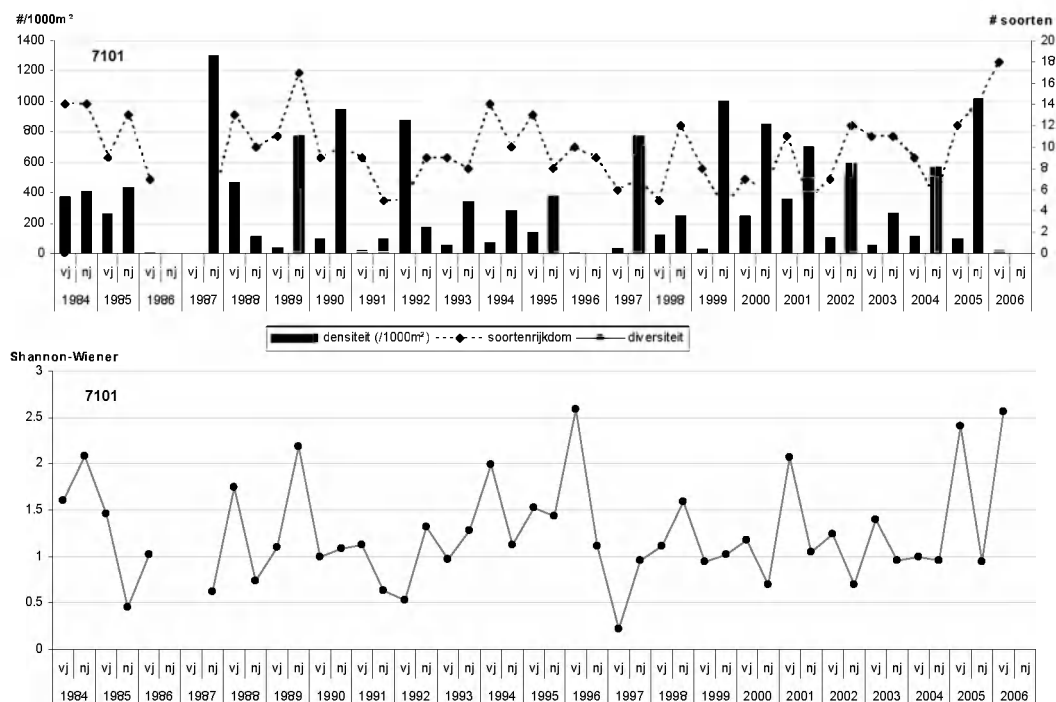


Fig. 8. Verloop van de densiteit (per 1000m²), het aantal soorten en de Shannon-Wiener diversiteit voor het epibenthos in de periode 1984-2006 (voor- en najaar) voor vissleep 7101.

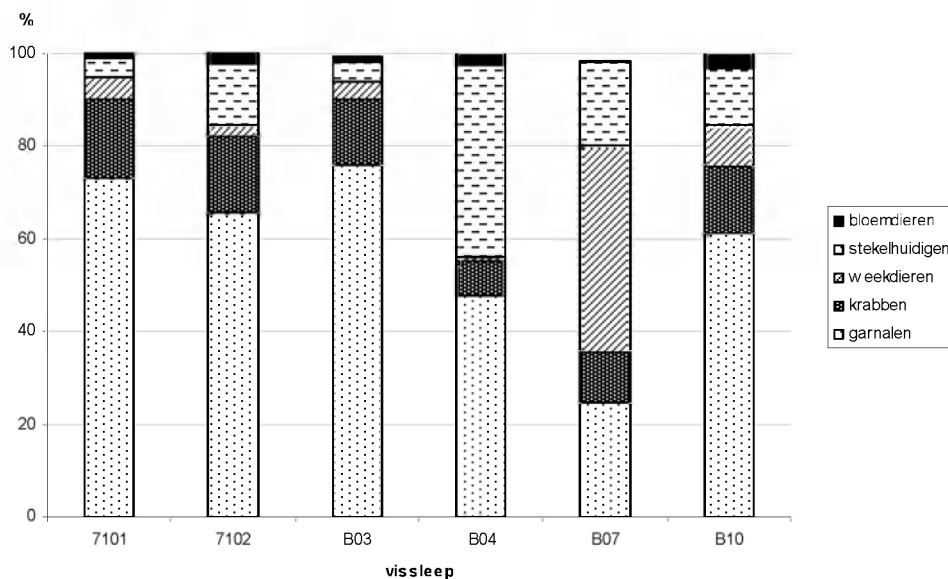


Fig. 9. Procentuele samenstelling van de gemiddelde densiteit per vissleep over de respectievelijke bemonsterde periodes, verdeeld over de belangrijkste epibenthische taxa.

3.4.2. Het middengedeelte tussen loswal S2 en de grens (vissleepen B03, B04 en B07)

Ook voor vissleep B03 waren de najaarswaarden (met uitzondering van 2002) hoger dan in het voorjaar, doch enkel de densiteitspieken van 1997 en 2005 evenaarden deze van vissleep 7101 (Fig. 10). In de andere jaren tussen 1997 en 2005 lagen de najaarswaarden meestal rond de 300ind.1000m⁻². Ook hier was *Crangon crangon* met > 75% de meest abundante epibenthische soort zowel in het voor- als najaar (Fig. 9). Daarnaast waren opnieuw *Liocarcinus holsatus* en in mindere mate *Ophiura ophiura* van enig belang.

De soortenrijkdom varieerde tussen 4 en 15, hoewel in meer dan de helft van de seizoenen een 10-tal epibenthische soorten werden gevonden. De soortenrijkdom vertoonde een min of meer 4-jarig patroon met hogere waarden in het najaar van 1994, 1998, 2001 en 2005, en de laagste waarde in het voorjaar van 2000. Voor de diversiteit, schommelend tussen 0.5 en 2, kon een duidelijk tweejarig patroon worden waargenomen.

Sinds het voorjaar van 2006 werd de staalname op B03 stopgezet en werd vissleep B04 bemonsterd. De waarden voor densiteit en soortenrijkdom waren er voorlopig vergelijkbaar met deze voor het voorjaar in voornoemde visslepen (Fig. 10).

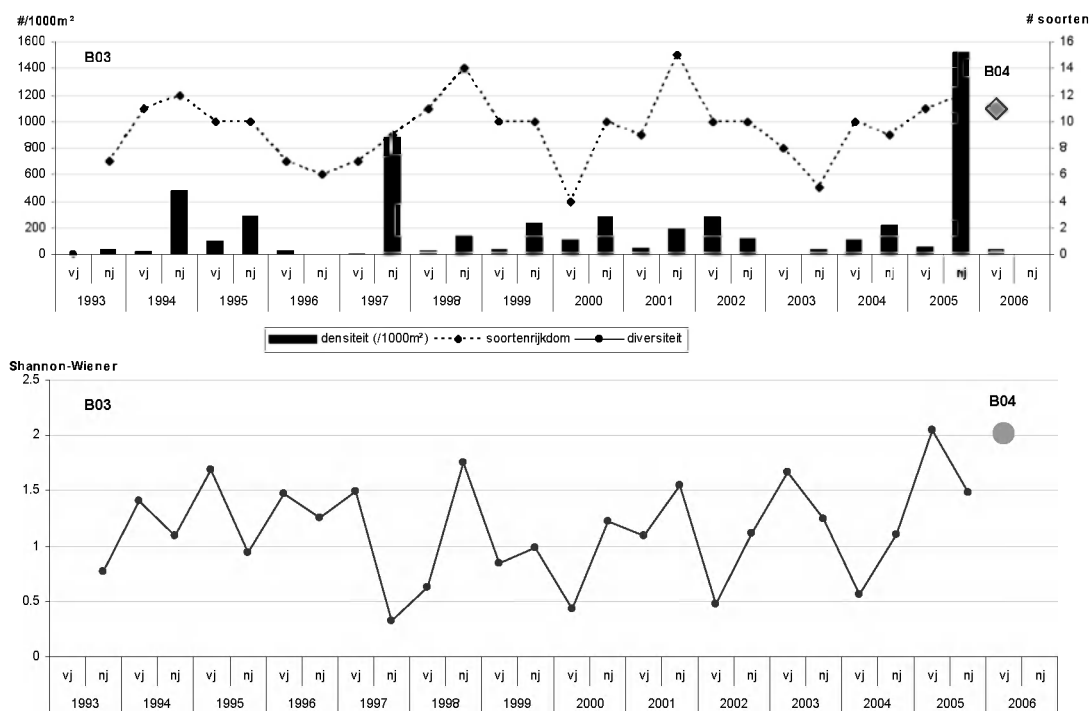


Fig. 10. Verloop van de densiteit (per 1000m²), het aantal soorten en de Shannon-Wiener diversiteit voor het epibenthos in de periode 1993-2005 (voor- en najaar) voor vissleep B03, en voorjaar 2006 voor B04.

Voor vissleep B07 lagen de densiteitswaarden gewoonlijk een grootte-orde hoger (1000 - 4000ind.1000m⁻²) dan in B03 (Fig. 11). Enkel in 2000 en 2003 bleven de waarden heel laag. Er werd ook een duidelijk andere verhouding qua densiteit genoteerd in B07 (Fig. 9). Over het algemeen was *Crangon crangon* nog wel abundant aanwezig in het najaar, vergelijkbaar met bvb. 7101, maar nam deze soort slechts 25% van de totale epibenthische densiteit voor zijn rekening. Stekelhuidigen (vooral *Ophiura ophiura*) en krabben (vooral *Liocarcinus holsatus*) namen gemiddeld 20 en 10% van de densiteit voor hun rekening, waarbij *O. ophiura* hoge densiteiten bereikte in het voorjaar 2001 en 2006. Gemiddeld 45% van de densiteit werd ingenomen door diverse tweekleppigen (behalve tussen 1999 en 2003). In de periode 1993-1998 betrof dit vooral *Spisula subtruncata*, in 2004 *Abra alba*, in 2005 *A. alba* en juveniele *Ensis* spp., en in 2006 nonnetje *Macoma balthica*. In het najaar van 2005 werd trouwens een totale piekdensiteit van 29 000ind.1000m⁻² genoteerd.

De soortenrijkdom in B07 leek iets minder variabel dan in B03, maar schommelde toch tussen 8 en 14 soorten per seizoen. Net als in 7101 werd ook hier een piek van 19 soorten genoteerd in het voorjaar 2005. Ook de diversiteit schommelde opnieuw tussen 0.5 en 2.5, zonder duidelijk patroon.

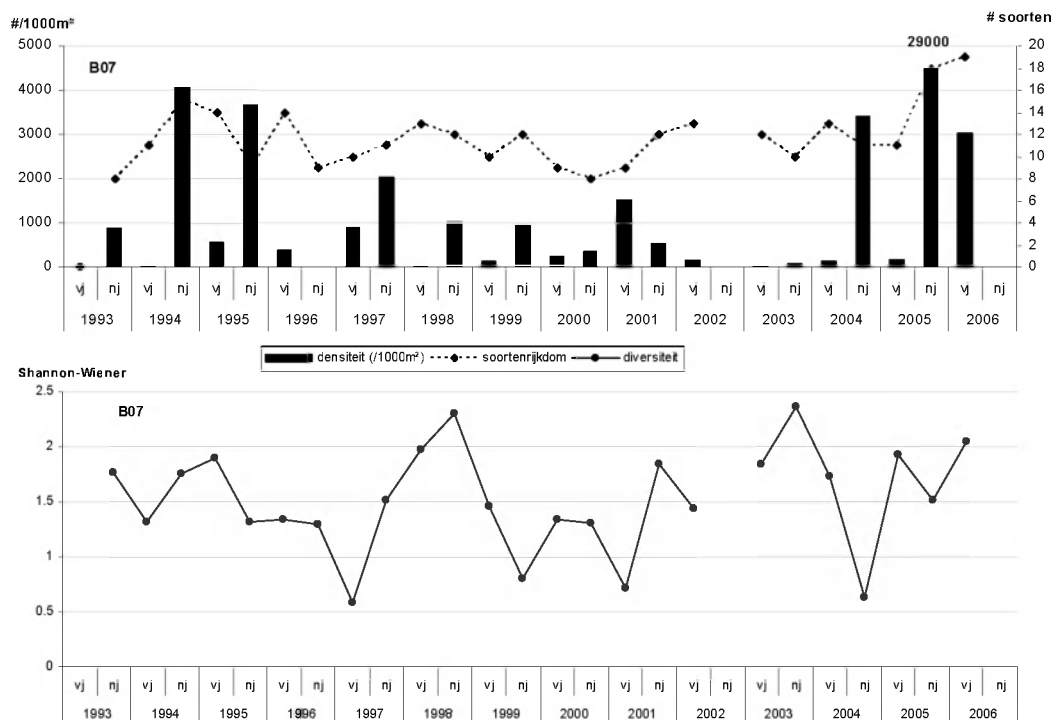


Fig. 11. Verloop van de densiteit (per 1000m²), het aantal soorten en de Shannon-Wiener diversiteit voor het epibenthos in de periode 1993-2006 (voor- en najaar) voor vissleep B07.

3.4.3. Het Nederlandse deel rond de 'Vlakte van de Raan' (B10)

Voor vissleep B10 lag de najaarsdensiteit opnieuw gemiddeld rond 300ind.1000m⁻², met enkele hogere waarden in 1995, 1997 en 2001 (Fig. 12). In tegenstelling tot de andere vissleepen, werd hier geen uitzonderlijk hoge densiteit waargenomen in het najaar van 2005. *Crangon crangon* maakt opnieuw > 60% uit van de totale densiteit in de meeste seizoenen. Ook in vissleep B10 waren de voorjaarsdensiteiten vrij laag, met uitzondering van het voorjaar van 2000 (vooral toe te schrijven aan Amerikaanse zwaardschede *Ensis directus*) en voorjaar 2002 (vooral zeester *Asterias rubens*). In 1995 was deze laatste soort samen met strandkrab *Carcinus maenas* mee verantwoordelijk voor de hoge najaarsdensiteit. Het najaar van 2001 werd dan weer gedomineerd door Amerikaanse boommosse *Petricola pholadiformes*. Ook *Liocarcinus holsatus* en *Ophiura ophiura* kwamen opnieuw in iets hogere aantallen voor in B10.

De soortenrijkdom vertoonde ook hier een vergelijkbaar oscillerend patroon als in B03, variërend tussen 8 en 14 soorten per seizoen, met een piek van 16 en 17 soorten respectievelijk in voorjaar 2001 en 2005. Over alle seizoenen heen domineerden de krabben en weekdieren de soortensamenstelling, gevolgd door stekelhuidigen, garnalen, heremietskreeften en bloemdieren. De diversiteit lag tussen 1.0 en 2.5, met uitzondering van de lagere waarden in 1997 en 2003.

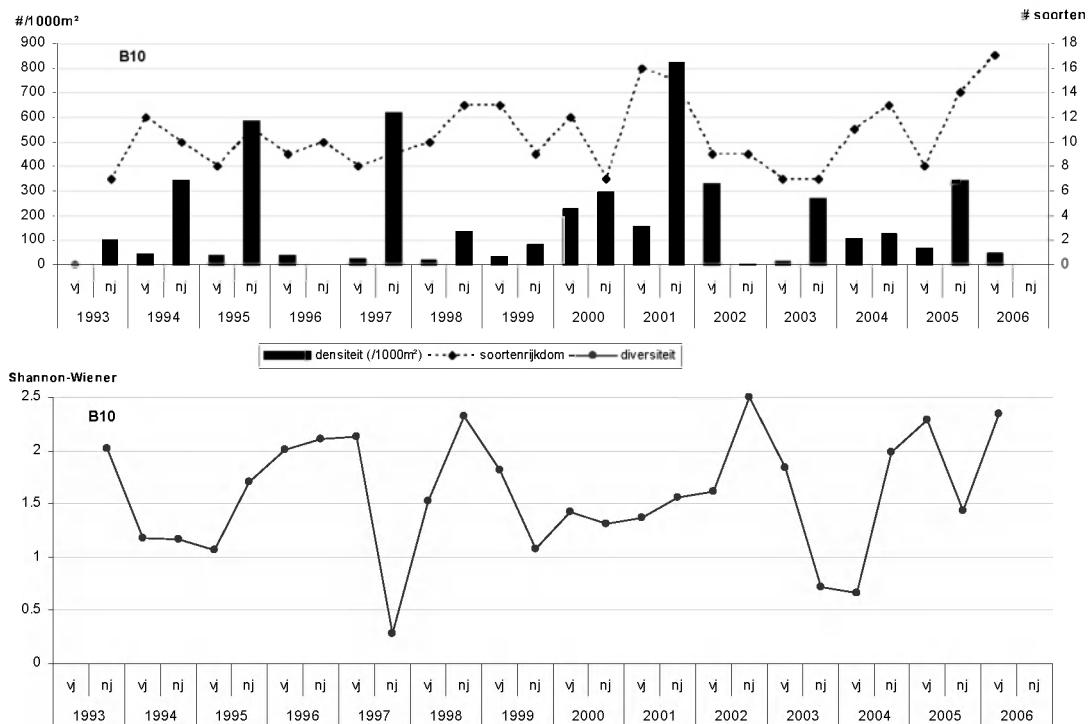


Fig. 12. Verloop van de densiteit (per 1000m²), het aantal soorten en de Shannon-Wiener diversiteit voor het epibenthos in de periode 1993-2006 (voor- en najaar) voor vissleep B10.

3.5. Ruimtelijke verspreiding van de demersale visfauna

Uit de vergelijking van de gemiddelde densiteit van de demersale visfauna kunnen ook min of meer een aantal gebieden worden afgebakend op het BCP: een arm gebied in de oostelijke kustzone tussen Wenduine en Knokke, een duidelijk rijk gebied op de 'Vlakte van de Raan', een uitgebreide zone met middelmatige densiteiten dat zich uitstrekt van de westelijke kustzone, naar de geulen rond de Vlaamse banken en de Zeelandbanken, en het offshore gebied >35 km uit de kust met een iets armere demersale visfauna (Fig. 13).

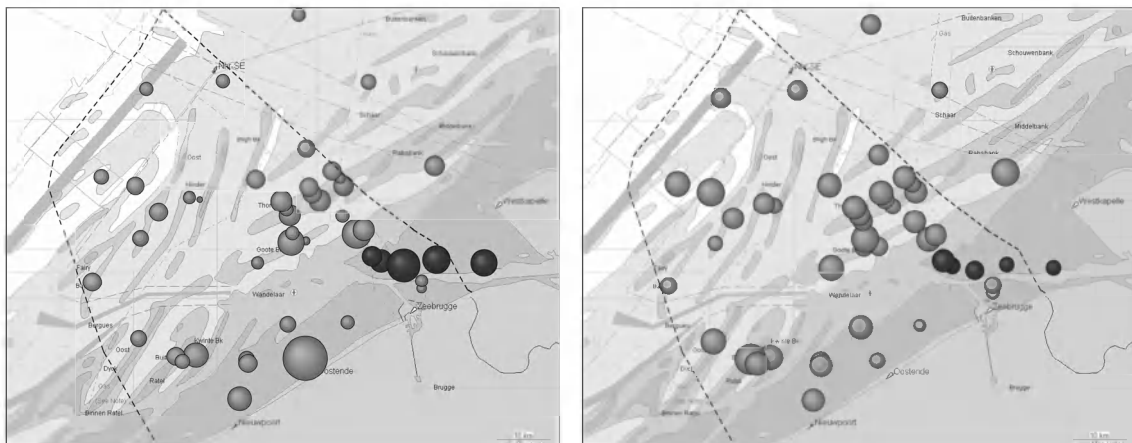


Fig. 13. Ruimtelijke verspreiding van de demersale visfauna op het BCP, gebaseerd op een gemiddelde voor 2005. Links densiteit (5 - 180ind.1000m²), rechts soortenrijkdom (9 - 24 soorten).

Ook op de meeste toppen van de Vlaamse en Zeelandbanken lag de densiteit in 2005 lager dan in de geulen er rond. Voor Oostende werd een uitzonderlijk hoge densiteit waargenomen, voornamelijk toe te schrijven aan diverse grondelsoorten. Voor de soortenrijkdom is deze opsplitsing veel minder duidelijk. De soortenrijkdom was vooral in de oostelijke kustzone, maar ook op de 'Vlakte van de Raan' en op de 'Thortonbank' iets lager dan in de andere bemonsterde gebieden.

3.6. Temporele evolutie van de demersale visfauna op de Vlakte van de Raan

3.6.1. Het westelijke deel onder de invloed van stortactiviteiten

Voor de demersale visfauna op loswal S2 (vissleep 7101) lag de densiteit over het algemeen vrij laag met een najaarsgemiddelde van 50 ind.1000m⁻² en piekdensiteiten van 80 tot 130 ind.1000m⁻² (Fig. 14). In het voorjaar lag de densiteit gemiddeld 5 maal lager. In 1996 en 2005 waren de najaarspieken grotendeels toe te schrijven aan grondels *Pomatoschistus* spp., terwijl in de beginjaren van de 21^{ste} eeuw vooral schar *Limanda limanda* aanwezig was, telkens aangevuld met een andere soort: grondels in 2000, schol *Pleuronectes platessa* in 2001 en haring *Clupea harengus* in 2002.

Hoewel grondels in beide seizoenen gemiddeld > 40% van de visgemeenschap uitmaakten (Fig. 15), lag de najaarsdensiteit gemiddelde een grootte-orde hoger dan in het voorjaar. Pas in de laatste jaren werd een onderscheid gemaakt tussen de diverse grondelsoorten, waaruit blijkt dat lozano's grondel *Pomatoschistus lozanoi* iets beter vertegenwoordigd was op loswal S2 dan dikkopje *Pomatoschistus minutus*.

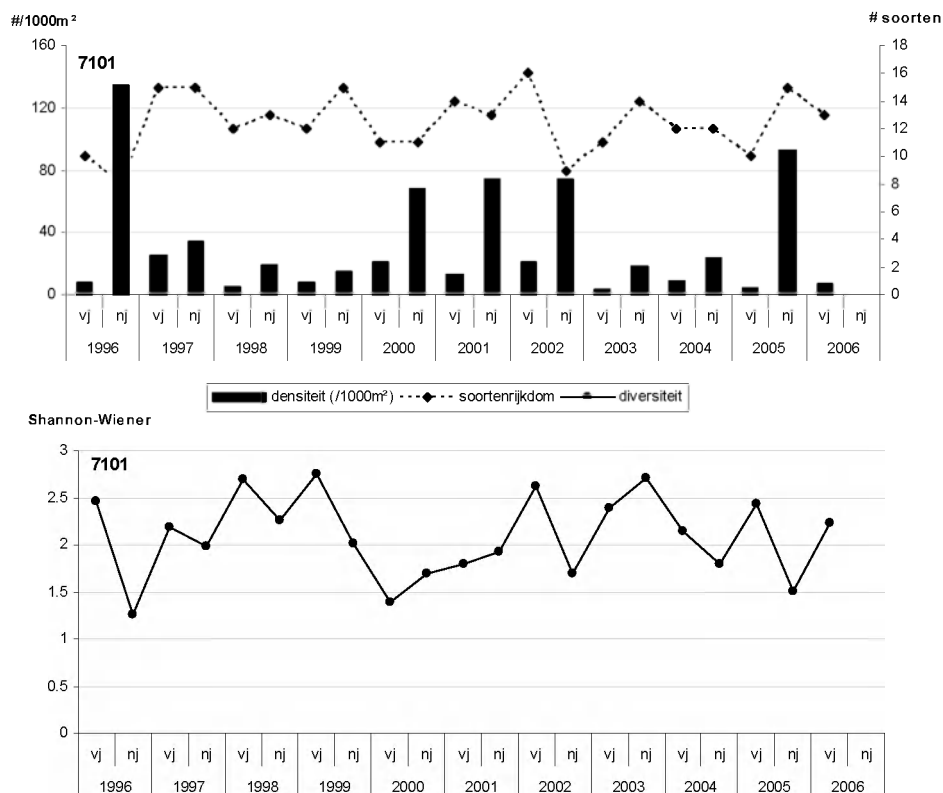


Fig. 14. Verloop van de densiteit (per 1000m⁻²), het aantal soorten en de Shannon-Wiener diversiteit voor de demersale visfauna in de periode 1996-2006 (voor- en najaar) voor vissleep 7101.

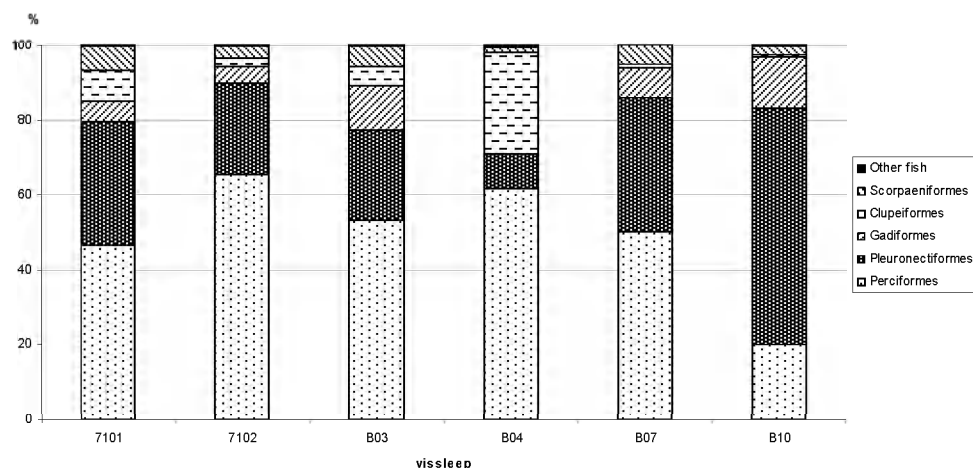


Fig. 15. Procentuele samenstelling van de gemiddelde densiteit per vissleep over de respectievelijke bemonsterde periodes, verdeeld over de belangrijkste demersale vistaxa.

Zoals reeds aangetoond vormden de platvissen de tweede belangrijke groep met $> 30\%$ van de densiteit in beide seizoenen. Tong *Solea solea* kwam gemiddeld met slechts 2 ind.1000m⁻² voor in het najaar. Binnen de kabeljauwachtigen waren vooral wijting *Merlangius merlangus* en steenbolk *Trisopterus luscus* van enig belang (beiden gemiddeld 1 ind.1000m⁻²).

De soortenrijkdom in vissleep 7101 varieerde tussen 9 en 16 vissoorten per seizoen, en bleef eigenlijk vrij stabiel gedurende de laatste 10 jaren. De variatie was vooral toe te schrijven aan meer of minder platvissoorten, die gemiddeld 35% van de soortensamenstelling uitmaakten. Verder was de soortensamenstelling evenredig verdeeld over baarsachtigen en kabeljauwachtigen (elk 20%) enerzijds, en haringachtigen, schorpioenvisachtigen en andere vissoorten (elk 10%). De Shannon-Wiener diversiteit schommelde tussen 1.5 en 2.5, en was gewoonlijk veel hoger in het voorjaar, met vooral in het begin van de jaren 2000 enkele uitzonderingen.

Sinds 2005 wordt ook een vissleep uitgevoerd net naast loswal S2 (7102). Ook hier waren *Pomatoschistus* spp. en *L. limanda* de belangrijkste soorten. In deze vissleep was *S. solea* wel iets abundanter dan in de loswal zelf. Verder waren de soortenrijkdom, soortensamenstelling en densiteit grotendeels vergelijkbaar met de waarden in vissleep 7101.

3.6.2. Het middengedeelte tussen loswal S2 en de grens (vissleepen B03, B04 en B07)

Ook voor vissleep B03 lag de gemiddelde najaarsdensiteit rond 50 ind.1000m⁻², wat een grootte-orde hoger was dan in het voorjaar (Fig. 16). Enkel in het najaar van 2005 werd een hoge densiteit van 170 ind.1000m⁻² genoteerd, ook hier was dit quasi volledig toe te schrijven aan *Pomatoschistus minutus* en *Pomatoschistus lozanoi*. In het najaar van 2000 en 2002 waren daarnaast vooral *Trisopterus luscus* en *Clupea harengus* de meest voorkomende soorten. *Merlangius merlangus* was hier minder aanwezig dan in vissleep 7101 en ook *Limanda limanda* kwam er bijna niet voor. De piek in het najaar van 2003 was vooral toe te schrijven aan *Pleuronectes platessa* en *Solea solea*. In deze vissleep werden ook stekelrog *Raja clavata* en een hoger aantal grote zeenaald *Syngnathus acus* genoteerd.

De soortenrijkdom varieerde tussen 6 en 18 vissoorten, met telkens de hoogste waarden in het najaar, toe te schrijven aan een toename binnen alle taxonomische groepen. De procentuele verdeling over de verschillende grotere groepen was wel gelijkaardig als in vissleep 7101. Ook voor de diversiteit was er meer variatie in B03 (variërend tussen 1 en 3) en was er meestal geen duidelijk verschil tussen voor- en najaar. Tussen 1999 en 2002 was de trend wel gelijklopend als in vissleep 7101.

Sinds het voorjaar van 2006 werd de staalname op B03 stopgezet en werd vissleep B04 bemonsterd. De waarden voor densiteit en soortenrijkdom waren er vergelijkbaar met deze voor het voorjaar in B03 (Fig. 16).

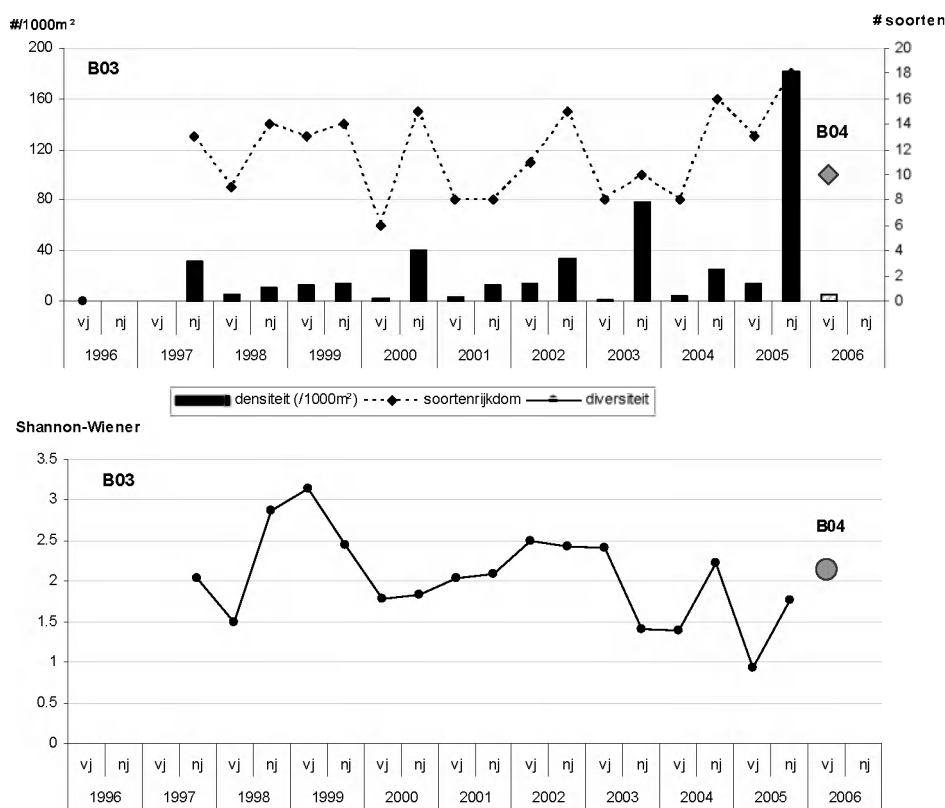


Fig. 16. Verloop van de densiteit (per 1000m²), het aantal soorten en de Shannon-Wiener diversiteit voor de demersale visfauna in de periode 1997-2005 (voor- en najaar) voor vissleep B03, en voorjaar 2006 voor B04.

Voor vissleep B07 lagen de najaarsdensiteiten vooral eind jaren negentig 2 à 3 maal hoger dan in B03 (Fig. 17). Net als in de vorige vissleepen was de densiteit veel hoger in de meeste najaarscampagnes. Enkel in 2001 en mogelijks ook 2002 bleven de waarden laag. Opnieuw waren bijna alle najaarspieken toe te schrijven aan *Pomatoschistus* spp., behalve in 2000 en 2004 waar *Pleuronectes platessa* en *Solea solea* zorgden voor hoge najaarsdensiteiten. Net als in B03 kwam *Limanda limanda* bijna niet voor in B07. Ook de haringachtigen (vooral sprot *Sprattus sprattus*) werden hier slechts sporadisch in het voorjaar genoteerd.

De soortenrijkdom bleef iets lager en varieerde tussen 6 en 15 vissoorten, met over het algemeen hogere waarden in het najaar. De diversiteit was ook hier sterk uiteenlopend (tussen 0.7 en 2.9), waarbij de grote verschillen meestal te wijten waren aan lage waarden in het najaar, met uitzondering van 2005. De verhouding qua soortensamenstelling over alle jaren heen was wel vergelijkbaar met de andere stations.

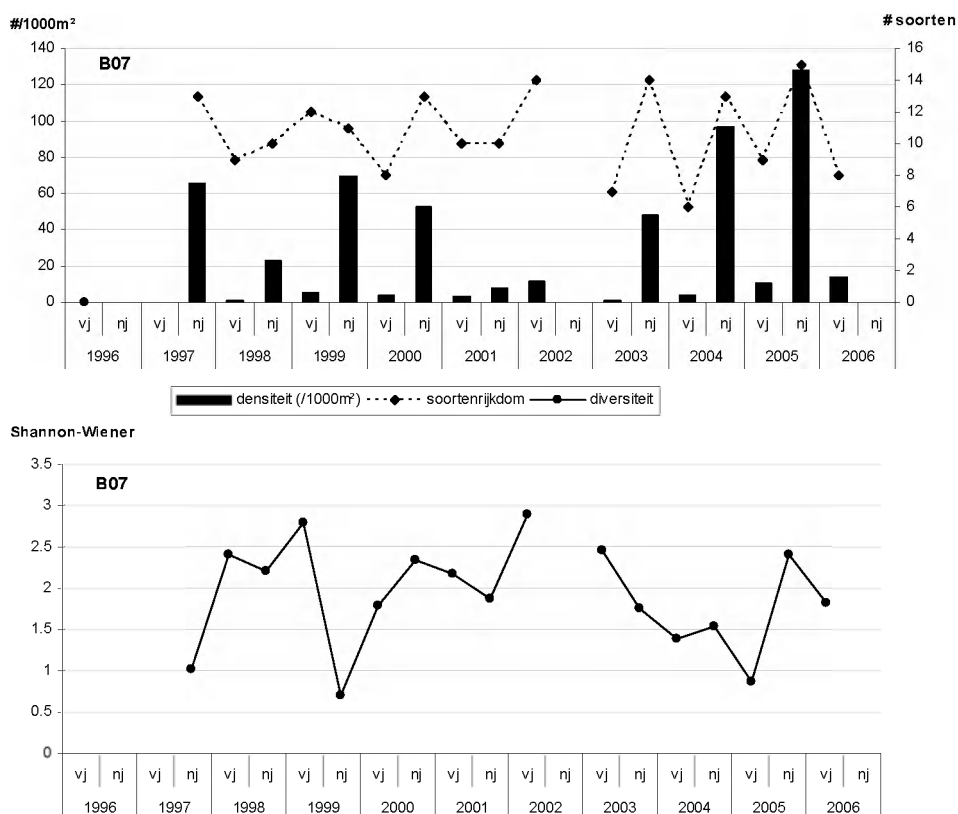


Fig. 17. Verloop van de densiteit (per 1000m²), het aantal soorten en de Shannon-Wiener diversiteit voor de demersale visfauna in de periode 1997-2006 (voor- en najaar) voor vissleep B07.

3.6.3. Het Nederlandse deel rond de 'Vlakte van de Raan' (B10)

Voor vissleep B10 lag de najaarsdensiteit gemiddeld iets lager (40 ind.1000m²) dan in de overige vissleepen, terwijl de voorjaarsdensiteit vergelijkbaar rond 5 ind.1000m² bleef (Fig. 18). Zoals reeds voor de andere ecosysteemcomponenten vermeld was 2005 een uitzonderlijk jaar en werden ook hier, net zoals in de andere vissleepen de hoogste densiteiten genoteerd in najaar van 2005. In tegenstelling tot de andere vissleepen waren *Pomatoschistus* spp. (behalve in 2005) veel minder abundant in vissleep B10 (< 20% van de totale densiteit). De hogere najaarsdensiteiten werden hier vooral ingenomen door *Solea solea*, aangevuld met *Pleuronectes platessa* in 2000 en 2003 en *Trisopterus luscus* in de meeste jaren. Nog in tegenstelling tot de andere vissleepen was harnasmannetje *Agonus cataphractus* veel minder aanwezig in vissleep B10.

De soortenrijkdom varieerde tussen 5 en 17 vissoorten met meestal de laagste waarden in het voorjaar. Ook de procentuele verdeling over de grotere taxonomische groepen was vergelijkbaar met de andere vissleepen. De diversiteit schommelde ook hier tussen 0.7 en 2.5 met lagere waarden in het voorjaar in de periode vóór 2000 en omgekeerd daarna.

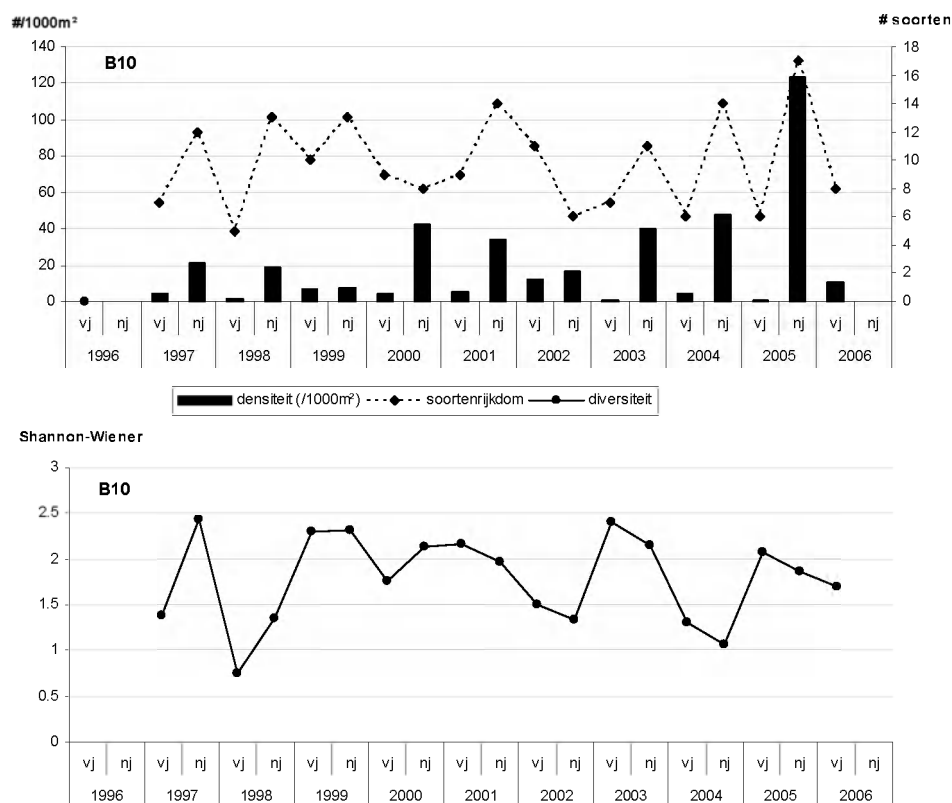


Fig. 18. Verloop van de densiteit (per 1000m²), het aantal soorten en de Shannon-Wiener diversiteit voor de demersale visfauna in de periode 1997-2006 (voor- en najaar) voor vissleep B10.

3.6.4. Temporeel verloop voor enkele commerciële vissoorten

Op basis van het najaarsgemiddelde voor 4 stations op de 'Vlakte van de Raan', genomen uit de DYFS-dataset verzameld met de Broodwinner, werden voor 4 commerciële soorten tijdsreeksen opgesteld over de periode 1976-2005 (Fig. 19). Hieruit blijkt dat voor juveniele tong *Solea solea* de densiteiten over het algemeen vrij laag waren gedurende de laatste 15 jaren in vergelijking met de hoge waarden die in de periode 1978-1985 werden genoteerd voor de 0-cohorte. Ook voor schar *Limanda limanda* waren de najaarsdensiteiten lager in het laatste decennium, met uitzondering van een eenmalige piek in 2001-2002. Ook in vissleep 7101 werden in die periode hogere waarden genoteerd. Enkel in 1986 werd nog een dergelijke hoge piek gevonden voor juveniele schar. Voor juveniele schol *Pleuronectes platessa* waren de najaarsdensiteiten over het algemeen laag, zeer laag in de periode 1988-1993, en uitzonderlijk hoog in 1985. De hogere waarden die in de hierboven besproken vissleepen werden genoteerd voor de 0- en 1-cohorte van schol in de periode 2000-2004 werden hier niet teruggevonden. Voor wijting *Merlangius merlangus* was de najaarsdensiteit ook vrij laag en min of meer oscillerend over een periode van 2 à 3 jaar. De uitzonderlijke najaarspiek van 2005 werd voor geen enkele commerciële soort teruggevonden op basis van de DYFS-gegevens.

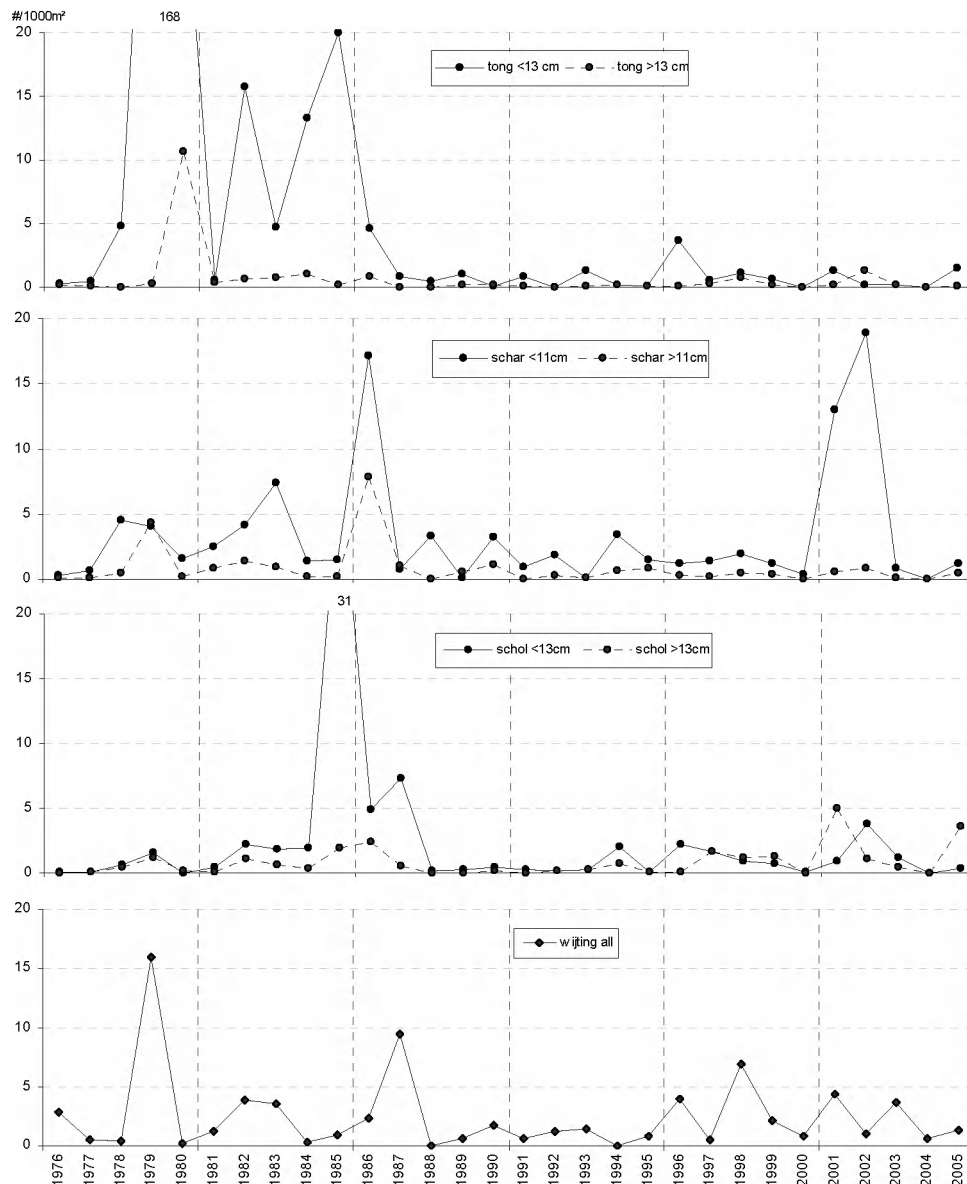


Fig. 19. Verloop van de gemiddelde najaarsdensiteit (per 1000m²) voor 4 commerciële vissoorten in de periode 1976-2005 (gemiddelde voor 4 stations uit de DYFS-Broodwinner).

4. Besluit

Het domein Visserij van het Instituut voor Landbouw- en Visserijonderzoek (ILVO-Visserij, het voormalige Departement voor Zeevisserij) heeft in de loop van drie decennia heel wat gegevens verzameld omtrent het macrobenthos, het epibenthos en de demersale visfauna van het Belgisch Continentaal Plat. Een beperkt aantal staalnamepunten daarvan is gelegen op en in de randzone rond de 'Vlakte van de Raan'.

Het macrobenthos van de 'Vlakte van de Raan' was in vergelijking met de meeste andere gebieden op het Belgisch Continentaal Plat, gekenmerkt door een relatief lage soortenrijkdom (5 à 10 soorten per van Veen) en een relatief lage densiteit. Vooral in de laatste 5 à 6 jaar was de soortenrijkdom en de densiteit laag, hoewel de diversiteit een lichte toename vertoonde in deze periode. De enkele pieken die werden waargenomen in de densiteit werden veroorzaakt door slechts 1 of enkele soorten en waren telkens maar van korte duur. De soortensamenstelling was vergelijkbaar in alle staalnamepunten op de 'Vlakte van de Raan'.

De belangrijkste soorten waren *Nephtys cirrosa*, *Ensis directus* en *Bathyporeia* spp. Daarnaast kwamen ook nog diverse andere borstelwormen af en toe abundant voor. Er was een zichtbare invloed van de heersende stortactiviteiten op het macrobenthos, maar die bleef heel lokaal.

Het epibenthos op en rond de 'Vlakte van de Raan' vertoonde, in tegenstelling tot de arme offshore zone, een relatief hoge densiteit vergelijkbaar met de westelijke kustzone. Grijs garnaal *Crangon crangon* was in bijna alle visslepen de belangrijkste epibenthische soort op de 'Vlakte van de Raan', op afstand gevolgd door enkele tweekleppigen, gewone zwemkrab *Liocarcinus holsatus* en gewone slangster *Ophiura ophiura*. Op enkele uitzonderingen na werden in het najaar veel hogere densiteiten waargenomen dan in het voorjaar. Voor vissleep B07 lag de densiteit wel een grootte-orde hoger dan voor de rest van de 'Vlakte van de Raan', vooral te wijten aan opeenvolgende pieken voor diverse tweekleppigen, o.a. halfgeknotte strandschelp *Spisula subtruncata*, witte dunschaal *Abra alba*, Amerikaanse zwaardschede *Ensis directus* en nonnetje *Macoma balthica*. Het epibenthos was gekenmerkt door een relatief hoge soortenrijkdom zowel op de 'Vlakte van de Raan' als op de rest van het BCP, gelijkmatig verdeeld over krabben, weekdieren, garnalen en stekelhuidigen. De soortenrijkdom oscilleerde tussen 4 en 18 soorten per vissleep in een niet-eenduidig 3 à 4-jarig patroon, waarbij de variatie meestal te vinden was in de groep van de krabben en de tweekleppigen. Ook de diversiteit van het epibenthos vertoonde voor alle visslepen op de 'Vlakte van de Raan' een gelijkaardig patroon, variërend tussen 0.5 en 2.6, met telkens een dieptepunt in 1997 en 2004.

De demersale visfauna op en rond de 'Vlakte van de Raan' vertoonde, ten opzichte van de offshore zone, een relatief hoge densiteit, wat min of meer vergelijkbaar was met de omliggende gebieden op het BCP. Twee grondelsoorten *Pomatoschistus* spp. maakten in bijna alle visslepen ongeveer 50% uit van de visgemeenschap, gevolgd door tong *Solea solea* en schol *Pleuronectes platessa*, en in mindere mate door steenbol *Trisopterus luscus*, haring *Clupea harengus* en harnasmannetje *Agonus cataphractus*. Enkel voor de iets dieper gelegen vissleep B10 waren de platvissen abundanter dan de grondels. Schar *Limanda limanda* was enkel in de beginjaren van de 21e eeuw van enig belang en zandspiering *Ammodytes lanceolatus* kwam quasi niet voor rond de 'Vlakte van de Raan'. De najaarsdensiteiten lagen steeds een veelvoud hoger ten opzichte van het voorjaar. De demersale visfauna was, in vergelijking met andere gebieden op het BCP, gekenmerkt door een iets lagere soortenrijkdom. De soortenrijkdom oscilleerde tussen 5 en 17 soorten per vissleep in een seizoenaal patroon, met meestal hogere waarden in het najaar. Ook de diversiteit vertoonde voor de meeste visslepen op en nabij de 'Vlakte van de Raan' een gelijkaardig patroon, variërend tussen 0.5 en 3.0.

Op basis van deze gegevens kan gesteld worden dat de 'Vlakte van de Raan' (en de randzone) vooral voor het epibenthos en de demersale visfauna een relatief rijk gebied is. Vooral garnalen, krabben, tweekleppigen, grondels en platvissen komen er in vrij hoge aantallen voor. Het is onduidelijk waarom op basis van de 'Demersal Young Fish Survey' de hogere waarden (en de piekdensiteiten in het najaar 2005) voor de 0- en 1-cohorte van vier commerciële vissoorten niet konden worden bevestigd. Toch blijft ons inziens de keuze om er een natuurgebied van te maken verantwoord, maar gezien het belang van de randzone, was het misschien beter geweest om ook een stuk van die rand/geul mee te nemen als te beschermen zone.

