

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), Koringaweg 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); Cattrijsse *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 schaaaf gebruikt bij schelpdierinventarisaties (Wageningen IMARES), ondermeer in de Zeeuwse en Zuidhollandse kustzone (van Stralen, 1992; Craeymeersch en van der Land, 1998). De schaaaf 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 schaaaf 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 schaaaf 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 grijper (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 (individuen 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 (individuen 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.

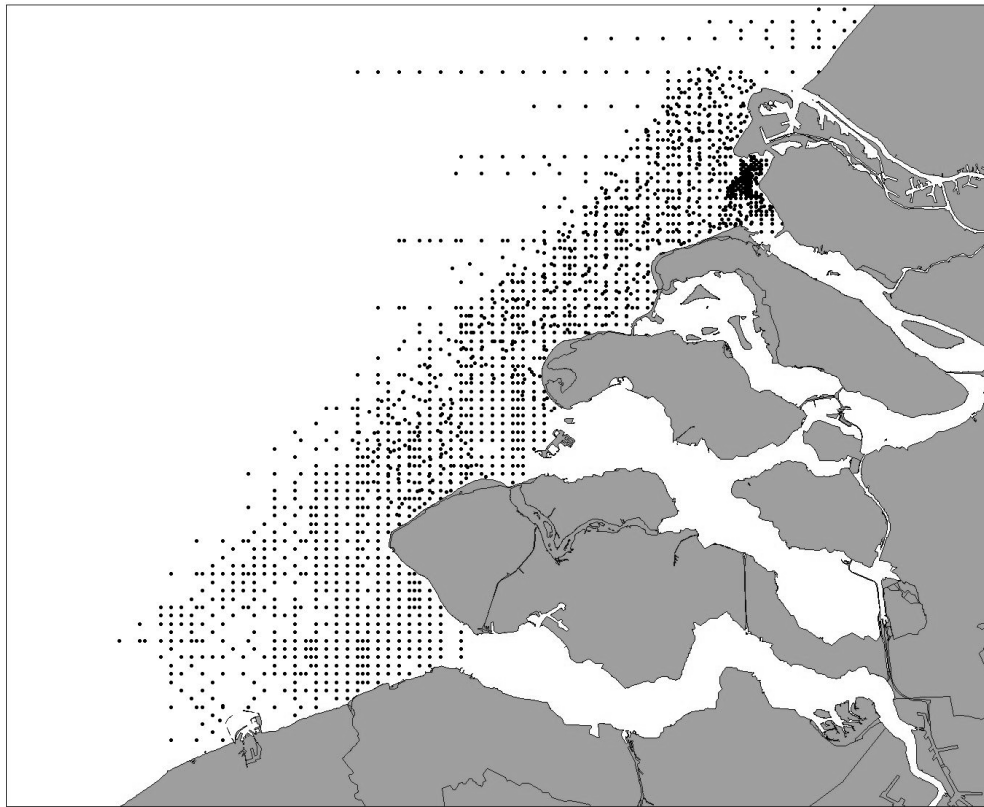


Fig. 3. Overzicht van alle met een gesleept vistuig bemonsterde locaties in de periode 1993-2005.

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).

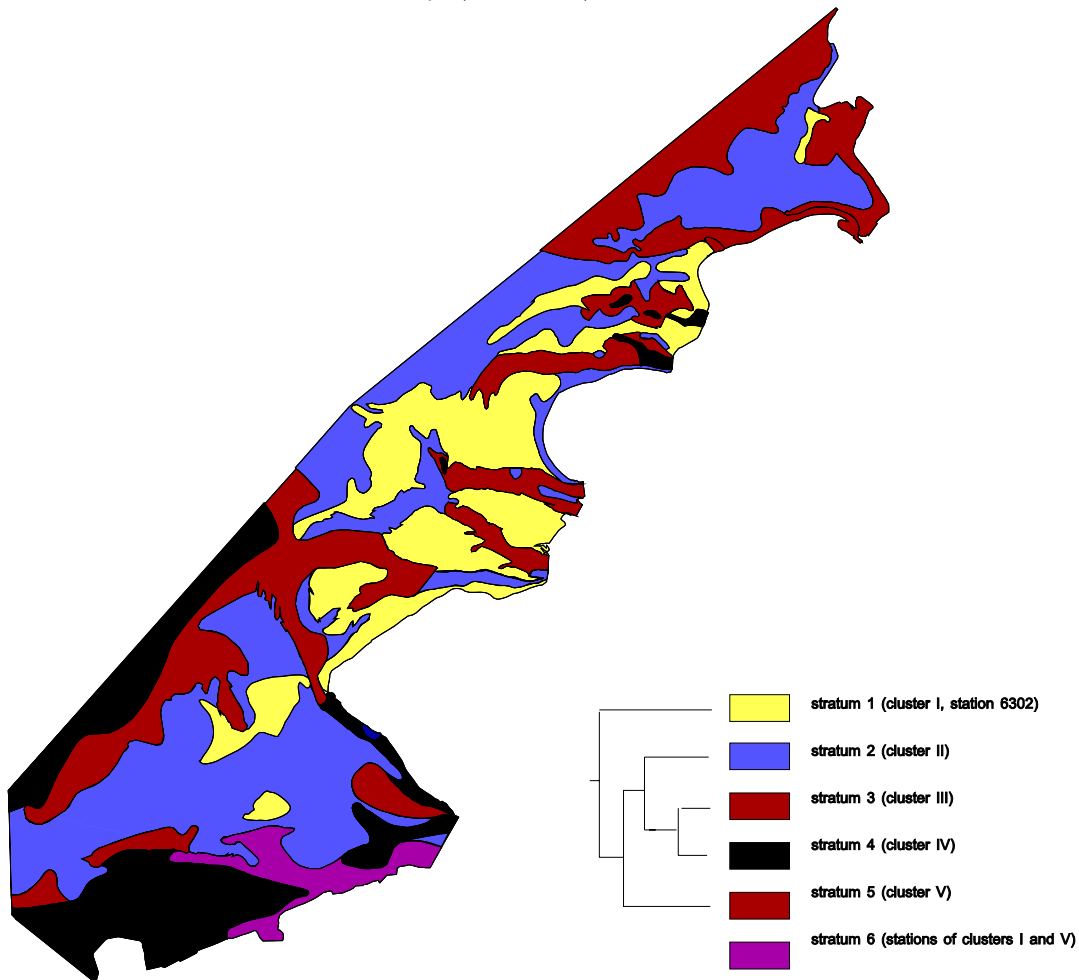


Fig. 4. Ruimtelijke variatie van het benthos: strata onderscheiden op basis van de endobenthische macrofauna (naar Craeymeersch *et al.*, 1990a) [dataset box-corer].

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).

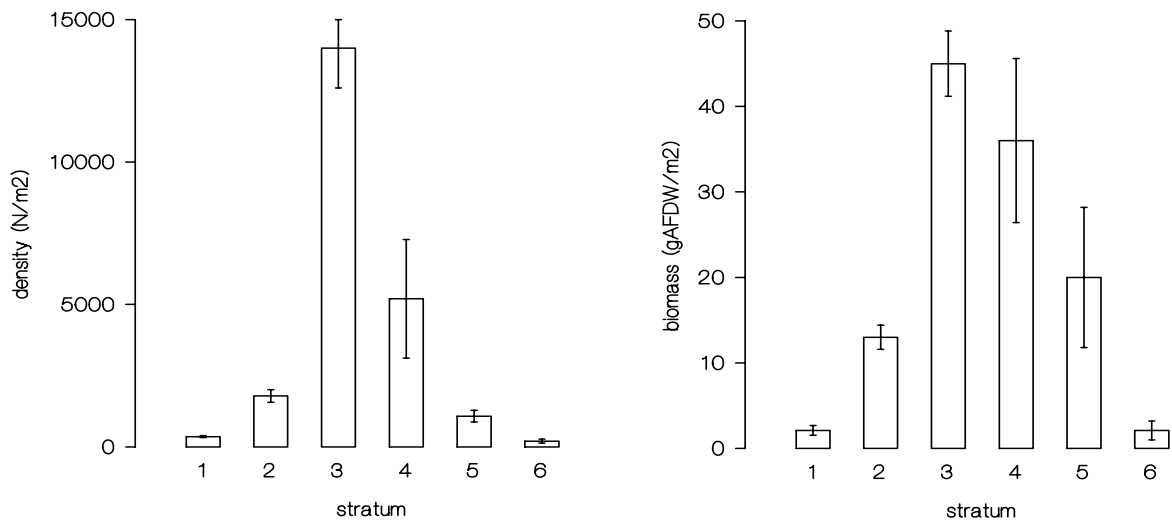


Fig. 5. Gemiddelde dichtheid (ind.m⁻²) en biomassa (gADW.m⁻²), en standaardfout van het gemiddelde per stratum (naar Craeymeersch *et al.*, 1990a) [dataset box-corer].

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 Haringvlietsluizen 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.

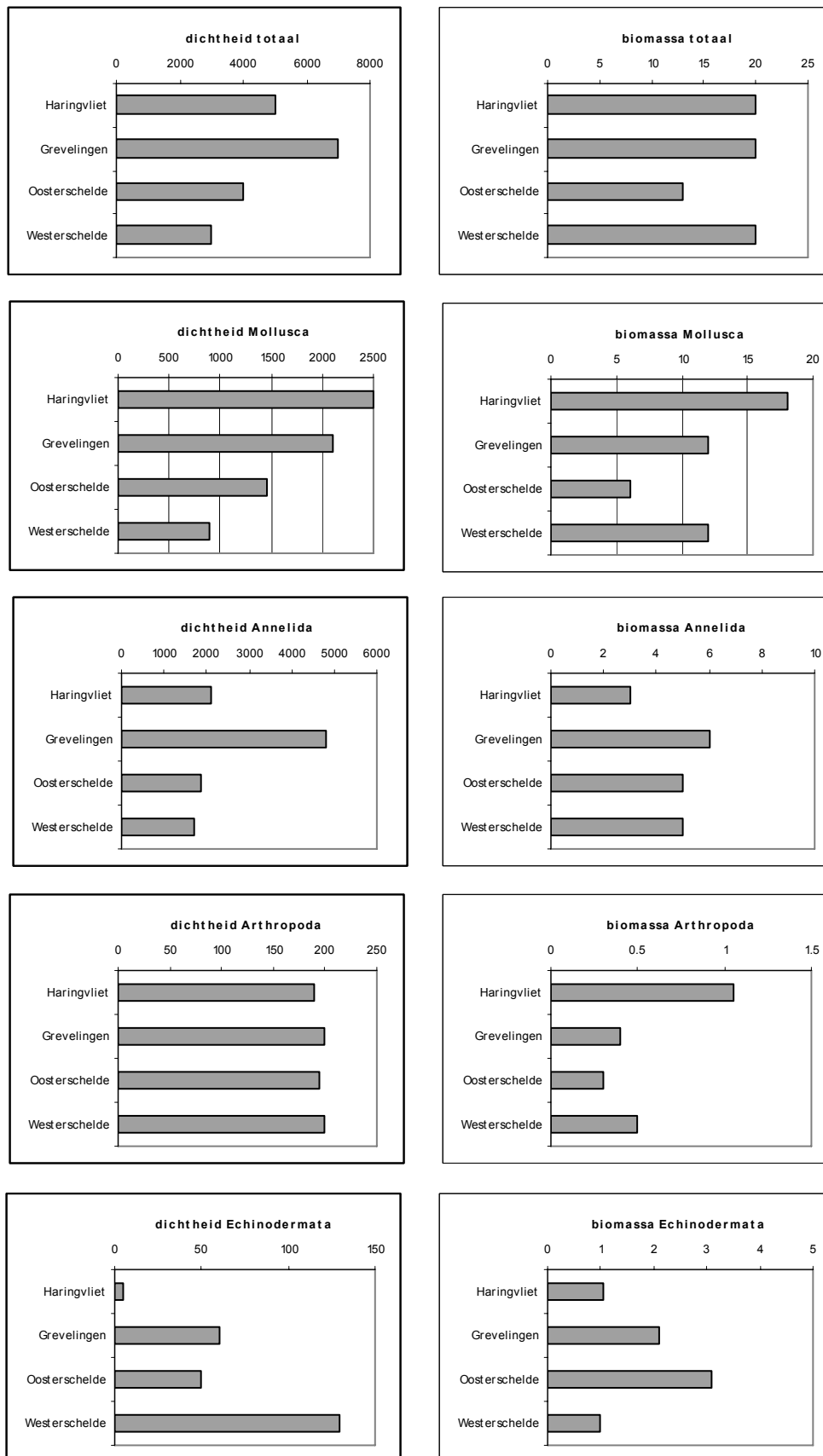


Fig. 6. Vergelijking van de buitendelta's van Westerschelde, Oosterschelde, Grevelingen en Haringvliet naar gemiddelde dichtheid (ind.m⁻²) en gemiddelde biomassa (gADW.m⁻²) van de verschillende taxonomische groepen (Craeymeersch *et al.*, 1990a) [dataset box-corer].

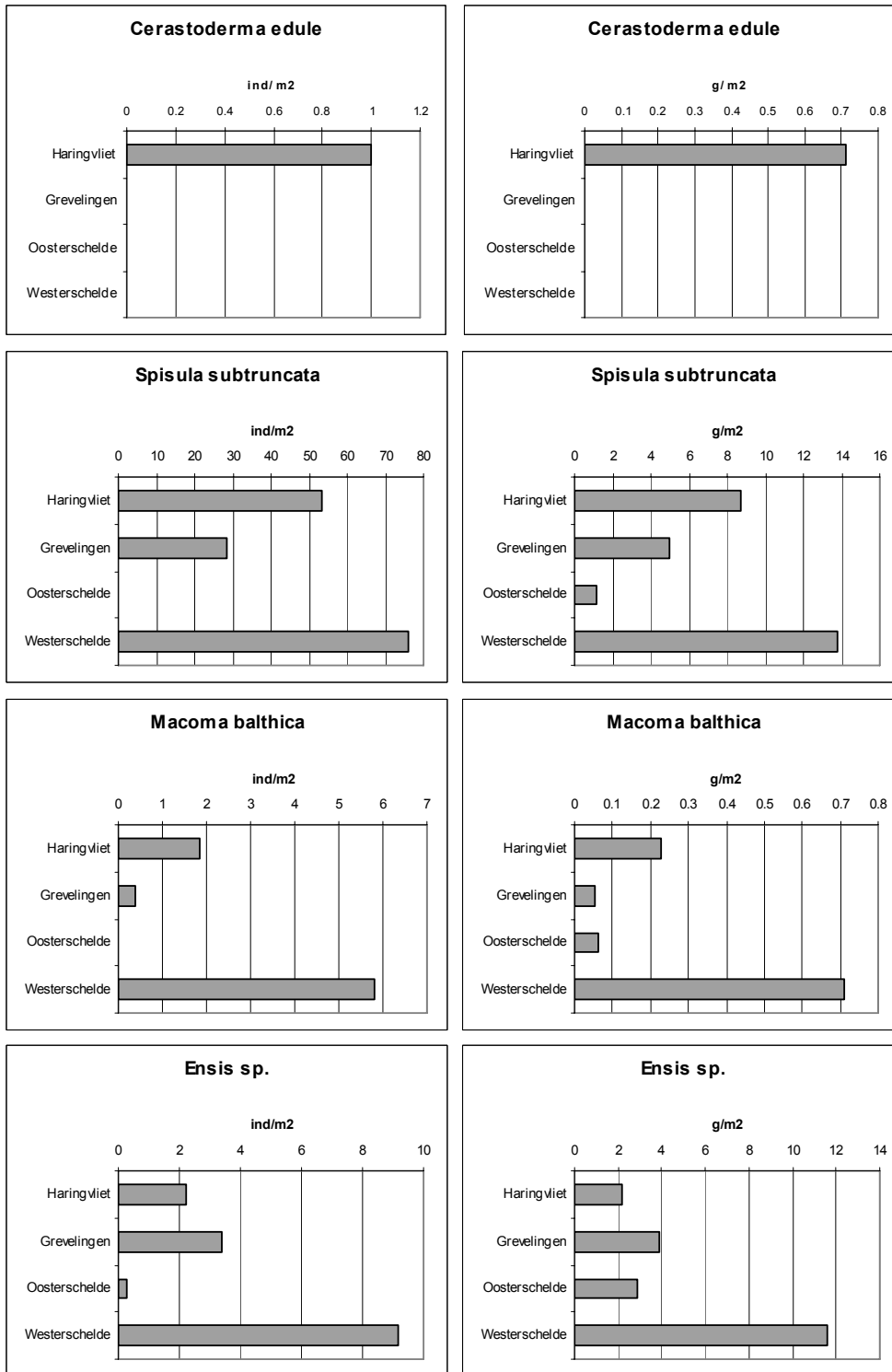


Fig. 7. Gemiddelde dichtheid (ind.m⁻²) en biomassa (g versgewicht.m⁻²) van de kokkel *Cerastoderma edule*, de halfgeknotte strandschelp *Spisula subtruncata*, het nonnetje *Macoma balthica* en mesheften *Ensis sp.* in de vier buitendelta's in de periode 1993-1997 (naar Craeymeersch, 1999) [dataset bodemschaaf].

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.

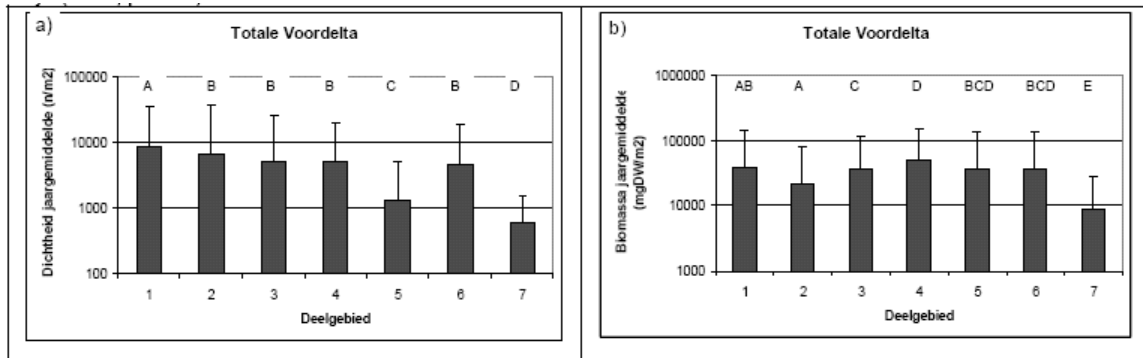


Fig. 8. Totale dichtheid (ind.m^{-2}) en biomassa (gADW.m^{-2}) in de 7 deelgebieden (zie Fig. 2), weergegeven als jaargemiddelde + standaarddeviatie over de periode 1962-2004. Significante verschillen zijn aangegeven met letters, waarbij overeenkomstige letters voor deelgebieden aanduiden dat er geen 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 rechtsgestreepte 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 rechtsgestreepte 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.

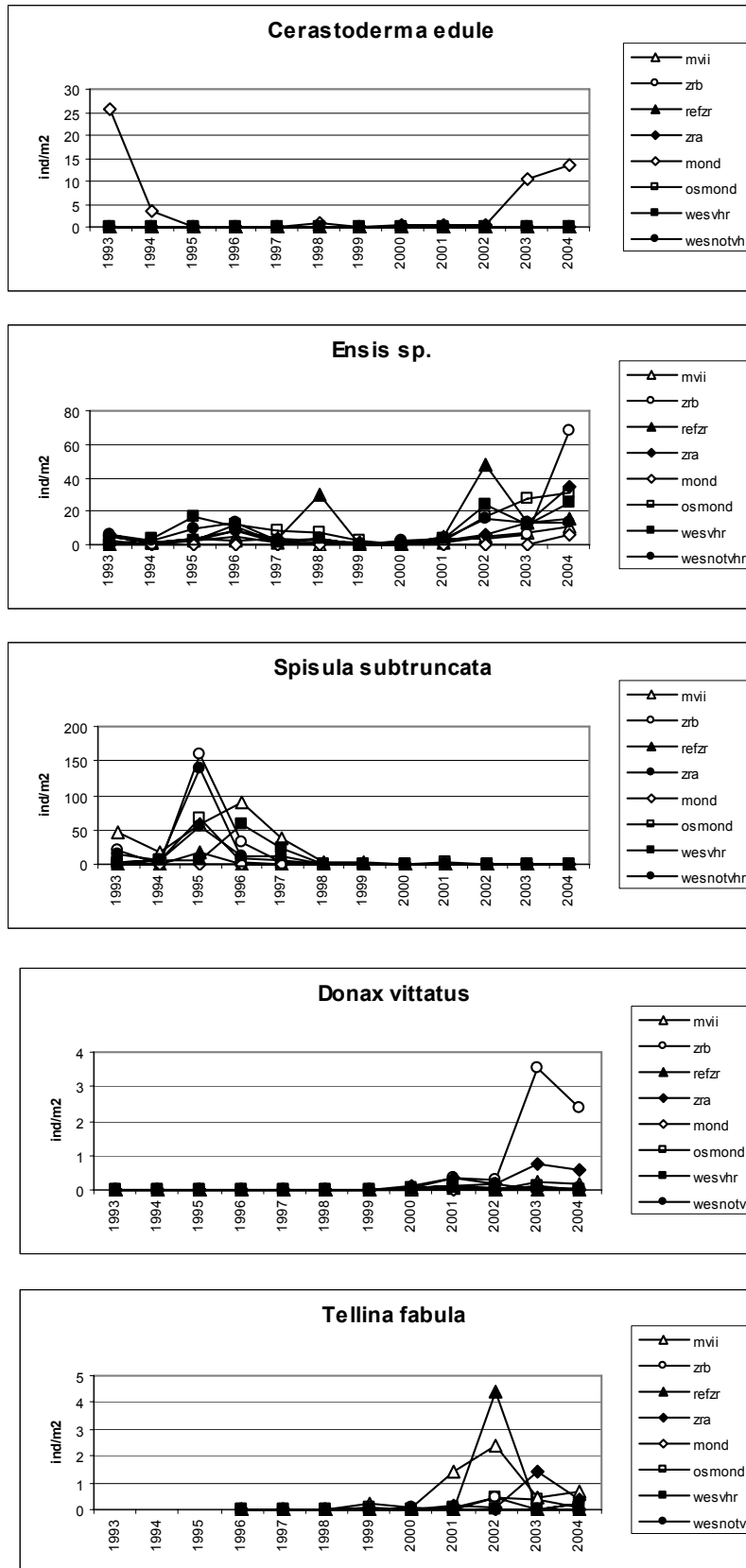


Fig. 9. Gemiddelde dichtheid (ind.m⁻²) van de kokkel, het zaagje, mesheften, de rechtsgestreepte platschelpen de halfgeknotte strandschelp in de 8 deelgebieden (wesvhr en wesnotvhr gesitueerd in de buitendelta Westerschelde; data *T. fabula* vanaf 1995) (naar Craeymeersch & Wijsman 2006) [dataset bodemschaaf].

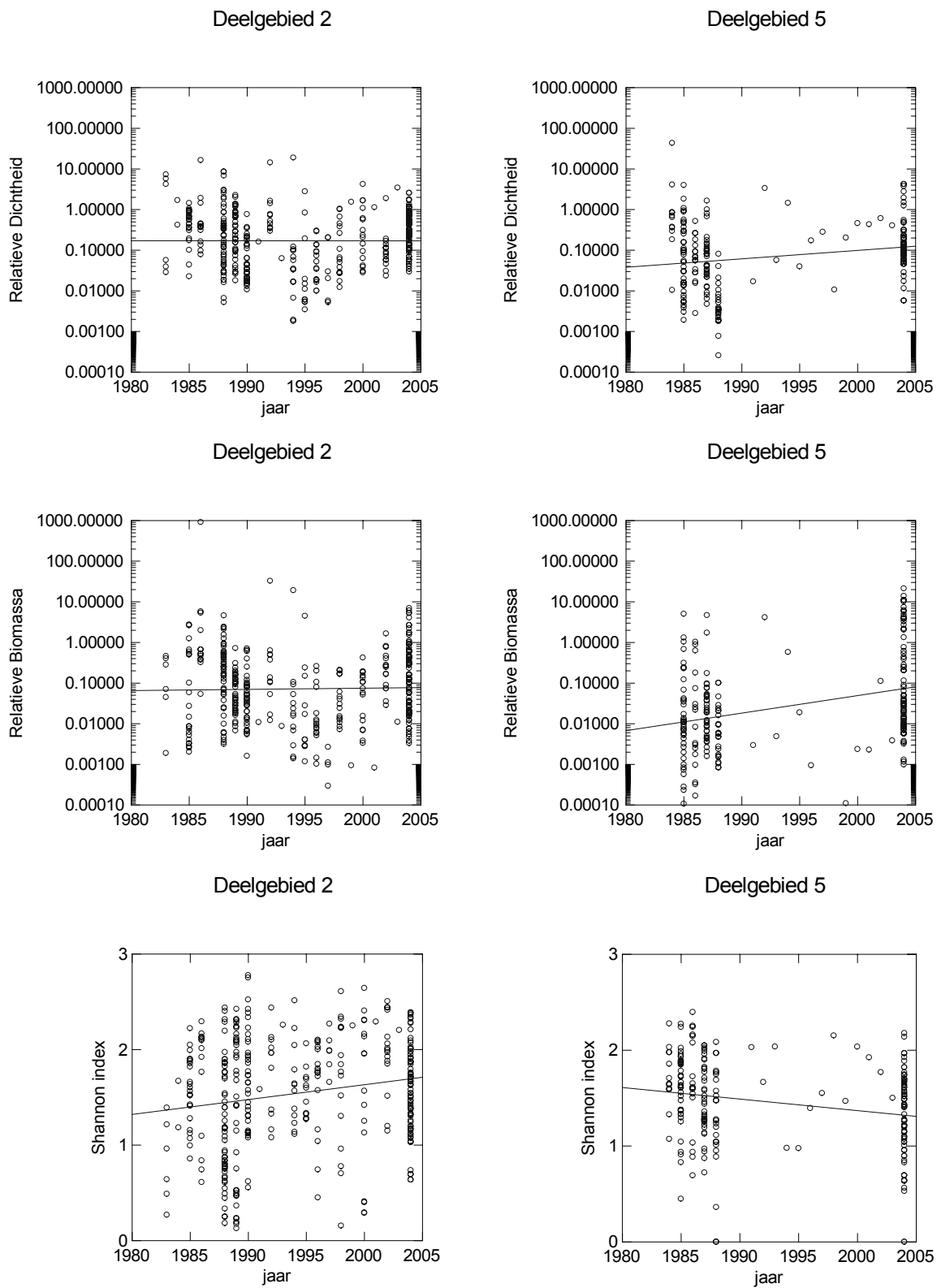


Fig. 10. Trends in totale dichtheid, totale biomassa en diversiteit (Shannon) in deelgebieden 2 en 5 (zie Fig. 2) (naar Wijnhoven *et al.*, 2006) [dataset box-corer].

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 (Westerscheldemonding) 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.

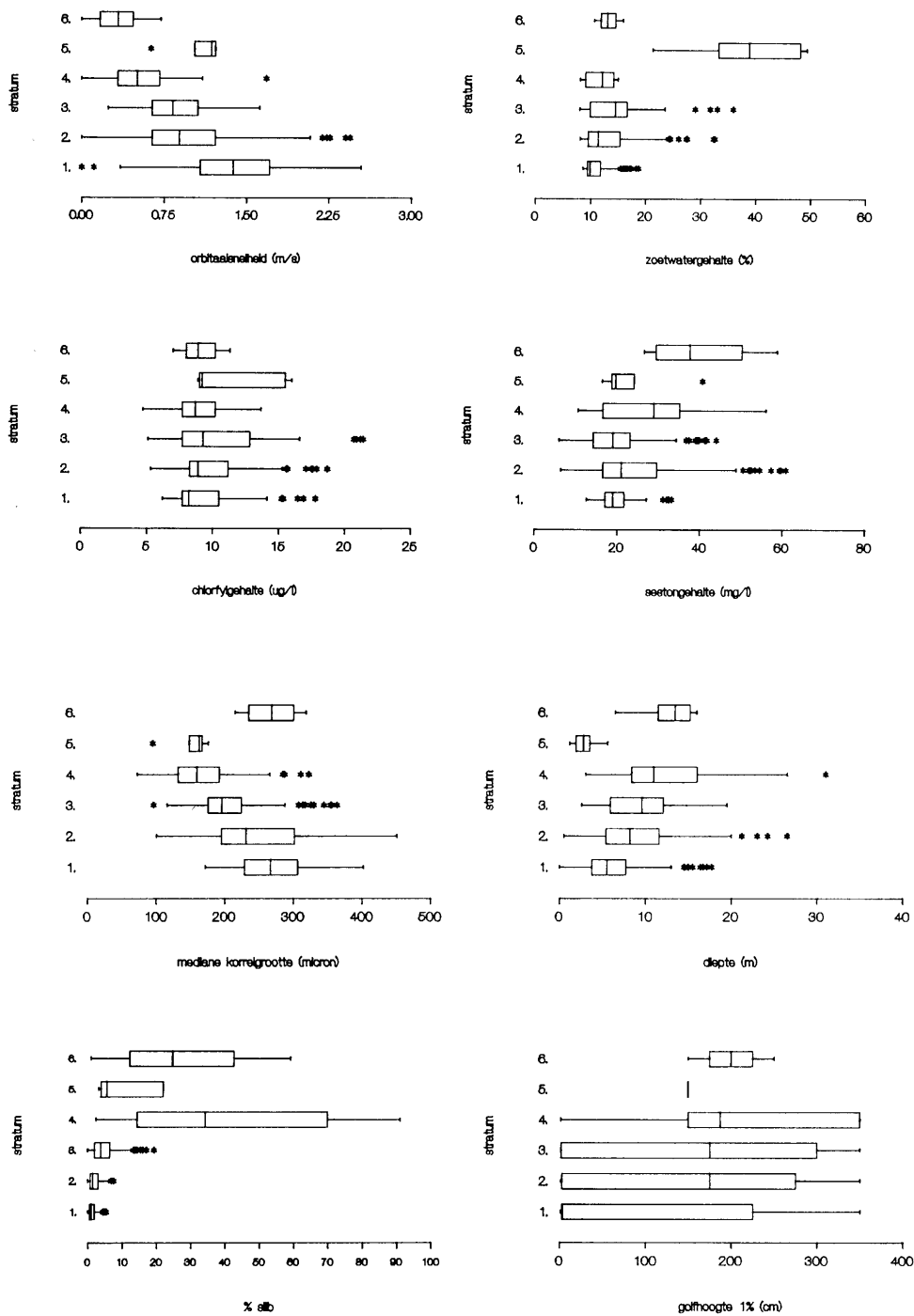
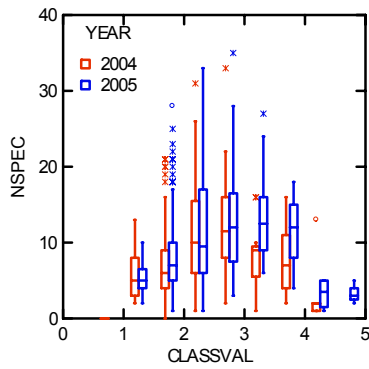
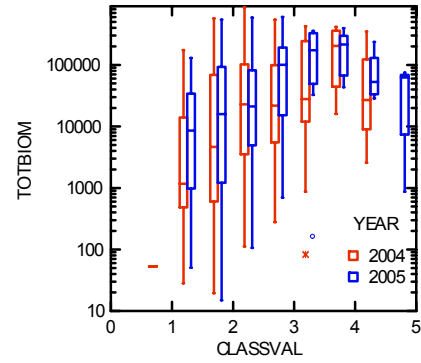


Fig. 11. Vergelijking van de zes macrobenthosstrata (Fig. 4) naar mediane korrelgrootte, siltgehalte, diepte, significante golfhoogte, orbitaalnelheid aan de bodem, en het chlorofyl-, seston- en zoetwatergehalte van het water (Craeymeersch *et al.*, 1990b).

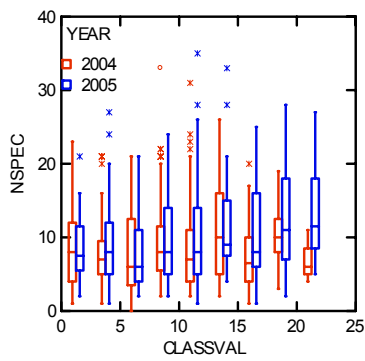
Mediane korrelgrootte
(phi)



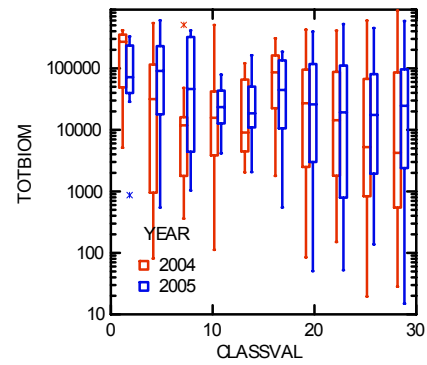
Mediane korrelgrootte
(phi)



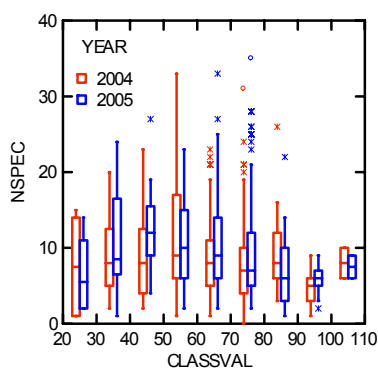
Diepte
(m)



Zoutgehalte
(ppt)



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



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

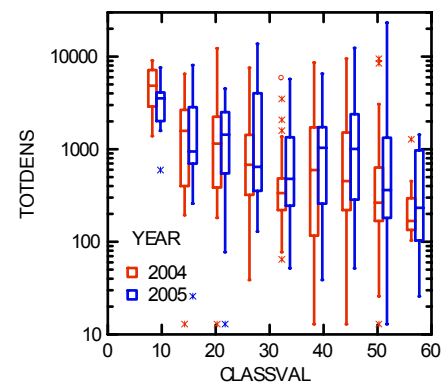


Fig. 12. Aantal soorten, totale dichtheid en totale biomassa vs. een aantal omgevingsvariabelen: mediane korrelgrootte, diepte, zoutgehalte, maximum stroomsnelheid bij gemiddeld tij, gemiddelde stroomsnelheid bij gemiddeld tij. Zie Steenbergen en Escaravage (2006) voor alle figuren [dataset box-corer].

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 slibgehaltenes, 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 slibgehalten 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 slibgehalten 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 slibgehalten, 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 mogelijks 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 zeegeaten 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 ekologisehe ontwikkeling van de Voordelta. Deelrapport 1. De huidige ekologisehe situatie van de Voordelta. Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek - Rijksuniversiteit Gent, Sektie Mariene Biologie. 92 pp.
- Craeymeersch J.A., Hamerlynck O., Hostens K., Vanreusel A. en Vincx M. (1990b). De ekologisehe ontwikkeling van de Voordelta. Deelrapport 2. De autonome ekologisehe ontwikkeling. Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek - Rijksuniversiteit Gent, Sektie 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., Cattrijsse 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. *Oceanologica Acta*, sp. no. 11: 205-211.
- Hamerlynck O., Mees J., Van de Vyver P., Van Landschoote E., Hostens K. En Cattrijsse A. (1990). Eindverslag Hyperbenthosonderzoek Voordelta. Sektie 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 Marine Ecologie, Yerseke.