

# PRIMAIRE PRODUCTIE OP HET KRUISPUNT VAN ESTUARIUM EN KUSTZONE

Koen Sabbe<sup>1</sup>, Koenraad Muylaert<sup>2</sup>, Jacco Kromkamp<sup>3</sup> en Wim Vyverman<sup>1</sup>

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

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

<sup>3</sup> Nederlands Instituut voor Oecologisch Onderzoek, Centrum voor Estuariene en Mariene Ecologie (KNAW-NIOO-CEME), Koringaweg 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.

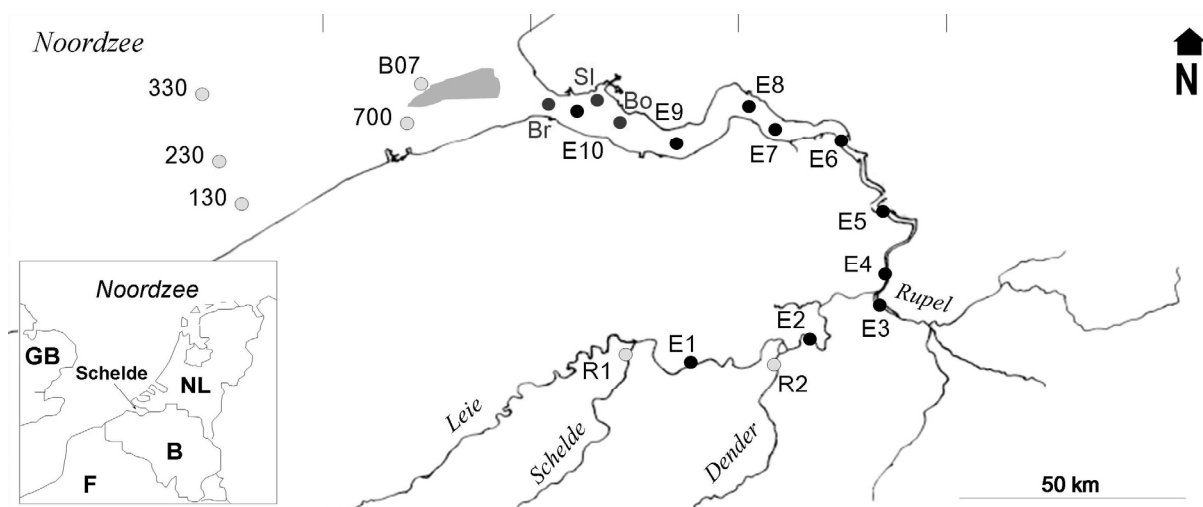


Fig. 1. Kaart van het Schelde-estuarium en de aangrenzende kustzone, met aanduiding van de ligging van de staalnamestations (zie Muylaert *et al.*, 2006 en Muylaert *et al.*, ingediend voor meer details) en de ‘Vlakte van de Raan’ (grijze zone).

## 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.

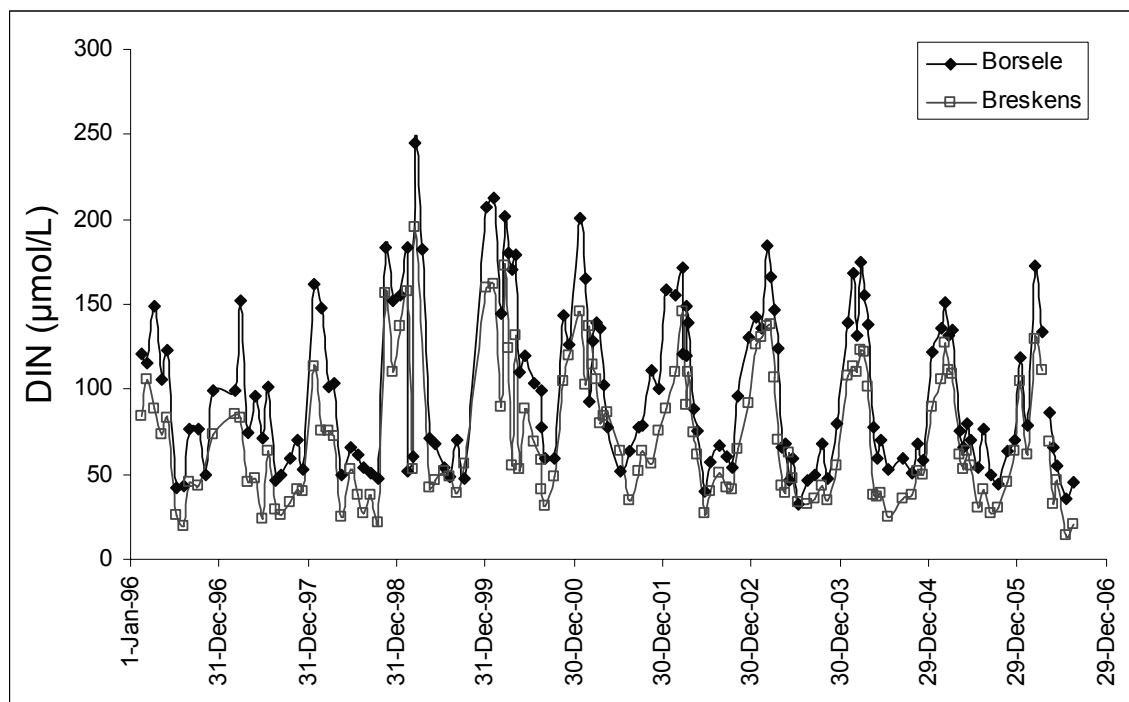


Fig. 2. Opgeloste anorganisch stikstof (DIN =  $\text{NO}_3 + \text{NO}_2 + \text{NH}_4$ ) voor de stations Borsele en Breskens.

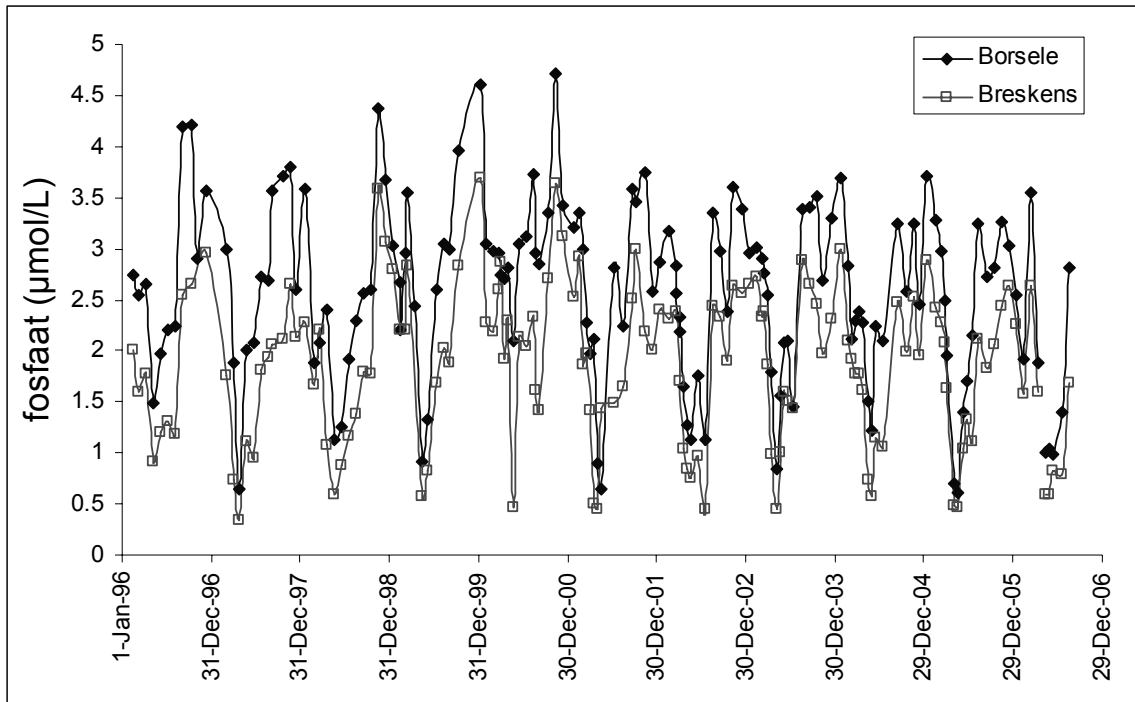


Fig. 3. Opgeloste anorganisch fosfaat voor de stations Borsele en Breskens.

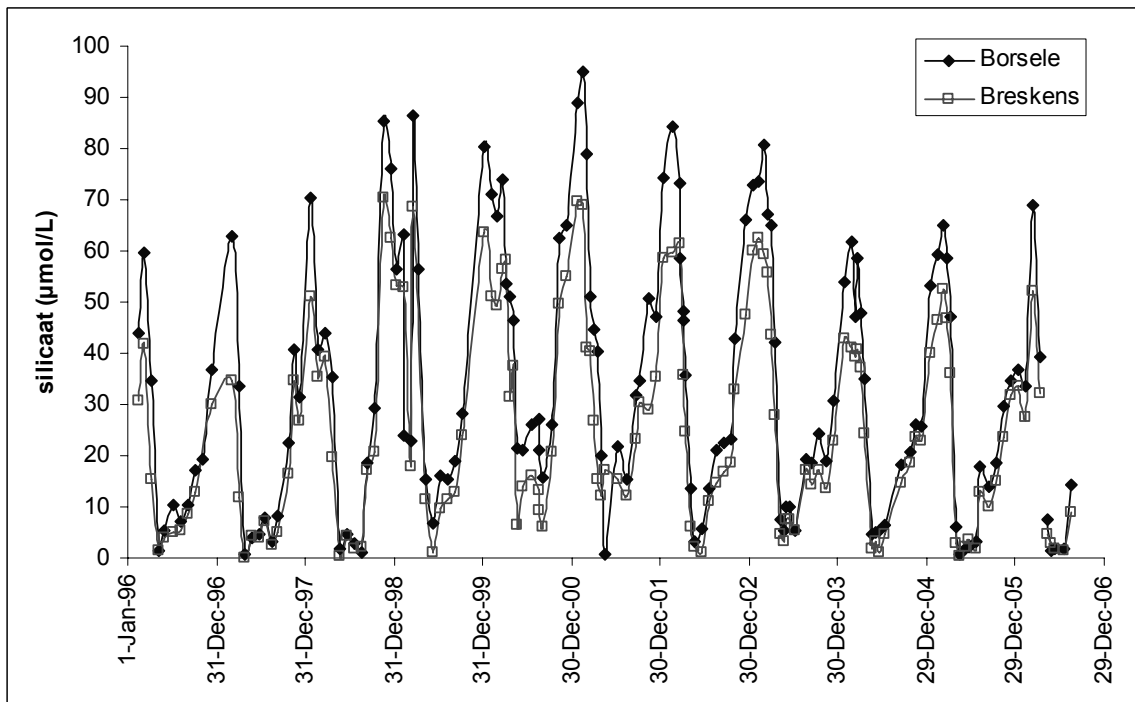


Fig. 4. Opgeloste silicaat voor de stations Borsele en Breskens.

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<sup>-1</sup>) 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 getijstromingen 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 logistische 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 voorjaarsbloeï 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 voorjaarsbloeï 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 voorjaarsbloeï in deze gebieden (zie Muylaert *et al.*, 2006 en verder).

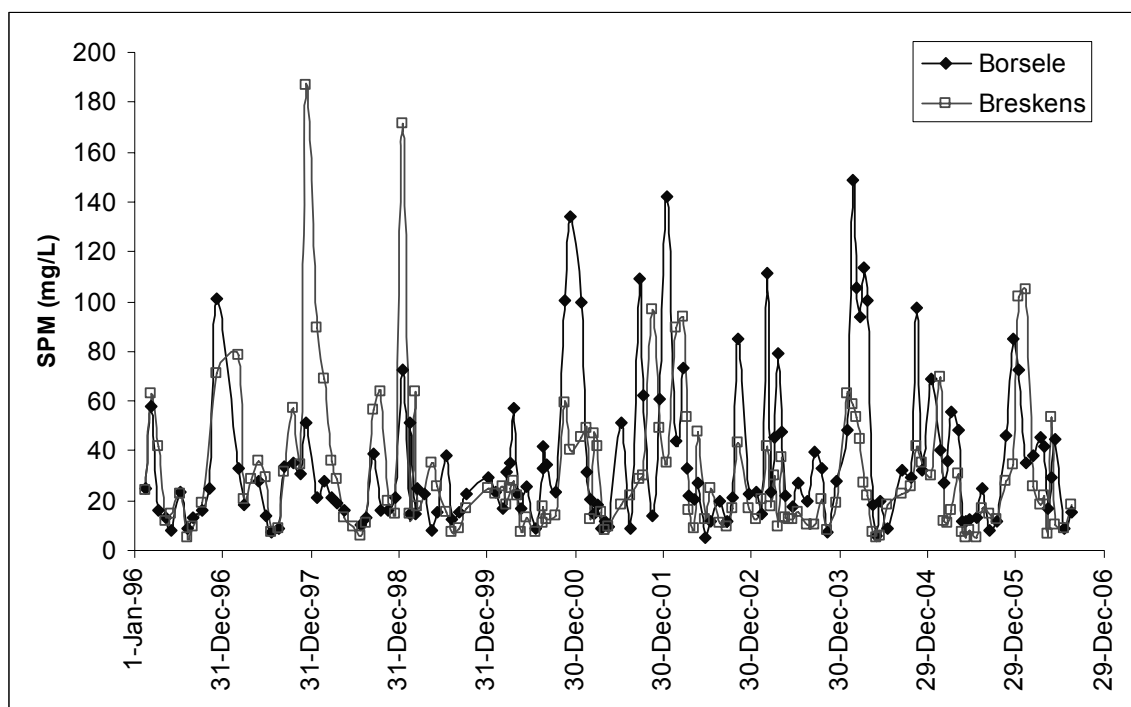


Fig. 5. SPM concentraties voor de stations Borsele en Breskens.

### 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.

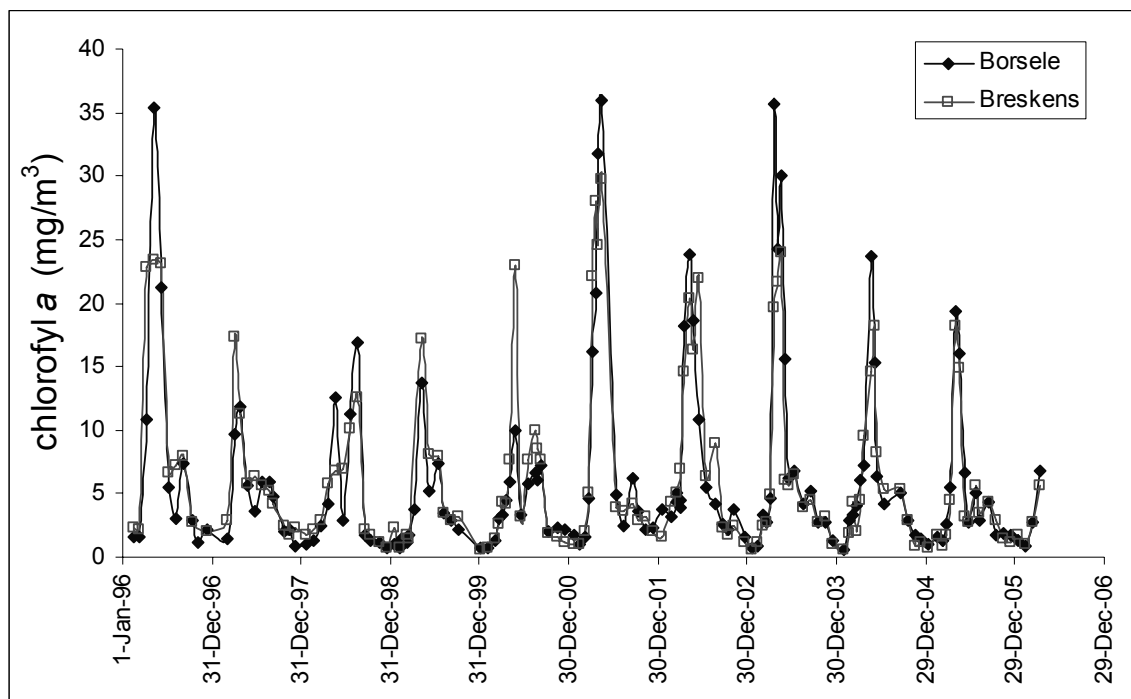


Fig. 6. Dynamiek in fytoplankton biomassa voor de stations Borsele en Breskens.

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):

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

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  $^{14}\text{C}$ -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  $\text{m}^{-2}$ , 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  $^{14}\text{C}$ -methode meet de fotosynthese door de opname van radioactief gelabeld  $\text{CO}_2$  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 ( $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-2}$ ). 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).

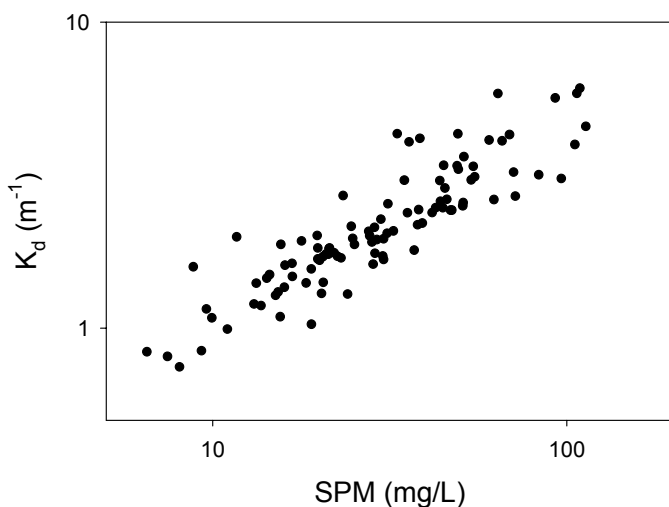


Fig. 7. Verband tussen  $K_d$  en SPM, gebaseerd op data van 1991 en 2001 voor de westelijke stations van de Westerschelde.

De relatie tussen  $K_d$  en SPM is:  $K_d = 0.0403 [SPM] + 0.9092$  ( $r^2 = 0.71$ ). 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<sub>a</sub> concentratie, de totale dagelijkse instraling en de fotische zone ( $\alpha \cdot E_o \cdot [chl_a] \cdot Z_{eu}$ ) uitgezet tegen de dagproducties gemeten met de  $^{14}C$ -methode (data van 1991 en 2001) (Fig. 8).

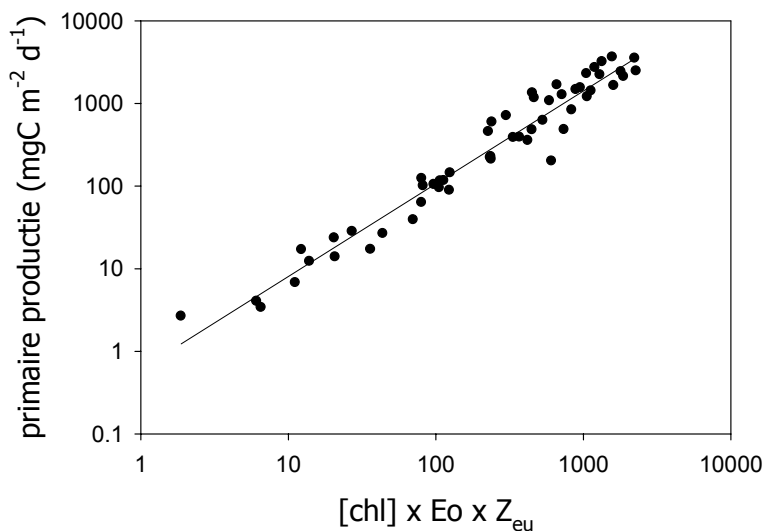


Fig. 8. Verband tussen het product van de chlorofylconcentratie,  $E_o$  en  $Z_{eu}$  en de dagproductie gemeten aan de hand van de  $^{14}C$  methode gebaseerd op data van 1991 en 2001 voor de westelijke stations van de Westerschelde.



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

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

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<sub>a</sub> concentraties.

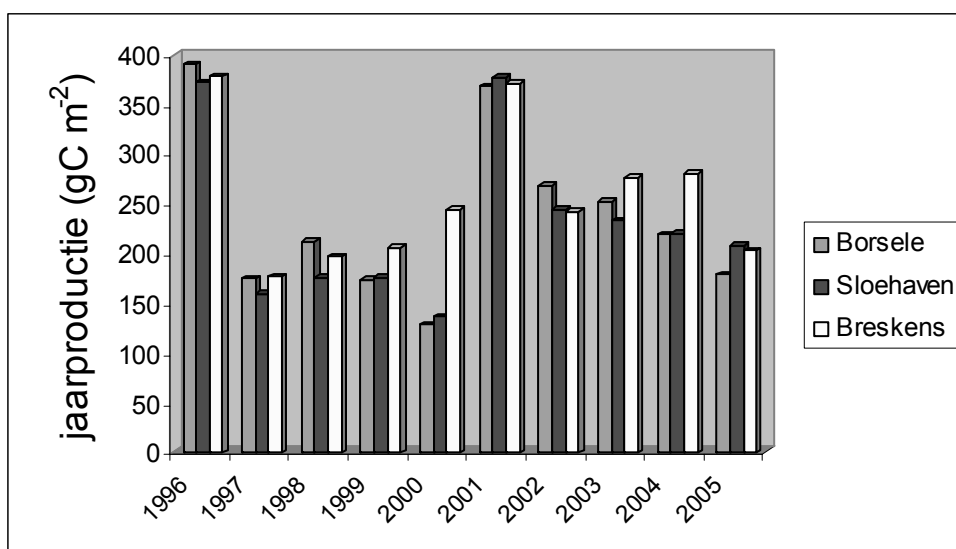


Fig. 9. Jaarproductie in de westelijke stations van de Westerschelde.

## 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 toevloerivieren voeren typische rivieralgen aan, vooral éencellige 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 zuurstofgehalten 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<sub>a</sub> 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 nutriëntgehalten 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  $\sim 0.48$ ). 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., Cattijse 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., Cattijse 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.