



Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ (voorheen Dienst Getijdewateren)

aan: geadresseerde

in behandeling bij: D J de Jong; 01180-72284

datum: 24 juni 1994

betreft: toezending werkdocument RIKZ/OS 94.806x, herziene versie

Bijgaand zend ik u, een herziene versie van, werkdocument RIKZ/OS 94.806x, "Dynamiek van microphytobenthos in het Westerschelde-estuarium".

In de eerste uitgave waren enkele storende fouten blijven zitten, die in deze herziene versie zijn verbeterd. Indien u reeds de eerste versie heeft, verzoek ik u deze te vernietigen teneinde verwarring te voorkomen.

Met vriendelijke groet,

D J de Jong

verzendlĳst

Dir Zeeland, Meetdienst: F Mous, C Joosse, B Boer, W Roelse, K Baayens, M Viergever.

Dir Zeeland: bibliotheek, S L de Jong, E A M J Daemen, R Postma.

RIKZ-Middelburg: C Siereveld, W Schreurs, C Peeters, L Peperzak, B Wetsteyn, P Meininger, F Twisk, H Baptist, J Coosen, J Vroon, K Storm, B van Eck, Bibliotheek, S Huys, A van der Pluym, H Smit, B Kater, T Pieters, A Smaal, E Stikvoort.

RIKZ-Den Haag: bibliotheek, F Colijn, J Schobben, M van der Tol, J Mulder, W van Leusen.

RIKZ-Haren: bibliotheek, W Visser (+2 tbv Meetdienst Delfzijl), V N de Jonge, K Essink, H Pelletier.

Rijksuniversiteit, Lab voor morfologie en ecologie van de planten
K Sabbe, Kleine Ledeganckstraat 35, 9000 Gent.

P Vos, Singel 9, 1012 VC Amsterdam.

DYNAMIEK VAN MICROPHYTOBENTOS
IN
HET WESTERSCHELDE-ESTUARIUM.

door

D.J. de Jong & V.N. de Jonge

Werkdocument RIKZ/OS 94.806x
(herziene versie)
Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ
Middelburg/Haren

DYNAMIEK VAN MICROPHYTOBENTOS IN HET WESTERSCHELDE-ESTUARIUM.

Samenvatting

In het estuarium van de Westerschelde zijn in 1991-1992 metingen verricht om de dynamiek in de biomassa van het microphytobenthos te bepalen in zowel de tijd als de ruimte. Daarnaast zijn de relaties onderzocht tussen de jaargemiddelde biomassa van het microphytobenthos (uitgedrukt in chlorophyl-*a*) en de hoogteligging en de sedimentsamenstelling.

De biomassa van het microphytobenthos vertoont één hoofdpijk in juni en een kleinere in de herfst. Het gemiddelde chlorophyl-*a* gehalte van 113 mg/m² is vergelijkbaar met dat in andere estuariene gebieden, evenals de gemiddelde bruto primaire produktie van 136 g C/m². De bijdrage van de benthische primaire produktie aan de totale bruto primaire produktie in het estuarium wordt geschat op ongeveer 17 %. Voor de netto primaire produktie zal dit percentage vermoedelijk aanzienlijk hoger liggen, omdat de netto primaire produktie van het phytoplankton waarschijnlijk vrij gering is als gevolg van de hoge troebelheid van het water.

Er bestaan aanzienlijke verschillen in het jaargemiddelde chlorophyl-*a* gehalte tussen de verschillende meetpunten. Deze verschillen kunnen in hoofdzaak worden toegeschreven aan zowel de hoogteligging als het kleigehalte van de bodem ter plekke, waarbij deze factoren met elkaar in interactie zijn. Op zijn beurt kan het kleigehalte weer worden beschouwd als een maat voor de hydrodynamische energie in het gebied ten gevolge van stroming en golven.

INLEIDING

Microphytobenthos speelt een belangrijke rol als primaire producent in de voedselkringloop van estuaria (Baretta & Ruardij, 1988; Klepper, 1989; De Jonge en Van Beusekom, 1992). Hoewel de bruto primaire produktie op het intergetijden gebied als regel slechts 15-20% van de totale bruto primaire produktie in een estarium uitmaakt, is het toch van specifiek belang voor een aantal diergroepen, zoals "sedimentetende" bodemdieren (makrozoöbenthos en meiobenthos) (bv Admiraal et al., 1983; Asmus, 1982a), vogels (bv de Bergeend) (Meininger & Snoek, 1992) en vissen (bv de Harder).

Omdat ze voor hun groei afhankelijk zijn van fotosynthese zijn de actieve cellen gebonden aan de bovenste laag van het sediment, van een paar millimeter dik, waar nog voldoende licht kan doordringen. Ze worden echter ook in aanzienlijke hoeveelheden aangetroffen tot diepten van 10 cm en meer in het sediment, tgv hydrodynamische krachten (getijstromingen en golven) (De Jonge, 1992), bioturbatie (omwoeling door bodemdieren) (Cadée, 1976) en actieve migratie (Cadée & Hegeman, 1974). In het algemeen wordt van de totale biomassa in de bovenste 10 cm ongeveer 25% aangetroffen in de laag van 0-1 cm (Cadée & Hegeman, 1974; De Jong et al., 1993).

Door de hydrodynamische krachten kan een deel van het microphytobenthos opnieuw worden opgenomen en in de waterkolom terecht komen, waarna ze elders weer worden afgezet; op deze manier worden ze dan tijdelijk een deel van het "phytoplankton" (bv De Jonge, 1985; Baillie & Welsh, 1980). In het Eems-estarium is door De Jonge en Van Beusekom (1992) een significante relatie gevonden tussen de windsnelheid en het gedeelte van het microphytobenthos dat weer was opgenomen in de waterkolom. In de Oosterschelde vonden De Jong et al. (1993) dat een afname van de stroomsnelheid en de golfenergie, en daarmee een afname van de opwerveling en transport, resulteerde in een aanzienlijke toename (1,7x) van de biomassa van het microphytobenthos. Omdat in dit gebied de bruto primaire produktie van het phytoplankton in diezelfde periode is afgenomen, is het aandeel van het microphytobenthos in dit gebied in de totale bruto primaire produktie toegenomen van 16 tot 30%.

Als gevolg van intensieve bagger-aktiviteiten in de Westerschelde is het niveau van hydrodynamische energie mogelijk toegenomen gedurende de laatste tientallen jaren. Men vermoedt dat dit een verarming van de natuurlijke habitats heeft veroorzaakt, omdat enerzijds de hellingen van de platen en slikken

steiler zijn geworden en anderzijds op delen van het intergetijden gebied de hydrodynamische energie is toegenomen. Verder wordt ook aangenomen dat het water troebeler is geworden.

In de nabije toekomst zal een toename van de bagger-aktiviteiten optreden ten behoeve van een verdere verdieping van de hoofdgeul. Dit zou kunnen leiden tot een verdere toename van de hydrodynamische krachten en een verdere verarming van de habitats. Eén van de mogelijke veranderingen is een afname van de biomassa en primaire produktie van zowel het microphytobenthos als het phytoplankton. Daarbij zou vooral het aandeel van het phytoplankton in de totale primaire produktie verder kunnen afnemen ten gunste van het microphytobenthos, omdat de laatste groep kan profiteren van een dagelijkse periode waarin ze droogvallen en kunnen produceren.

Tot nu toe waren voor de Westerschelde geen gegevens voorhanden over het microphytobenthos. Daarom werd vanaf 1989 een onderzoeksprogramma opgestart. Het eerste doel van dit programma was de jaarlijkse cyclus van het benthische chlorophyl-a te meten en de bruto primaire produktie ervan te schatten. Het tweede doel was de mogelijke relaties tussen chlorophyl-a en enige abiotische factoren te onderzoeken. In deze rapportage worden de resultaten van de periode 1991-1992 gepresenteerd, zijnde de periode waarin alle meetpunten volledig zijn bemonsterd. Deze rapportage maakt tevens deel uit van de eindrapportage van JEEP (Joint European Estuarine Programme), een internationaal onderzoeksprogramma van de Europeesche Unie (vroeger de Europeesche Gemeenschap).

MATERIAAL EN METHODEN

HET ONDERZOEKSGBIED

Het Schelde-estuarium ligt in het NW van België en het ZW van Nederland. In dit onderzoeksprogramma is alleen het Nederlandse gedeelte onderzocht, de Westerschelde (Fig 1), die loopt vanaf de Belgische grens tot Vlissingen, een afstand van ongeveer 55 km. Het totale getijden gebied beslaat ongeveer 310 km², waarvan ongeveer 63 km² droogvallende slikken en zandplaten is, en ongeveer 32 km² schorren. Het getijverschil loopt op van gemiddeld 3,8 m bij Vlissingen tot 4,7 m bij de grens. De zoutgradiënt neemt af van 18‰ Cl⁻ bij Vlissingen tot ongeveer 6‰ Cl⁻ bij de grens. De droogvallende gebieden kunnen worden onderverdeeld in slikken (gebieden tegen de dijken aan) en zandplaten (gebieden geheel omgeven door water). Het sediment van de droogvallende gebieden varieert van zandig tot kleiig. De preciese verdeling hangt af van de hydrodynamische omstandigheden ter plekke.

Er zijn in de Westerschelde 7 zandplaten en 11 slikken uitgekozen, gelijkelijk verdeeld tussen de grens en Vlissingen (Fig 1). In elk gebied zijn 1 of 2 (soms 3 of 4) raaien uitgezet, in het algemeen van gemiddeld laag water naar boven. In ieder raai zijn 3 - 6 meetpunten met paaltjes aangegeven. Zo zijn 109 permanente meetpunten ingericht, die alle typen slikken en zandplaten vertegenwoordigen, alsmede het hele zoutgehalte-spectrum in de Westerschelde.

BIOMASSA

De monsters voor de bepaling van de biomassa zijn genomen met een perspex bemonsteringsbuis met een binnen-diameter van 2,3 cm. Maandelijks in 1991 en 1992 werd in de meetpunten de bovenste centimeter van het sediment bemonsterd. Bovendien werden in maart, juni, september en december 1992 op 10 meetpunten de bovenste 10 cm bemonsterd telkens in opeenvolgende lagen van 1 cm, teneinde de verdeling van het chlorophyl-*a* in de diepte te onderzoeken. Na het bemonsteren en het afsnijden van de gewenste laag werden mengmonsters gemaakt van vijf willekeurig gekozen deelmonsters per te bemonsteren laag. Voordat de mengmonsters verder werden bewerkt in het laboratorium, werden ze eerst ingevroren op -20°C. Het chlorophyl-*a* werd geanalyseerd d.m.v. HPLC (Daemen, 1986), resulterend in biomassa-cijfers in µg chlorophyl-*a*/g droog sediment. Deze gehalten zijn omgerekend naar mg chlorophyl-*a*/m² door te vermenigvuldigen met 15,5, een omrekeningsfactor die is gebaseerd op een gemiddelde bodemdichtheid van 1,55 g/cm³. Dit cijfer is afkomstig uit de Oosterschelde omdat uit de Wes-

terschelde zelf geen cijfers beschikbaar waren.

PRIMAIRE PRODUKTIE

De bruto primaire produktie is geschat als een funktie van de gemiddelde jaarlijkse biomassa volgens De Jong et al (1993), die hun formule baseerden op metingen van Cadée & Hegeman (1977) en Colijn & De Jonge (1984) in respektievelijk de Nederlandse Waddenzee en het Eems-estuarium:

$$P = 1,13B + 8,23 \quad (R^2 = 0,92),$$

waarin P = bruto primaire produktie in $g\ C/m^2/j$, en

B = gemiddelde biomassa in $mg\ chlorophyl-a/m^2/j$ in de laag 0-1 cm.

Bij de omrekening van chlorophyl-*a* naar koolstof is uitgegaan van een verhouding Koolstof : Chlorophyl-*a* van 40. Dit is gebaseerd op gegevens uit de Oosterschelde (ongepubliceerd gegevens van Daemen); vergelijkbare waarden zijn in het Eems-estuarium gevonden door De Jonge (1980).

ABIOTISCHE FAKTOREN

Van ieder meetpunt werd de hoogteligging ten opzichte van NAP gemeten dmv een theodoliet of geschat aan de hand van peilkaarten uit 1991 of 1992. Deze laatste, minder nauwkeurige, methode moest soms worden gebruikt omdat niet voor ieder meetpunt exacte cijfers bekend waren.

Op ieder meetpunt werden najaar 1992 bodemonsters genomen van de bovenste 2cm en de bovenste 10cm. Deze bemonstering is uitgevoerd door twee deelmonsters te nemen met een steekbuis met een diameter van 4,3 cm en die nog in het veld te mengen. Van de monsters zijn het kleigehalte (deeltjes $< 40\ \mu m$) en de gemiddelde korelgrootteverdeling bepaald dmv de Malvern-methode.

STATISTIEK

In dit verhaal worden bij de gepresenteerde gemiddelden geen Standaard Afwijkingen ed. gepresenteerd. Aangezien er sprake is van zowel grote seizoensverschillen op één punt als van grote ruimtelijke verschillen tussen de punten onderling heeft de presentatie hiervan geen zin. Deze SA zullen door deze variaties relatief groot zijn, hoewel de waarden voor één bepaald punt in één bepaalde maand in verschillende jaren relatief constant kunnen zijn. In een geval als dit moet een SA in twee stappen worden bepaald: eerst voor een bepaald punt en een bepaalde maand over een aantal jaren, waarna deze SA /punt/maand kunnen worden omgerekend naar jaargemiddelden ed. Omdat in dit

geval nog slechts twee meetjaren beschikbaar zijn, heeft deze berekening nu nog weinig zin. In de toekomst, als meer meetjaren beschikbaar zijn, zal dit als nog kunnen gebeuren.

RESULTATEN

BIOMASSA

De seizoensvariaties in de concentratie van chlorophyl-*a* staan in Fig 2 als een maandelijks gemiddelde waarde aangegeven, zowel voor alle punten samen als voor de slikken en de zandplaten afzonderlijk. De Figuur geeft aan dat er in het algemeen één grote piek in mei/juni/juli is. Bovendien kan er ofwel een kleine piek ofwel een tijdelijke breuk in de afname in de na-zomer worden onderscheiden. Afgezien van de piek in mei 1991 is het verschil tussen de twee jaren klein. Er kan echter een aanzienlijk verschil optreden tussen het chlorophyl-*a* gehalte van de slikken en van de platen.

In Figuur 3 is voor de afzonderlijke meetpunten in 6 gekozen raaien de jaar-gemiddelde chlorophyl-*a* concentratie aangegeven. Hieruit wordt duidelijk dat er grote verschillen bestaan in chlorophyl-*a* niveau's tussen de meetpunten onderling (variërend van ca 0,3 tot 27 $\mu\text{g.g}^{-1}$). Verder zijn er grote verschillen tussen de raaien onderling te zien.

De gemiddelde chlorophyl-*a* concentratie in het intergetijden gebied kan worden berekend op 7,3 μg chlorophyl-*a*/g droog sediment, of 113,1 mg/m^2 (Tabel 1). Voor een totaal oppervlak aan intergetijden gebied van 63,3 km^2 betekent dit dat er 7,2 ton chlorophyl-*a* of 286 ton organisch koolstof aanwezig is. Toepassing van de vergelijking om de jaarlijkse primaire produktie te schatten uit het chlorophyl-*a* geeft een gemiddelde jaarlijkse bruto primaire produktie van ongeveer 136 g C/ m^2/j ofwel 8611 ton organisch koolstof per jaar.

In Fig 4 wordt de relatieve verdeling van het chlorophyl-*a* over de diepte in de laag van 0-10 cm weergegeven. Deze figuur is gebaseerd op een gemiddelde waarde over alle meetpunten en over alle monsterdata is. De curve vertoont een vrij steile afname van de concentratie in de eerste centimeter, gevolgd door een meer geleidelijke afname dieper in het sediment. De hoogste chlorophyl-*a* concentratie vindt men in de bovenste cm. Hier bevindt zich ongeveer 25% van de totale hoeveelheid chlorophyl-*a*, die is aangetroffen in de bovenste 10 cm.

Wanneer de meetpunten individueel bekeken worden, kunnen ruwweg twee groepen worden onderscheiden (Fig 5). De ene groep vertoont een geleidelijke afname van chlorophyl-*a* over de hele sedimentkolom van 10 cm gedurende het hele jaar, terwijl de tweede groep in het voorjaar en/of de zomer een sterke afname in chlorophyl-*a* in de bovenste 1 of 2 cm vertoont.

ABIOTISCHE ASPEKTEN

De grafiek van de jaargemiddelde chlorophyl-a concentratie als functie van de hoogteligging van het meetpunt is weergegeven in Fig 5. Deze figuur laat zien dat er geen relatie is tussen deze twee parameters. De waarden die in Fig 3 worden getoond zijn per raai gerangschikt van hoog naar laag t.o.v. gem. laag water (van links naar rechts in de figuur). Deze gegevens tonen dat er binnen een raai wel een duidelijke relatie bestaat tussen de hoogteligging en de jaargemiddelde chlorophyl-a-waarde. De globale hoogte van de gemiddelde chlorophyl-a-waarde kan echter per gebied flink verschillen.

Omdat de resultaten van de bodembemonstering voor de beide bemonsterde lagen goed overeenkomen met elkaar worden hier alleen de gegevens van de laag 0-2cm gebruikt. In figuur 7 is voor alle meetpunten de relatie van het kleigehalte met het jaargemiddelde chlorophyl-a gehalte aangegeven. Hieruit blijkt dat er een zwakke positieve correlatie bestaat tussen beide parameters. ($Y = 0,65X + 3,35$; $R^2 = 0,30$). De spreiding in chlorophyl-a waarden is echter groot.

DISCUSSIE

CHLOROPHYL-A

Het chlorophyl-a in de bovenste lagen van de bodem in estuaria is voornamelijk afkomstig van benthische diatomeeën (Admiraal et al., 1988; De Jonge, 1992; Sabbe & Vyverman, 1991). De seizoensvariatie voor het benthische chlorophyl-a is voor de twee jaar waarin het onderzoek is gedaan vergelijkbaar, zowel in verloop als in niveau. Het verloop en het niveau zijn eveneens vergelijkbaar met de gegevens die zijn gepubliceerd voor andere gebieden zoals de Oosterschelde vóór 1985 (De Jong et al., 1993), de Waddenzee (Cadée & Hageman, 1977) en het Eems-estuarium (Colijn & De Jonge, 1984). Het verschil in chlorophyl-a niveau tussen de slikken en de zandplaten kan worden toegeschreven aan het verschil in dynamiek. In het algemeen vertegenwoordigen de slikken de hydrodynamisch meer rustiger omstandigheden en de zandplaten de wat onstuimiger omstandigheden (vergelijk De Jonge, 1992). Er zijn echter uitzonderingen hierop, zoals bv kan worden gezien in figuur 3, het slik van Waarde (hier is het gemiddelde biomassa-niveau erg laag, doordat het slik erg dynamisch is door de aanwezigheid van een vloedschaar rond de laagwaterlijn). Omdat het verschil in dynamiek in de zomer groter is dan tijdens de (stormachtige) winter, zullen ook de verschillen in chlorophyl-a-gehalte tussen beide typen gebieden in de zomer groter zijn dan in de winter.

In het algemeen wordt het begin van de toename van chlorophyl-a in de lente toegeschreven aan een toename van licht en temperatuur en de beschikbaarheid van nutriënten (voedingsstoffen) voor algengroei. Het einde van de bloei in de vroege zomer zou echter toegeschreven kunnen worden aan verschillende factoren zoals een tekort aan nutriënten in het water en/of een gebrek aan anorganisch koolstof in de bodem (Admiraal, 1977; Admiraal et al., 1982; Colijn & De Jonge, 1984) en/of begrazing (Asmus, 1982b). Aangezien de Westerschelde zeer eutroof is (Van Spaendonk et al., 1993), zal een tekort aan nutriënten niet snel optreden. Toename van begrazing door bodemdieren (bv Wadslakje -*Hydrobia spec.*- en Slijkgarnaal -*Corophium spec.*-) in de loop van de zomer zou echter de primaire produktie in estuariene gebieden kunnen overschrijden (Asmus, 1982b; Cadée, 1980; Morrissey, 1988a, b) en dit zou het einde van de bloeiperiode kunnen veroorzaken. In de Westerschelde komt *Hydrobia* niet veel voor, maar *Corophium* is vaak in zeer grote getale aanwezig (Meire et al., 1991). Daarom zou in de Westerschelde de sterke begrazingsdruk door de laatste soort kunnen leiden tot de afname in de hoeveelheid bodem-chlorophyl in de

nazomer.

Het niveau van de bruto primaire produktie van het microphytobenthos is bij dit onderzoek geschat met behulp van een relatie met het jaargemiddelde chlorophyl-a gehalte. Daarom is de hier gepresenteerde schatting van de produktie direct afhankelijk van de hoeveelheid chlorophyl-a. Omdat de chlorophyl-a concentraties in de Westerschelde vergelijkbaar zijn met die in andere estuariene gebieden, liggen ook de waarden van de bruto primaire produktie in de Westerschelde binnen hetzelfde bereik als de waarden gepubliceerd voor de Waddenzee, het Eems-estuarium en de Oosterschelde vóór 1985 (zie ook tabel 1).

De benthische primaire produktie kan worden vergeleken met die van het phytoplankton. De bruto primaire produktie van het phytoplankton is berekend op respektievelijk ongeveer 210 en 85 g C/m²/j voor het westelijk en oostelijk deel van de Westerschelde (Kromkamp et al, 1993), ofwel 42.300 ton organisch koolstof per jaar in de gehele Westerschelde (gebaseerd op een wateroppervlak bij NAP van respektievelijk 178 en 58 km² voor west en oost). Dat betekent dat de benthische bruto primaire produktie ongeveer 17% bedraagt van de totale bruto primaire produktie in de Westerschelde.

Uit ander onderzoek (De Jonge & Van Beusekom, 1992) is echter bekend dat microphytobenthos dat opnieuw is opgenomen in de waterkolom in belangrijke mate kan bij dragen aan de primaire produktie in de waterkolom. De Jonge (1992) en De Jonge & Van Beusekom (1992) geven voor de Eems-Dollard aan dat ongeveer 25-30% van het totale benthische chlorophyl-a aanwezig kan zijn in de waterkolom, afhankelijk van de windsnelheid en de hydrodynamiek. Welke bijdrage het opgewervelde microphytobenthos in de Westerschelde levert aan de totale primaire produktie in de waterkolom, is op dit moment nog niet bekend, maar het zou belangrijk kunnen zijn gezien het relatief hoge niveau van de hydrodynamische energie in het estuarium.

Verder kan worden aangenomen dat, als gevolg van de grote menging van het water en de hoge troebelheid (de verhouding totale mengzone/photische zone is vaak >5 (van Spaendonk et al 1993)), een aanzienlijk deel van de primaire produktie van het phytoplankton door deze groep zelf weer wordt gebruikt voor de ademhaling tijdens de langdurige perioden dat ze te diep en dus te donker zitten. Als gevolg van deze beide factoren (opwerveling van microphytobenthos en grote troebelheid + grote menging) zal het feitelijke aandeel van het microphytobenthos in de totale primaire produktie in de Westerschelde waarschijnlijk aanzienlijk groter zijn dan de hiervoor genoemde 17%; het zou in

sommige delen zelfs kunnen oplopen naar zo'n 100%.

De afname van chlorophyl-*a* met de diepte komt overeen met wat wordt gevonden in andere gebieden (Cadée & Hageman, 1977 etc). Het verschil in afname tussen de twee groepen meetpunten (steil tegenover geleidelijke afname in de bovenste laag gedurende lente/zomer, Fig 5) zou het resultaat kunnen zijn van verschillen in de hydrodynamische omstandigheden in de buurt van de meetpunten. De plaatsen met een steile afname in de toplaag tijdens de lente/zomer liggen in relatief beschutte gebieden, waar vooral tijdens de zomer de bovenste laag van het sediment bijna niet wordt omgewoeld door getijstromen en golven. Als gevolg hiervan blijft het geproduceerde chlorophyl-*a* in de bovenlaag van het sediment en kan het zich "ophopen". Tijdens de winter wordt door stormen het sediment hier wel omgewoeld tot een grotere diepte, terwijl ook het laterale transport (afvoer) van het chlorophyl dan groter is, zodat de afname in de diepte vergelijkbaar wordt met die in de andere gebieden. Een fenomeen dat vaak werd waargenomen in deze beschutte gebieden is een sterke toename van het kleigehalte in de bovenlaag tijdens de zomermaanden, die weer afneemt in de winter. De meetpunten met een geleidelijke afname van chlorophyl-*a* met de diepte gedurende het hele jaar liggen in gebieden die minder beschut liggen met betrekking tot de hydrodynamische omstandigheden. Het sediment wordt hier voortdurend tot een grotere diepte omgewoeld en het chlorophyl-*a* wordt ook tot op grotere diepten "getransporteerd". Bovendien zal, omdat het laterale transport in deze meer turbulente gebieden groter is, het gemiddelde chlorophyl-*a*-niveau lager blijven dan in de meer beschutte meetpunten.

ABIOTISCHE FAKTOREN

De gegevens uit Fig 3 illustreren de aanwezigheid van een verband tussen de hoogte van het meetpunt t.o.v. GLW en het gemiddelde chlorophyl-*a* gehalte. Dit beeld komt niet naar voren als alle beschikbare gegevens van het hele estuarium in een X-Y-diagram worden neergezet (Fig 6). Daarin komt op iedere hoogte een grote spreiding van chlorophyl-*a*-waarden voor. De maximale waarden die op iedere hoogte worden bereikt lijken echter de aanwezigheid van een optimum-curve aan te geven, waarbij de hoogste maximum chlorophyl-*a*-waarden worden bereikt rond NAP. Colijn & Nienhuis (1977) en Colijn & De Jonge (1984) vonden een positieve correlatie tussen hoogte en chlorophyl-*a* in de oostelijke Waddenzee en het Eems-estuarium. Ook De Jong et al. (1993) beschreven een toenemende concentratie van het chlorophyl-*a* bij een toename van de hoogte in de

Oosterschelde in de situatie vóór de bouw van de Stormvloedkering. Ná de bouw echter veranderde deze relatie in het tegenovergestelde, een toename in de chlorophyl-a concentratie met een afname van de hoogte. Zij schreven dit toe aan een sterke toename van het doorzicht van de waterkolom in dit gebied, die zou hebben kunnen leiden tot een toename van de primaire produktie door microphytobenthos tijdens overspoeling.

Het is duidelijk dat ook andere parameters een duidelijke invloed kunnen hebben op het gemiddelde niveau van chlorophyl-a. Eén belangrijk aspect zou de hydrodynamische energie kunnen zijn (De Jonge, 1992); in meer beschutte gebieden zou een hogere biomassa kunnen optreden omdat de omwoeling van het sediment ($\rightarrow$ begraving), alsmede de heropname in de waterkolom en lateraal transport ($\rightarrow$ afvoer) minder belangrijk zijn. Omdat hydrodynamische energie een moeilijk te definiëren parameter is en bovendien moeilijk te meten, wordt meestal het resultaat ervan gebruikt, zoals dat wordt weerspiegeld in de sedimentsamenstelling. Sediment met een relatief laag kleigehalte geeft een gebied met een hoge hydrodynamische energie aan, omdat daar de kleine kleideeltjes niet kunnen bezinken, terwijl sediment met een relatief hoog kleigehalte een gebied aangeeft met een lage hydrodynamische energie. Daarom zal een negatieve relatie tussen hydrodynamische energie en chlorophyl-a, zichtbaar zijn als een positieve relatie tussen kleigehalte van het sediment en het microphytobenthische chlorophyl-a. Colijn & Dijkema (1981) noemen deze mogelijkheid, maar konden deze niet aantonen. In Fig 7 is het kleigehalte tegen de gemiddelde chlorophyl-a-concentratie voor ieder meetpunt uitgezet. Ondanks de grote variatie in waarden, suggereert deze figuur een zekere positieve correlatie tussen de twee parameters. Dit houdt in dat in de Westerschelde naast hoogteligging ook kleigehalte, als indicator voor hydrodynamische energie, belangrijk is.

De grote spreiding in chlorophyl-a-waarden per parameter apart, die duidelijke en eenduidige relaties verdoezelt, zou kunnen worden veroorzaakt door een interactie tussen de beide parameters. Daarom is een beschouwing van zowel de hoogteligging als het kleigehalte samen van belang. Om dit te doen zijn drie klassen per parameter onderscheiden:

- hoogte tov NAP: <0 m, $0 \leq h \leq 1$ m en >1 m;
- kleigehalte: $<2,5\%$, $2,5 \leq c \leq 5\%$ en $>5\%$ klei.

De meetpunten zijn volgens deze klassen ingedeeld en per parametercombinatie is het jaargemiddelde chlorophyl-a gehalte berekend. Het resultaat is weergegeven in Fig. 9. Deze figuur vertoont wel een duidelijke toename van het gemiddeld chlorophyl-a gehalte met het kleigehalte en geeft voor de klassen met

een lager en middelhoog kleigehalte een optimum in het gemiddeld chlorophyl-a gehalte met de hoogteligging aan; bij de hoogste kleiklasse ontbreekt deze relatie. Een verklaring voor de hoogterelaties kan zijn dat op het laagste hoogteniveau de droogvaltijd te kort is om een hoog biomassa-niveau te bereiken, terwijl op het hoogste hoogteniveau de bodem te veel uitdroogt om een hoge productie (en biomassa) te kunnen bereiken. Deze uitdroging zal vermoedelijk niet optreden in de gebieden met een hoog kleigehalte omdat de klei hier het water goed kan vasthouden. De onverwacht hoge biomassa in de combiantie "laag hoogteniveau - hoog kleigehalte" zou het gevolg kunnen zijn van het vrijwel afwezig zijn van transport naar elders in deze zeer rustige omgeving. Daardoor zal ondanks een lage primaire produktie toch een hoge biomassa kunnen optreden, omdat deze niet wordt afgevoerd.

De conclusie die getrokken kan worden uit figuur 9 zou kunnen zijn dat in een zeer dynamisch en troebel estuarium als de Westerschelde de interactie tussen hoogteligging en hydrodynamische energie de dominante factoren kunnen zijn die het niveau van het gemiddelde chlorophyl-a gehalte bepalen. De interactie tussen deze factoren kan variëren; soms zullen ze elkaar versterken en soms elkaar afzwakken. Deze gecorreleerde parameters zullen in een later stadium verder worden onderzocht, wanneer meer gegevens beschikbaar zijn.

De hierboven besproken aanpak van verschillende chlorophyl-a niveaus in relatie met hoogteligging en kleigehalte (of hydrodynamische energie), lijkt een goede mogelijkheid te bieden om het gemiddelde chlorophyl-a gehalte te berekenen en vervolgens de primaire produktie van het microphytobenthos te schatten, terwijl daarbij de spreiding van de verschillende sedimenttypen en de hoogteligging (of habitattypen) betrokken wordt. Deze benadering biedt ook de mogelijkheid om de gevolgen van menselijke activiteiten voor het microphytobenthisch chlorophyl-a beter te bekijken en daarmee de effecten op de beschikbaarheid van voedsel binnen het ecosysteem.

REFERENCES

- Admiraal, W., 1977. Experiments with mixed populations of benthic estuarine diatoms in laboratory microecosystems. *Bot. mar.* 20: 479-485.
- Admiraal, W., H. Peletier & H. Zomer, 1982. Observations and experiments on the population dynamics of epipellic diatoms from an estuarine mudflat. *Estuar. coast. mar. Shelf Sci.* 14: 471-487.
- Admiraal, W., L. A. Bouwman, L. Hoekstra & K. Romeyn, 1983. Qualitative and quantitative interactions between microphytobenthos and herbivorous meiofauna on a brackish intertidal mudflat. *Int. Revue ges. Hydrobiol.* 68: 175-191.
- Admiraal, W., M. A. van Arkel, J. W. Baretta, F. Colijn, W. Ebenhöf, V. N. de Jonge, A. Kop, P. Ruardij & H. G. J. Schröder, 1988. The construction of the benthic submodel. In: J. Baretta & P. Ruardij (eds), *Tidal flat estuaries. Simulation and analysis of the Ems estuary. Ecological Studies* 71, Springer-Verlag, Heidelberg, pp 105-152.
- Asmus, H., 1982a. Field measurements on respiration and secondary production of a benthic community in the northern Wadden Sea. *Neth. J. Sea Res.* 16: 403-413.
- Asmus, R., 1982b. Field measurements on seasonal variation of the activity of primary producers on a sandy tidal flat in the northern Wadden Sea. *Neth. J. Sea Res.* 16: 389-402.
- Baillie, P. W. & B. L. Welsh, 1980. The effect of tidal resuspension on the distribution of intertidal epipellic algae in an estuary. *Estuar. coast. Mar. Sci.* 10: 165-180.
- Baretta, J. & P. Ruardij (eds.), 1988. *Tidal flat estuaries. Simulation and analysis of the Ems Estuary. Ecological Studies* 71, Springer-Verlag, Heidelberg, 353 pp.
- Cadée, G. C., 1976. Sediment reworking by *Arenicola marina* on tidal flats in the Dutch Wadden Sea. *Neth. J. Sea Res.* 10: 440-460.
- Cadée, G. C., 1980. Reappraisal of the production and import of organic carbon in the western Wadden Sea. *Neth. J. Sea Res.* 14: 305-322.
- Cadée, G. C. & J. Hegeman, 1974. Primary production of the benthic microflora living on tidal flats in the Dutch Wadden Sea. *Neth. J. Sea Res.* 8: 260-291.
- Cadée, G. C. & J. Hegeman, 1977. Distribution of primary production of the benthic microflora and accumulation of organic matter on a tidal flat area, Balgzand, Dutch Wadden Sea. *Neth. J. Sea Res.* 11: 24-41.
- Colijn, F. & V. N. de Jonge, 1984. Primary production of the microphytobenthos in the Ems-Dollard estuary. *Mar. ecol. Prog. Ser.* 14: 185-196.
- Colijn, F. & K. S. Dijkema, 1981. Species composition of benthic diatoms and distribution of chlorophyll-a on an intertidal flat in the Dutch Wadden Sea. *Mar. ecol. Prog. Ser.* 4: 9-21.
- Colijn, F. & H. Nienhuis, 1977. The intertidal microphytobenthos of the "Hohe Weg" shallows in the German Wadden Sea. *Forschungsstelle Norderney, Jahresbericht* 1977, 29: 149-174.
- Daemen, E. A. M. J., 1986. Comparison of methods for the determination of chlorophyll in estuarine sediments. *Neth. J. Sea Res.* 20: 21-28.
- De Jong, D J, P H Nienhuis & B J Kater, 1993. Microphytobenthos in the Oosterschelde estuary (the Netherlands), 1981-1990; consequences of a changed tidal regime. *Hydrobiologia* in press.
- De Jonge, V. N., 1980. Fluctuations in the organic carbon to chlorophyll-a ratios for estuarine benthic diatom populations. *Mar. ecol. Prog. Ser.* 2: 345-353.
- De Jonge, V. N., 1985. The occurrence of "epipsammic" diatom populations: a

- result of interaction between physical sorting of sediment and certain properties of diatom species. *Estuar. coast. Shelf Sci.*, 21: 607-622.
- De Jonge, V. N., 1992. Physical processes and dynamics of microphytobenthos in the Ems estuary (the Netherlands). Thesis State University Groningen. pp 176.
- De Jonge, V. N. & J. E. E. van Beusekom, 1992. Wind and tide induced resuspension of sediment and microphytobenthos in the Ems estuary. In: De Jonge, V. N., 1992. Physical processes and dynamics of microphytobenthos in the Ems estuary (the Netherlands). Thesis State University Groningen; pp 139-155.
- Klepper, O., 1989. A model of carbon flows in relation to macrobenthic food supply in the Oosterschelde estuary (SW Netherlands). Thesis Agricultural University Wageningen (ISBN 90-9002944-3).
- Kromkamp, J., J. Peene, P. van Rijswijk, A. Sandee & N. Goosen, 1993. Nutrients, light and primary production by phytoplankton and microphytobenthos in the eutrophic, turbid Western Scheldt estuary (the Netherlands). *Hydrobiologia*, in druk.
- Meininger, P. L. & H. Snoek, 1992. Non-breeding shelduck (*Tadorna tadorna*) in the SW Netherlands: effects of habitat changes on distribution, numbers, moulting sites and food. *Wildfowl* 43: 139-151.
- Meire, P. M., J. J. Seys, T. J. Ysebaert & J. Coosen, 1991. A comparison of the macrobenthic distribution and community structure between two estuaries in SW Netherlands. In: *Estuaries and coasts, spatial and temporal intercomparisons*; M. Elliott & J-P Ducrotoy (eds). Olsen & Olsen, Fredensborg Denmark.
- Morrissey, D. J., 1988a. Differences in effects of grazing by deposit-feeders *Hydrobia ulvae* (Pennant)(Gastropoda: Prosobranchia) and *Corophium arenarium* Crawford (Amphipoda) on sediment microalgal populations. I. Qualitative differences. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, Vol 118: 33-42.
- Morrissey, D. J., 1988b. Differences in effects of grazing by deposit-feeders *Hydrobia ulvae* (Pennant)(Gastropoda: Prosobranchia) and *Corophium arenarium* Crawford (Amphipoda) on sediment microalgal populations. II. Quantitative effects. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, Vol 118: 43-53.
- Sabbe, K. & W. Vyverberg, 1991. Distribution of benthic diatom assemblages in the Westerschelde (Zeeland, the Netherlands). *Belg. Journ. Bot.* 124(2): 91-101.
- Van Spaendonk, J. C. M., J. C. Kromkamp & P. R. M. de Visser, 1993. Primary production of phytoplankton in the turbid coastal plain estuary, the Westerschelde (the Netherlands). *Neth. J. Sea Res.* vol 31(3): 267-279.
- Weiner, B. B., 1984. Particle and droplet sizing using Fraunhofer diffraction. In: H. G. Barth (ed), "Modern methods of particle size analysis". Chapter 5: 135-172. Vol 73 in "Chemical analysis: a series of monographs on analytical chemistry and its applications", P. J. Elving & J. D. Winefordner (eds).

Tabel 1.

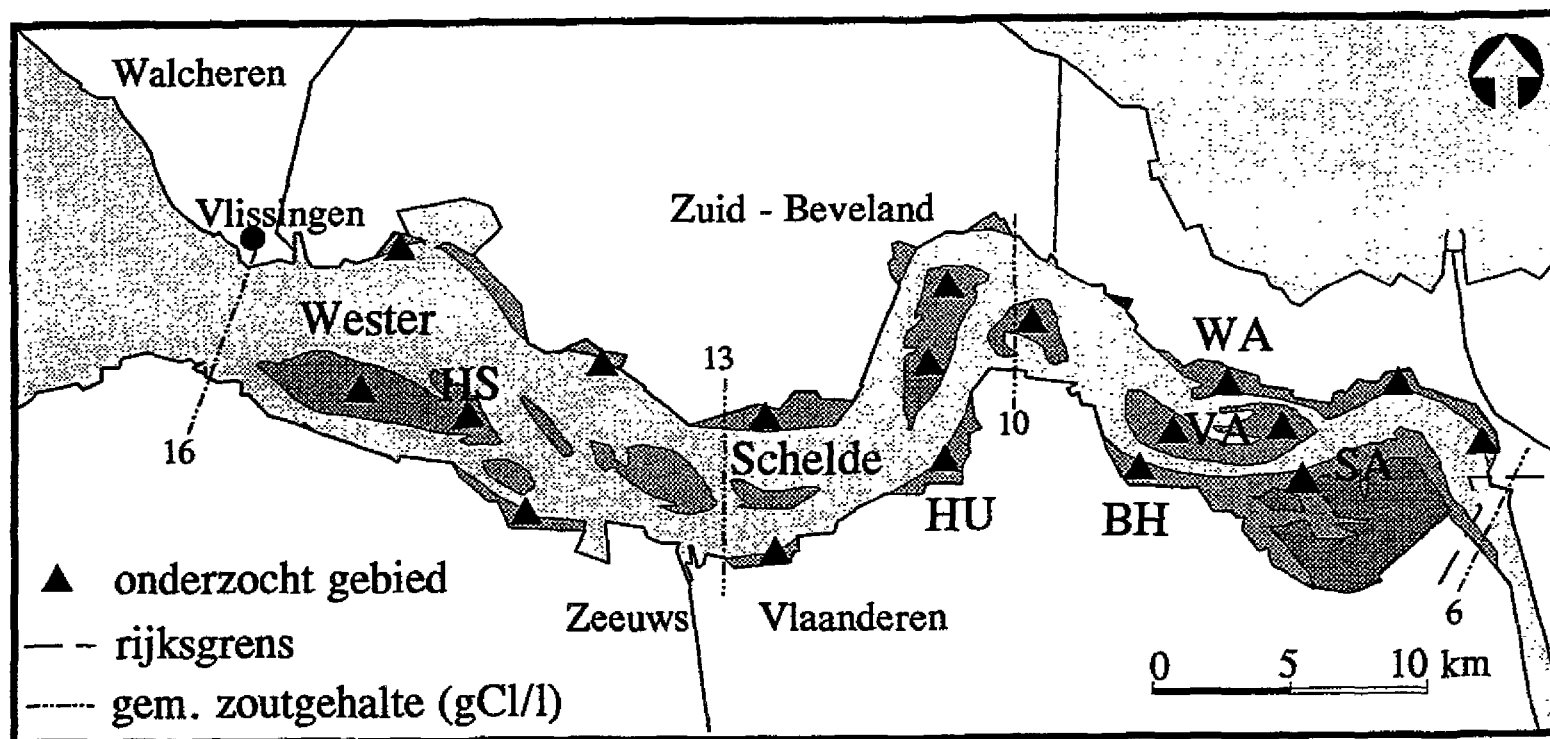
Gemiddelde chlorophyl-a gehalte en primaire produktie van microphytobenthos in de Westerschelde; toegevoegd zijn gegevens voor de Oosterschelde (De Jong et al., 1993), Westelijke Waddenzee (Cadée & Hegeman, 1977) en het Eems-estuarium (Colijn & De Jonge, 1984).

(Oosterschelde <1985 = oorspronkelijke situatie zonder SVK; Oosterschelde >1985 = huidige situatie met SVK)

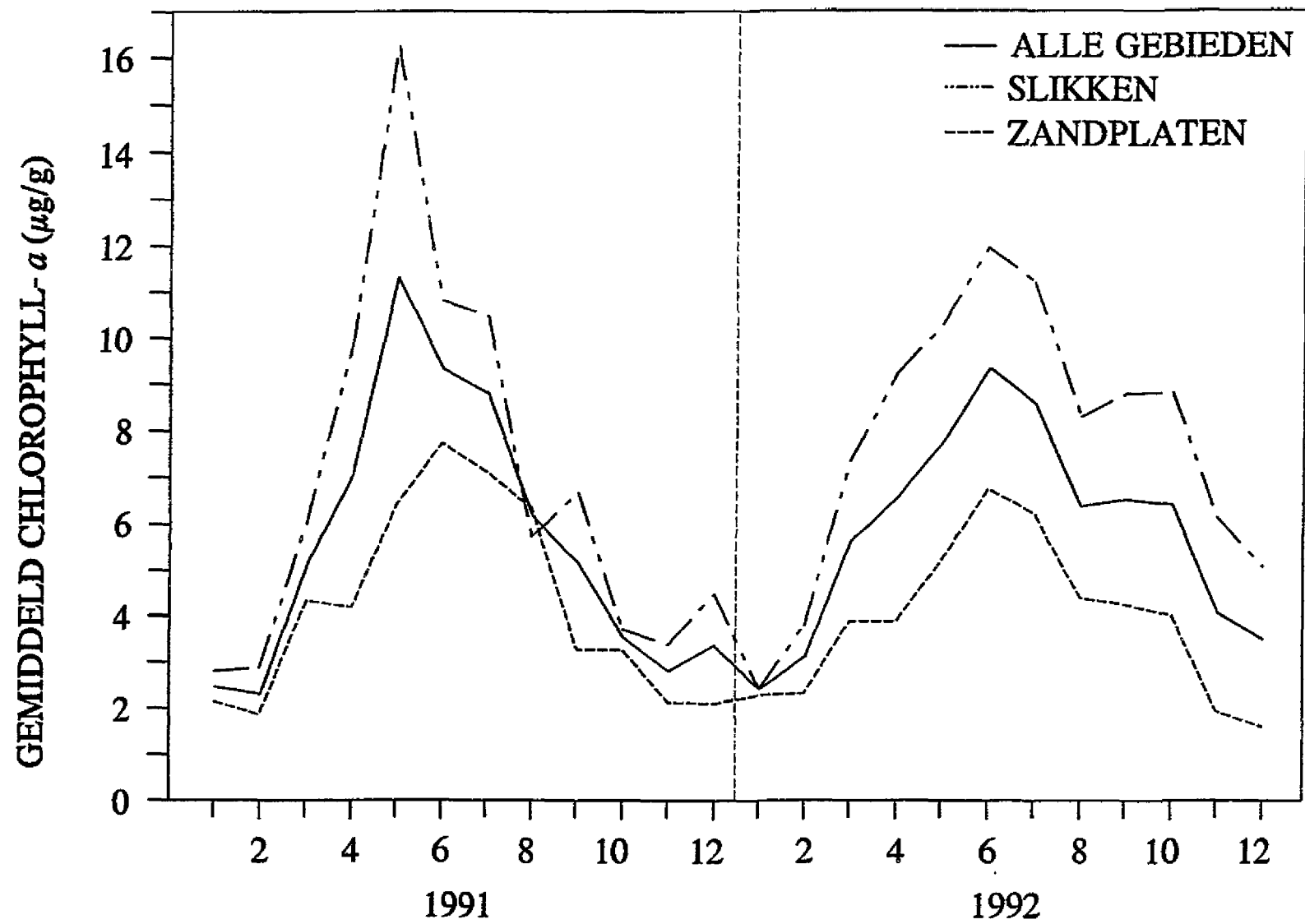
	Wester- schelde	Oosterschelde <1985 >1985	Waddenzee west	Eems-estu- arium
oppervlak (ha)	6330	9300 9300		
gem. chlorophyl-a als:				
ug/g	7,3	8,1 13,3		
mg/m ²	113,1	125,0 207,5	35-120	23-120
tot. chlorophyl-a als:				
ton chlor.-a	7,2	11,7 19,0		
ton koolstof	286	469 760		
primaire produktie als:				
g C/m ² /j	136,0	149,5 242,5	40-180	60-100
ton C/j	8611	14045 22265		

FIGUREN

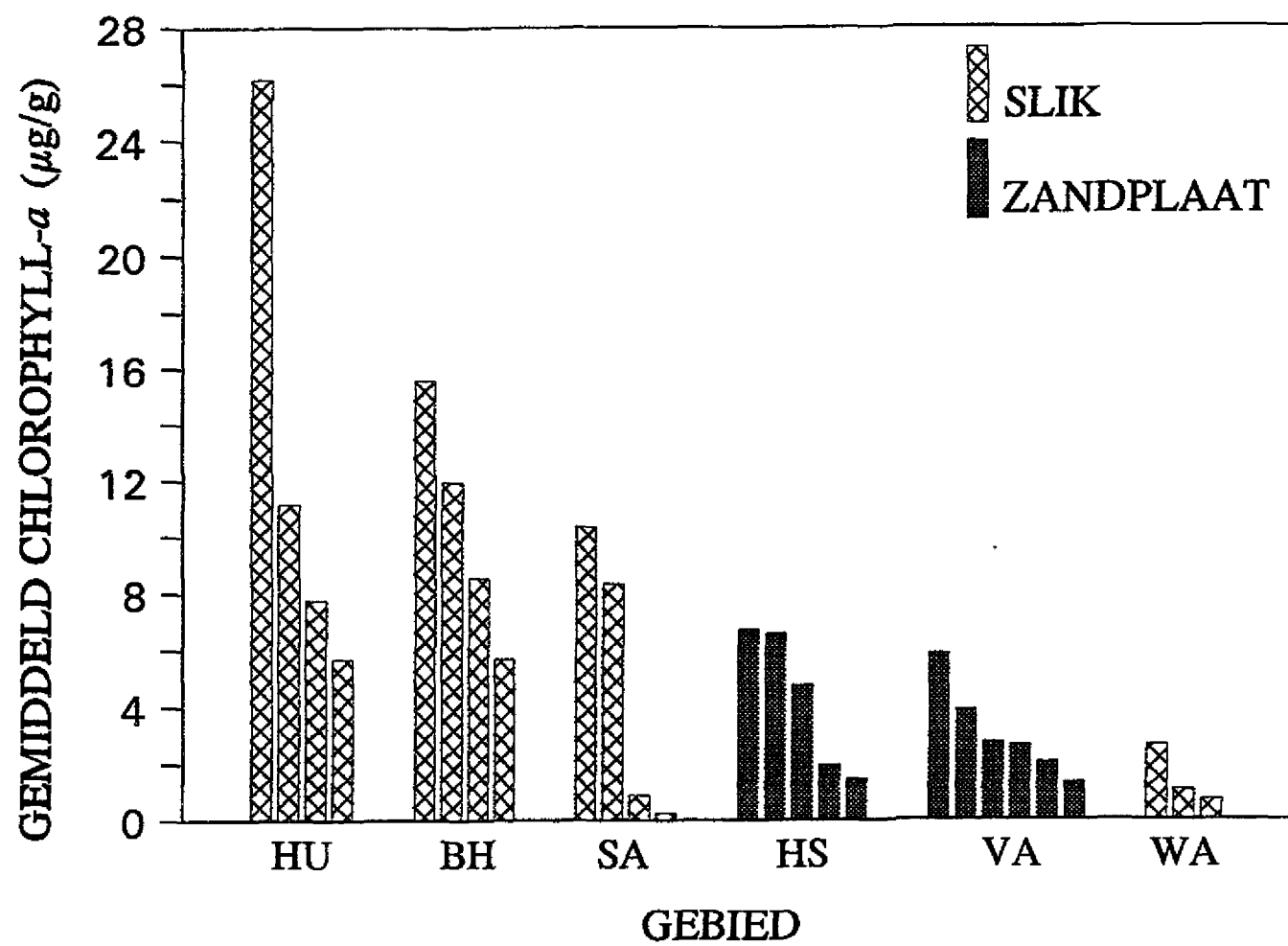
- 1 De Westerschelde met de onderzochte intergetijdengebieden.
(HU: Hulst, BH: Baalhoek, SA: Saeftinge-oost, WA: Waarde-oost (slikken), HS: Hoge Springer, VA: Valkenisse-west (zandplaten); zie verdere figuren)
- 2 Verloop van het chlorophyl-a van het microphytobenthos in 1991 en 1992, voor alle punten samen en voor de slikken en de platen afzonderlijk.
- 3 Jaargemiddelde chlorophyl-a concentratie in 6 raaien. De figuur laat de grote spreiding over de meetpunten zien. Bovendien toont de Figuur de invloed van de hoogteligging t.o.v. NAP op de gemiddelde chlorophyl-a concentratie. Per raai zijn de meetpunten gerangschikt volgens hun hoogte (van links naar rechts is van laag naar hoog) in het intergetijdengebied. (voor ligging gebieden zie Fig 1).
- 4 Relatieve afname van chlorophyl-a met de diepte in de sedimentlaag van 0-10 cm: bovenste X-as relatief t.o.v. de chlorophyl-a concentratie in de laag 0-1cm; onderste X-as: relatief t.o.v. de hoeveelheid chlorophyl-a totaal aanwezig in de laag 0-10 cm.
- 5 Twee typen afname van chlorophyl-a met de diepte in het sediment.
VA: Valkenisse, een geleidelijke afname over de hele dieptezone gedurende het gehele jaar; HU: Hulst-zomer, een sterke afname in de eerste cm, gevolgd door een geleidelijke afname tot 10cm; tijdens de winter is de relatieve afname gelijk aan die bij VA.
- 6 Relatie tussen hoogte (t.o.v. NAP) en de jaargemiddelde chlorophyl-a concentratie per meetpunt voor alle meetpunten in de Westerschelde.
- 7 Relatie tussen kleigehalte van het sediment (in de laag 0-2cm) en de jaargemiddelde chlorophyl-a concentratie per meetpunt voor alle meetpunten in de Westerschelde.
- 8 Jaargemiddelde biomassa (Westerschelde) in relatie tot kleigehalte en hoogte t.o.v. NAP samen.



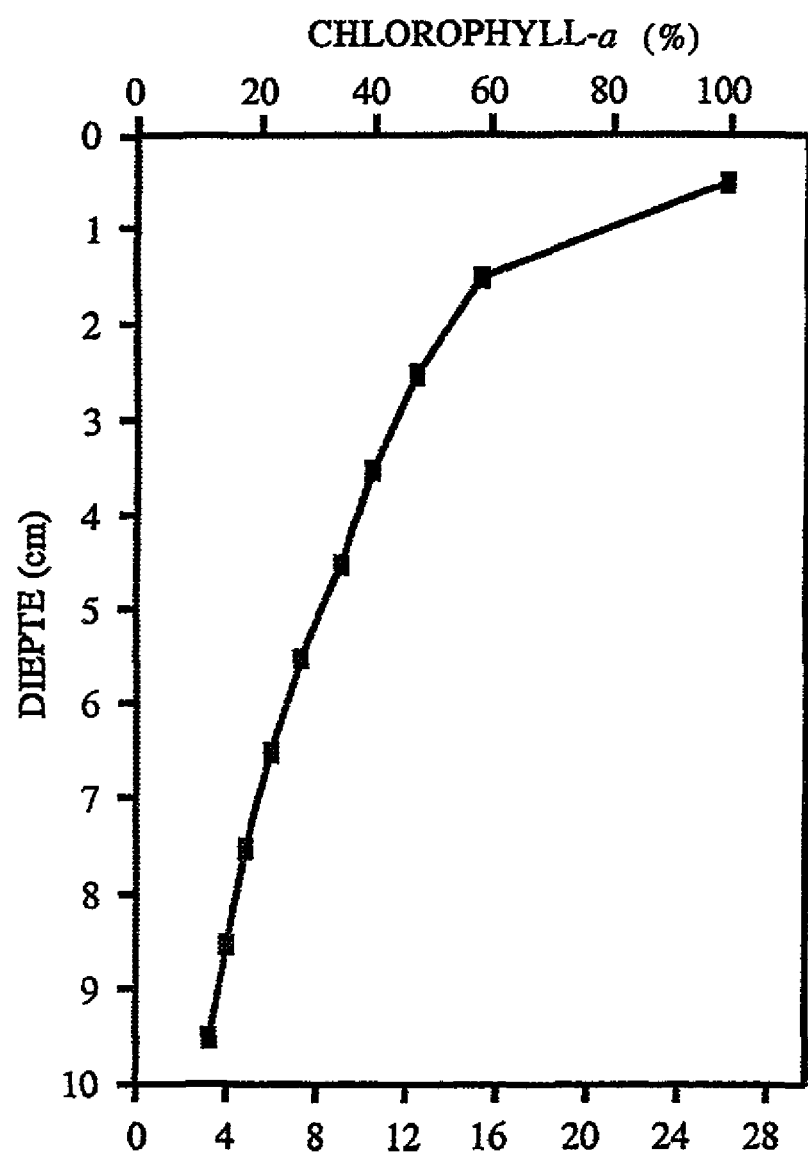
FIGUUR 1



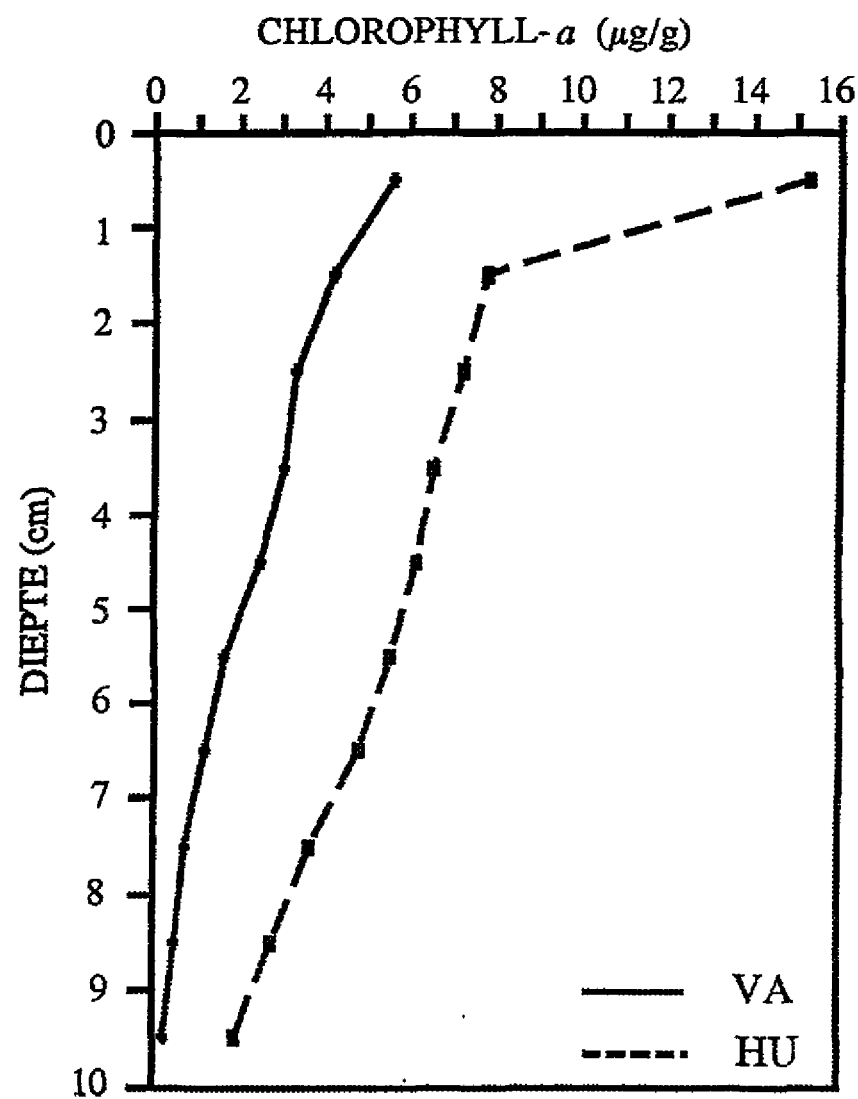
FIGUUR 2



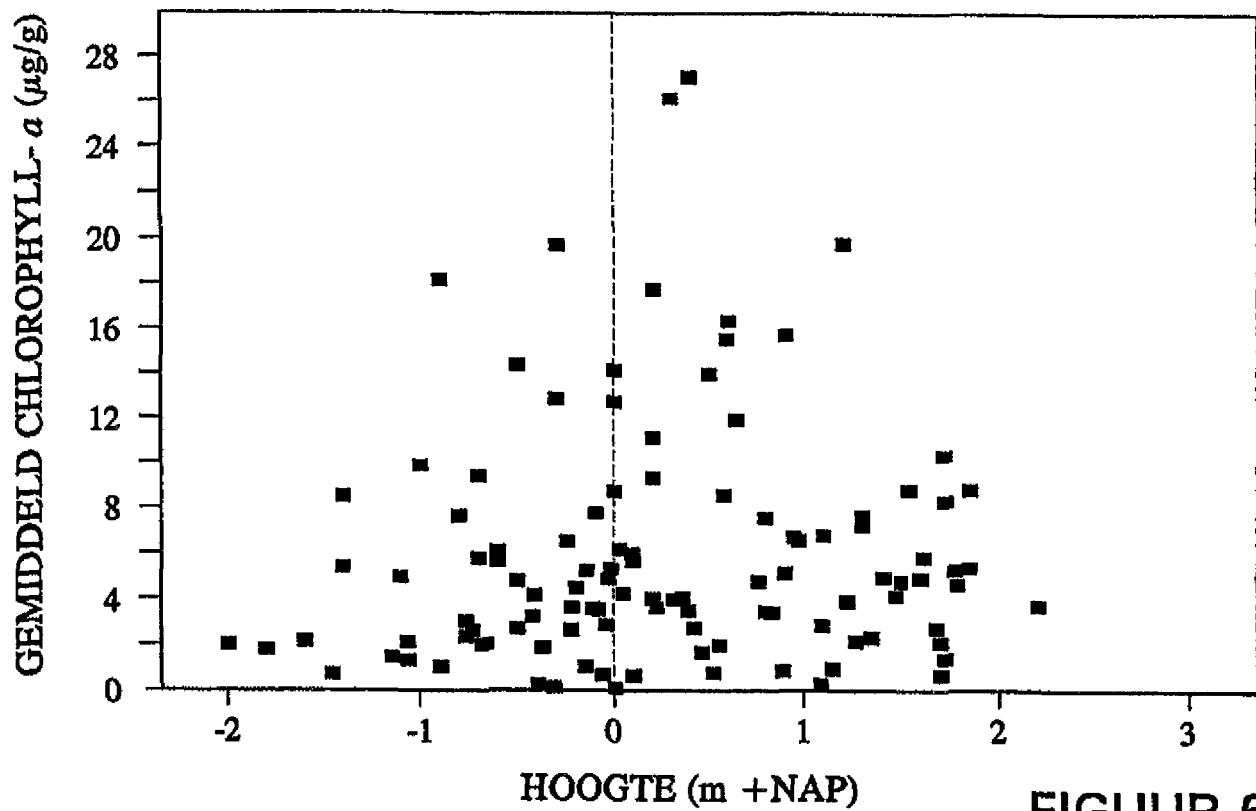
FIGUUR 3



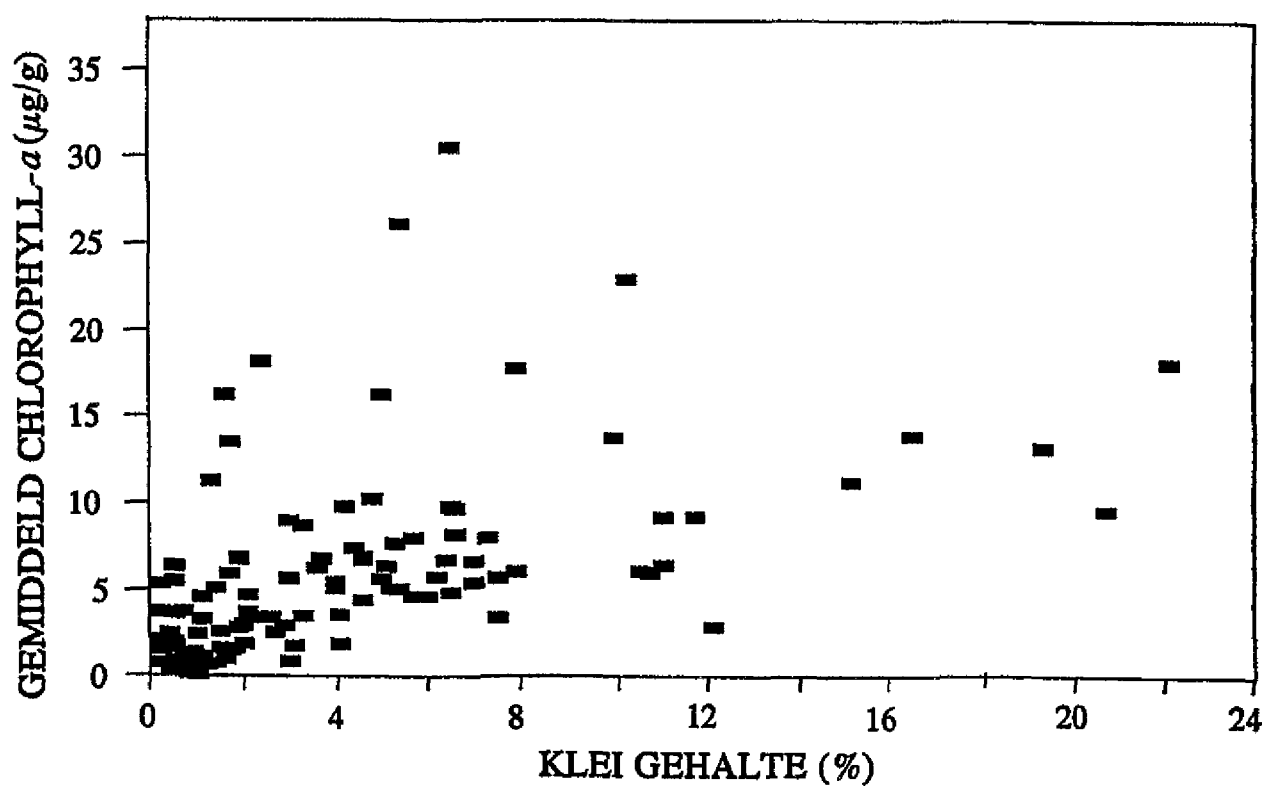
FIGUUR 4



FIGUUR 5

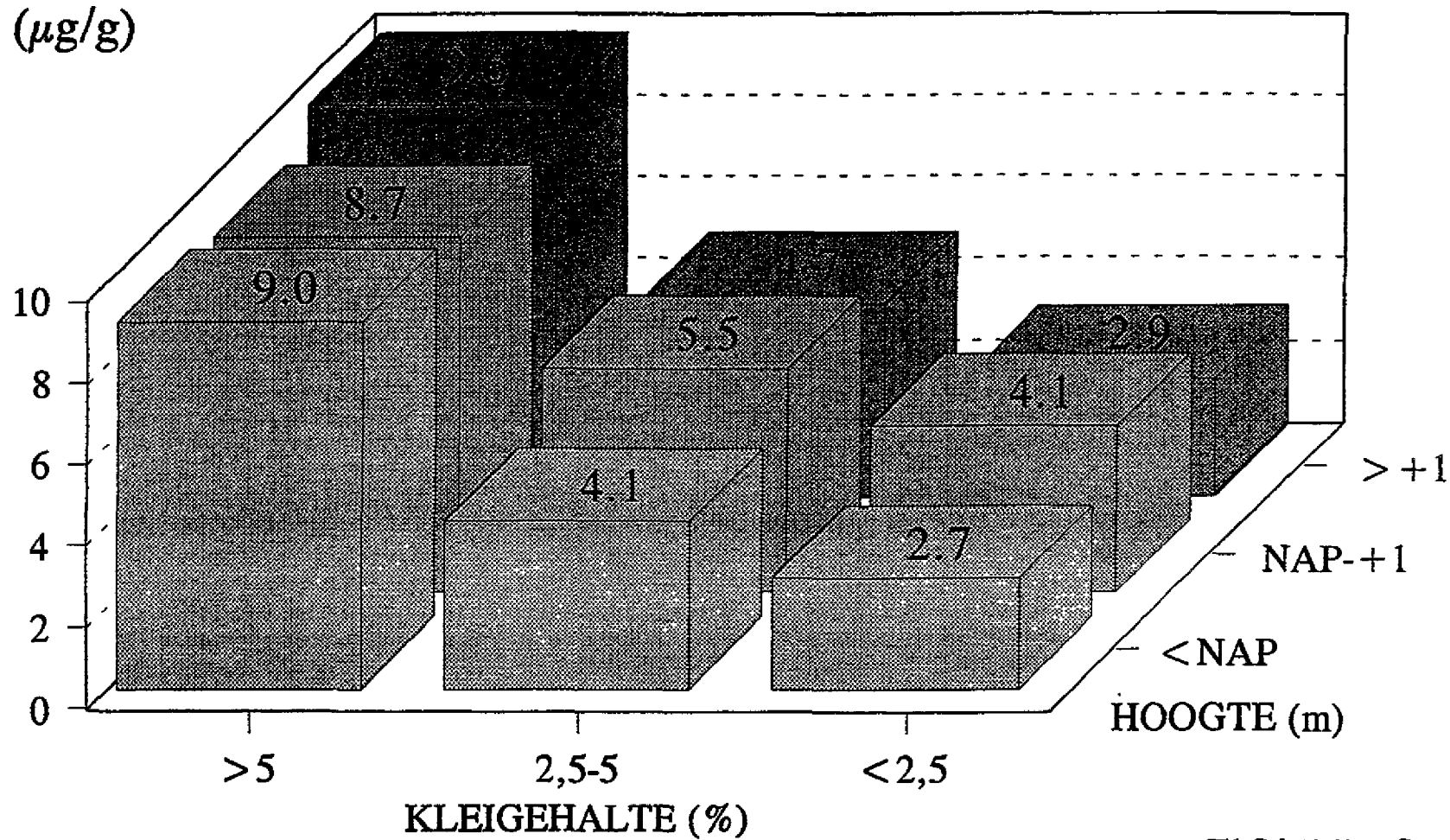


FIGUUR 6



FIGUUR 7

GEMIDDELD CHLOROPHYLL-*a*
($\mu\text{g/g}$)



FIGUUR 8