

De invloed van windgolven en stroming op
de seizoensvariatie van bentische diatomeeën
in de Westerschelde

Jeroen Verschoore de la Houssaye

IS THERE ANYTHING WE DON'T INFLUENCE,
IS THERE ANYTHING WE CONTROL?

Van Hall Instituut
Groningen

Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ
Middelburg, 23 juni 1998

Voorwoord

Voor u ligt het rapport over de invloed van de hydrodynamiek op de seizoensfluctuatie van de biomassa van benthische diatomeeën in de Westerschelde. Dit rapport is geschreven in het kader van mijn stageopdracht voor de opleiding milieukunde aan het Van Hall Instituut in Groningen / Leeuwarden.

Van af deze plaats wil ik Johan Stapel en Dick de Jong bedanken voor de opbouwende discussies, de vele hulp en het creëren van deze opdracht. Fred Geyp wil ik bedanken voor het met voorrang analyseren van de chlorofyl-a monsters. En tot slot Annemiek van der Pluijm voor de assistentie bij het veldwerk, juist toen de weersomstandigheden minder vriendelijk werden.

Middelburg, 23 juni 1998

Jeroen Verschoore de la Houssaye

INHOUDSOPGAVEN

1. INLEIDING	1
1.1 Onderzoekskader	2
1.2 Probleemstelling	3
1.3 Opbouw van het verslag	5
2. DE WESTERSCHELDE	7
2.1 De historie.....	7
2.2 De huidige Westerschelde	8
2.2.1 Saliniteit.....	9
2.2.2 Hydrodynamiek	10
2.2.3 Ecotopen	11
2.3 Leven in het estuarium.....	11
3 BENTHISCHE DIATOMEËN	15
3.1 Levenswijze en bouw.....	15
3.2 Het leefgebied en de ruimtelijke verspreiding van diatomeeën	18
3.2.1 Biomassaspreiding op macro schaal	19
3.2.2 Biomassaspreiding op micro schaal.....	20
3.2.3 Soortenverspreiding	20
3.3 De invloed van bodemdieren op benthische diatomeeën	22
3.4 Diepteverdeling.....	24
3.5 Windinvloeden.....	25
3.6 Seizoensfluctuaties	26
3.7 Diatomeeën in het Deltagebied.....	28
3.7.1 Oosterschelde.....	28
3.7.2 Westerschelde	29
4. MATERIAAL EN METHODE	33
4.1 Onderzoekslocaties	33
4.2 Bodemdieren	38
4.3 Bodemsamenstelling.....	39
4.4 Wind.....	40
4.5 Substraatdynamiek.....	41
4.6 Het meten van de biomassa en de mortaliteit van diatomeeën.....	47
5. RESULTATEN VAN DE EXPERIMENTEN	51
5.1 Bodemdieren.....	51
5.2 Bodemsamenstelling.....	52
5.3 Wind.....	55
5.4 Substraatdynamiek.....	56
5.5 Chlorofyl-a en feofytine-a bepalingen.....	60

6. DISCUSSIE	65
6.1 Everingen	65
6.2 Appelzak	66
6.3 Bath	68
6.3.1 Bath 1	68
6.3.2 Bath 2	69
6.4 Vergelijk met voorgaand onderzoek	70
 7. CONCLUSIE	 73
 8. AANBEVELINGEN VOOR VERVOLGONDERZOEK	 77
 SAMENVATTING	 79
 LITERATUUR	 83
Bijlage I de ligging van de onderzoekslocaties	87
Bijlage II het aantal bodemdieren en hun asvrij drooggewicht	89
Bijlage III Slibprofielen van de onderzoekslocaties	91
Bijlage IV tracer resultaten	93
Bijlage V relatie tussen de wind (m/s) en de substraatdynamiek	95
Bijlage VI resultaten pvc-pijpen-experimentuitgezet tegen de maximale windsnelheid (m/s)	99
Bijlage VII chlorofyl-a en feofytine-a gegevens per locatie	101
Bijlage VIII correlatie tussen chlorofyl-a en feofytine-a per locatie	105
Bijlage IX verklarende woordenlijst	107
Bijlage X lijst met figuren en tabellen	111

1. INLEIDING

"De Westerschelde wordt vernietigd!"... Aldus luidde de krantenkop in de PZC van 8 oktober 1997. De Westerschelde is van enorm economisch belang als route naar de Antwerpse industrie en havens. Maar ook ecologisch is de Westerschelde van groot belang. De verdieping van de Westerschelde zou volgens de krant een eind maken aan deze natuurlijke waarde.

Het economisch belang lijkt al jaren alles overheersend. Om de Antwerpse haven bereikbaar te houden voor de modernste zeeschepen moet er jaarlijks 10.000.000 m³ slib gebaggerd worden. In een van nature dynamisch systeem wordt momenteel de zandhuishouding en de diepteligging van de bodem door de mens bepaald (PZC 8-10-1997).

Naast deze economische waarde is de Westerschelde zeker ook 'een stroom natuurtalent'. De Westerschelde herbergt nog steeds veel natuurwaarden naast vele potentiële natuurwaarden. De Westerschelde is het grootste estuarium van Nederland, herbergt het grootste brakwaterschor van Europa en biedt voedsel en overwinteringmogelijkheden aan vele vogels (Meire et. al. 1995).

In een estuarium stroomt rivierwater naar zee en dringt zeewater met elk tij ver landinwaarts. Het tij zorgt daarnaast voor een opstuwing van het water waardoor er gebieden zijn die van tijd tot tijd overspoeld. Hierdoor ontstaat een systeem met een sterke gradiënt in overspoelingsduur en zoutgehalte. Door deze sterke gradiënten (van droog naar nat en van zoet naar zout) is er een zeer gevarieerde horizontale en verticale zonering in de flora en fauna. De sterke gradiënten resulteren in een bijzonder grote diversiteit aan flora en fauna in het Schelde-estuarium.

Door de aanvoer van nutriëntenrijk rivierwater kan de productie zeer hoog liggen. In een systeem zo rijk aan slib en organische stof als de Westerschelde is de primaire productie van het fytoplankton (normaal de belangrijkste primaire producent) vaak relatief gering. Fytoplankton heeft licht nodig voor de productie van nieuw celmateriaal. Door de grote hoeveelheid slib en organische stof die het water bevat, kan het licht slechts enkele decimeters diep in de waterkolom doordringen. Het gebrek aan licht is sterk limiterend voor de groei van het fytoplankton.

Bepaalde soorten kiezelwieren leven op de bodem van het intergetijdengebied (benthische diatomeeën). Overdag tijdens laagwater, wanneer het leefgebied van de benthische diatomeeën droog ligt, is er voor deze groep van primaire producenten geen licht limitatie. Deze benthische diatomeeën nemen dan ook een groot deel van de primaire productie voor hun rekening (de Jong & de Jonge, 1995).

Doordat benthische diatomeeën ook nog eens het hele jaar rond een hoge productie hebben zijn ze van zeer groot belang voor de "depositfeeders" in het estuarium. Vele duizenden overwinterende of doortrekkende vogels zijn daar weer afhankelijk van. Daarnaast zijn benthische diatomeeën een belangrijke voedselbron voor een aantal vis- en vogelsoorten.

Golven en stroming kunnen tijdens hoogwater zorgen voor het in suspensie brengen van een deel van de diatomeeën. Dit deel van de diatomeeën maakt dan tijdelijk deel uit van het fytoplankton en kan dan bijdragen aan de productie in de waterkolom. In de winter, als het fytoplankton vrijwel afwezig is, zijn deze zwevende diatomeeën verantwoordelijk voor een groot deel van de productie in de waterkolom. In de winter vormen diatomeeën dan ook een belangrijke voedselbron voor "filterfeeders" (de Jonge & van Beusekom, 1995).

1.1 Onderzoekskader

De Nederlandse getijdengebieden worden, net als alle Nederlandse (natuur)gebieden, actief beheerd. Hiertoe vinden verschillende ingrepen plaats op het gebied van beheer en inrichting, zowel op het ecologische als op het economische vlak. Deze maatregelen hebben direct en indirect effect op de morfologie van de Westerschelde. Een van de belangrijkste verstorende ingrepen is het baggeren. Er is gebleken dat het totaal aan plaatareaal in het midden en oostelijk deel van de Westerschelde sinds 1931 is toegenomen (Sisternans, 1996). Door het uitdiepen van de geulen zijn de plaatranden steiler geworden. Door het storten van de baggerspecie zijn de platen hoger en groter geworden, waardoor een toename van het leefgebied van de benthische diatomeeën verwacht kan worden (de Jong & de Jonge, 1995). Sinds de verdieping van de vaargeul is ook de dynamiek op een groot oppervlak van de platen

sterk toegenomen (MOVE rapport 97.049). Hierdoor wordt er meer sediment van de platen naar de geulen getransporteerd.

Door de geplande toename in de baggeractiviteiten in het kader van de verdieping van de Westerschelde, zal de hydrodynamische energie op de platen en slikken naar verwachting verder toenemen. Het gevolg is dat het water nog verder zal vertroebelen, waardoor de productie van het fytoplankton waarschijnlijk zal afnemen. Door het storten van baggerspecie zal het plaatoppervlak en dus het habitat voor bodemgebonden organismen zoals de benthische diatomeeën, verder toenemen (MOVE rapport 97.049; Sijstermans, 1996). Door de toename van de dynamiek zullen de benthische diatomeeën niet optimaal kunnen profiteren van deze vergroting van hun habitat. De primaire productie per oppervlakte-eenheid zal vermoedelijk afnemen. Hierdoor is het de vraag of de totale primaire productie toe of af zal nemen. Afname zou ook negatieve gevolgen voor hogere organisme kunnen hebben. Om de invloed van dit soort technische maatregelen te kunnen bepalen is veel kennis nodig over deze ingreep-effect-relaties. Hiertoe is veel en breed onderzoek noodzakelijk.

Diatomeeën komen in de gehele Westerschelde voor, zowel op de zeer dynamische platen als op de iets rustigere slikken. Uit monitoringsonderzoek in de Westerschelde (Stapel & de Jong, in prep.) blijkt, dat op een aantal locaties in de Westerschelde de diatomeeën in de winter vrijwel geheel verdwijnen, terwijl op andere locaties het jaar rond hoge dan wel lage waarden aan chlorofyl-a worden gevonden. Over het algemeen zijn de gevonden chlorofyl-a concentraties lager dan in de Oosterschelde. Zowel in de Oosterschelde als in het Eems-estuarium zijn de sterke seizoensfluctuaties zoals die in de Westerschelde lokaal worden gevonden, afwezig. De oorzaak voor deze grote seizoensfluctuaties in de Westerschelde is niet exact bekend. Naar aanleiding van het genoemde onderzoek van Stapel en de Jong is er wel een vermoeden ontstaan, wat tot de volgende probleemstelling heeft geleid.

1.2 Probleemstelling

Er worden twee soorten locaties onderscheiden: A) met een hoge seizoensvariatie in het chlorofyl-a gehalte en B) zonder seizoens variatie.

A) Voor lokaties met een hoge seizoens variatie worden twee oorzaken vermoed:

1 In het winterseizoen waait het gemiddeld harder dan in het zomerseizoen (KNMI gegevens). Hierdoor treedt er meer golfwerking op zodat in de winter de bovenlaag van de bodem mogelijk meer wordt omgewoeld, of in suspensie wordt gebracht dan in de zomer. Vermoed wordt dat de in of op het sediment voorkomende diatomeeën met het sediment mee zullen resuspenderen. Als de stroomsnelheid hoog genoeg is zal het geresuspendeerde materiaal waarschijnlijk naar de geul worden afgevoerd en zullen ook de diatomeeën verdwijnen.

2 Er treed geen afvoer van sediment op maar extra bodem omwoeling. Bij omwoeling van de bodem zullen de diatomeeën dieper in de bodem terechtkomen. Vermoed wordt dat beweeglijke diatomeeën weer langzaam naar de oppervlakte zullen kruipen. Niet alle soorten diatomeeën zijn echter in staat zich te verplaatsen. Deze onbeweeglijke soorten zijn afhankelijk van de bodemomwoeling om weer terug aan de oppervlakte te komen. Als een diatomee niet van tijd tot tijd aan de oppervlakte, in de fotische zone, komt, kan er geen fotosynthese plaatsvinden en sterft deze na verloop van tijd. Een constante geringe bodemomwoeling zoals door stroomribbel migratie optreed is waarschijnlijk dan ook bevorderlijk voor de diatomeeën. Het optreden van stormen kan er voor zorgt dat diatomeeën erg diep in het sediment terecht komen. Doordat stormen maar af en toe optreden kan het erg lang duren voor de diatomeeën die onder de constant omgewoelde laag terecht komen, weer aan het oppervlak komen. De mortaliteit zal dan in de diepte toenemen.

B) Voor de locaties die nauwelijks een seizoensvariatie vertonen geldt waarschijnlijk een iets ander verhaal. Op locaties met het hele jaar een hoog chlorofyl-a gehalte zal de omwoelende werking van de golven ook in de winter geringer zijn en is de stroomsnelheid mogelijk lager, zodat minder materiaal naar de geulen wordt afgevoerd. Locaties die het jaar rond een zeer laag chlorofyl-a gehalte hebben zijn waarschijnlijk het hele jaar zeer dynamisch.

De bodemsamenstelling heeft niet alleen invloed op de stabiliteit van de bodem en de mate van wegspoelen maar ook op de soortensamenstelling van de diatomeeën (Sabbe & Vyverman, 1991). Zandig sediment zal minder snel wegspoelen dan slibbig sediment. Zand bevat meer onbeweeglijk vastgekitte diatomeeën. De sedimentsamenstelling is op zijn beurt weer afhankelijk van de stroomsnelheid en de golfwerking.

Uiteindelijk is de volgende hypothese opgesteld:

De sterke seizoensvariatie in de chlorofyl-a waarden op een aantal slikken in de Westerschelde wordt veroorzaakt doordat de bodem op deze locaties gevoelig is voor

de winterse toename in de hydrodynamische energie. Op de locaties met een vrij constant chlorofyl-a gehalte is de bodem minder gevoelig voor de toename in golfenergie, of de locatie is dusdanig gesitueerd dat de golven geen invloed op de bodem van deze locatie hebben.

1.3 Opbouw van het verslag

Omdat dit verslag geschreven is in het kader van een stage voor het van Hall Instituut in Groningen / Leeuwarden, zal niet elke lezer op de hoogte zijn van de "ins en outs" van het onderzoeksgebied. Daarom wordt in het tweede hoofdstuk een algemeen beeld van het Schelde-estuarium gegeven, van de onstaansgeschiedenis tot aan de huidige Westerschelde.

Informatie over de bouw, leefwijze en het voorkomen van diatomeeën is te vinden in het derde hoofdstuk. In deze beknopte literatuurstudie over bentische diatomeeën wordt naast algemene informatie ingegaan op de ruimtelijke verspreiding van diatomeeën op macro- en microschaal en de abiotische factoren die hierbij een belangrijke rol spelen. Daarna wordt er ingegaan op de soortenverspreiding, de diepteverdeling en de optredende seizoensfluctuaties. Als laatste volgt een beschrijving van windinvloeden op sediment en diatomeeën. In het vierde hoofdstuk wordt een beschrijving gegeven van de geselecteerde onderzoekslocaties. Daarna worden de gebruikte meetmethoden beschreven. In hoofdstuk vijf worden de resultaten weergegeven gevolgd door de discussie en de conclusie in respectievelijk hoofdstuk zes en zeven.

2. DE WESTERSCHELDE

Het onderzoeksgebied van deze studie, de Westerschelde, is voor velen een onbekend gebied of is alleen bekend als scheepvaartroute. De Westerschelde is echter heel wat meer.

2.1 De historie

Reeds in het Holoceen stroomde de Schelde samen met de Maas en de Rijn naar zee, waar zij, samen met de Theems, bij de huidige Doggersbank uitmondde in de Noordzee (zie figuur 1). Toen de sterke stijging van de zeespiegel na de laatste ijstijd ophield vormde zich, langs de gehele kust, een aaneengesloten strandwal. Achter deze strandwal ontstond een lagune die door de aanvoer van rivierwater verzoette. In deze lagune werd een dik pakket van veen en riviersediment gevormd. Door het opnieuw stijgen van de zeespiegel werd de strandwal doorbroken; het veen werd op veel plaatsen weggeslagen of overdekt met een kleilaag. Door het ontstaan van diepe kreekgeulen konden eb en vloed ver landinwaarts doordringen. Doordat het stroomgebied van de Schelde hoog opgeslibd was, zocht deze een andere loop. Ter hoogte van de huidige Oosterschelde vond de Schelde in een van deze kreekgeulen de Noordzee. Doordat de rivier in het opgeslibde gebied naar nieuwe geulen bleef zoeken ontstond een breed vertakt netwerk van geulen en platen. Vlak voor onze jaartelling was de sterkste stijging van de zee over en kregen de standwallen gelegenheid om zich te herstellen (Zonneveld, 1971). Vervolgens gingen de Romeinen op de hoge delen nederzettingen bouwen (van der Kam & Wolff, 1974). In de derde eeuw werden de Romeinen door de zee verdreven (Wolff & Post, 1979). Het hele deltagebied werd weer overstroomd. Enige eeuwen is het gebied vrijwel onbewoond geweest totdat de mens in de 10^{de} eeuw terugkwam. In de elfde en twaalfde eeuw begon de mens met de bouw van de eerste verdedigingswerken tegen de wéér oprukkende zee. Tot dan toe was de Schelde een smalle rivier geweest die zijn eigen loop bepaalde. De bovenloop van de rivier is in al die tijd niet veel veranderd maar de benedenloop was geheel anders dan heden ten dage (van der Kam & Wolff, 1974).



figuur 1 De Noordzee in het Holoceen (Meire et. al., 1995)

De benedenloop is in de laatste eeuwen fors veranderd door de zee en de mens in een 'spel' van geven en nemen. De zee begon weer langzaam te stijgen en tussen 1350 en 1600 gingen veel dijken verloren door stormvloed en oorlogshandelingen (van de Kam & Wolff, 1974). Hierdoor verdween veel land in de golven (nu nog vinden we deze gebieden terug als het Verdrongen Land van Reimerswaal, Saefthinge etc.) Door het inklinken van de bodem en het winnen van turf, lagen veel gebieden lager dan N.A.P. en was herinpoldering erg moeilijk. Rond 1600 had de Zeeschelde zijn hoogtepunt bereikt wat betreft het kombergendvermogen. Door de grote hoeveelheden water die de geulen te verstouwen kregen werden ze erg diep. Aan het eind van de 17^{de} eeuw, toen de invloed van de zee afnam en de Gouden Eeuw begon, werd met nieuwe technieken en veel geld begonnen aan het inpolderen van het verloren land. De Westerschelde krijgt langzaam zijn huidige vorm. In 1867 wordt de Kreekrak afgedamd en 1871 wordt het Sloe afgesloten. Hiermee is de Westerschelde definitief gescheiden van de Oosterschelde (Wolff & Post, 1979). Tot ver in de jaren 50 van deze eeuw worden er nog stukken schor ingepolderd. In de loop van de 19^{de} eeuw krijgt de Westerschelde zijn functie als scheepvaartroute en aan het begin van de 20^{ste} eeuw begint men met de baggerwerkzaamheden, eerst op relatief kleine schaal later op grote schaal (Meire et. al., 1995).

2.2 De huidige Westerschelde

De rivier de Schelde ontspringt in Noord Frankrijk op 355 km vanaf zee, op een hoogte van 100 meter. Vanaf Gent tot de Nederlands / Vlaamse grens heet de rivier 'de Zeeschelde', vanaf de grens tot aan Vlissingen de Westerschelde.

De Westerschelde vormt samen met de Vlaamse Zeeschelde het Schelde-estuarium. Het bijzondere aan het Schelde-estuarium is het zeer ver landinwaarts dringen van het getij. Tot aan de (in de 13^{de} eeuw gebouwde) sluis bij Gent, 160 km van zee, is er een meters hoog getijdenverschil (van de Kam & Wolff, 1974).

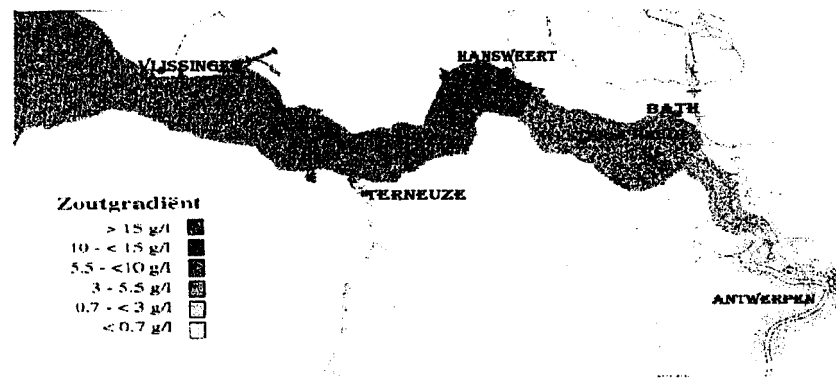
Door de stroming van de rivier worden grote hoeveelheden plantaardig materiaal en duizenden tonnen zand en slib vervoerd. Door het vlakke karakter van het estuarium bezinken er dikke lagen zand en slib. Zonder bemoeienis van de mens zou de rivier zijn stroomgeulen in het vlakke laagland aanpassen en zou er een netwerk van geulen ontstaan. Bij de Westerschelde is deze veelstroom bedding door de mens min of meer gefixeerd (Meire et. al., 1995).

Het getij trekt als een langgerekte golf het estuarium binnen. Door de geringer wordende diepte en het nauwer worden van het estuarium ondergaat het vloedwater een opstuwung. Het getijdenverschil neemt toe van ongeveer 3,8 m bij Vlissingen tot 5,2 m vlak voor Antwerpen. Daarna neemt het getijdenverschil, door de toenemende weerstand, weer af tot 2 meter bij Gent. Doordat verder landinwaarts steeds minder water door het getij verplaatst wordt neemt de schaal van de geulen en het oppervlak aan intergetijdengebied steeds verder af (Meire et. al., 1995).

2.2.1 Saliniteit

De Schelde is een typische regenrivier. Afhankelijk van de regenval stroomt er via de Schelde ruim 10 miljoen m³ water per etmaal de Westerschelde in. Bij elke vloed stroomt er bij Vlissingen een honderdmaal grotere hoeveelheid zeewater de Westerschelde in. Het is dit samenspel van zoet- en zoutwater dat het unieke karakter van het Schelde-estuarium bepaald. Door het continue sterke mixen van de twee watertypen door het getij ontstaat er een zeer egale longitudinale zout gradiënt. Op basis van het zoutgehalte kunnen grofweg drie gebieden onderscheiden worden. Naast een unieke zoetwater getijdenzone tussen Gent en Rupelmonde, is er een brakkenzone tussen Antwerpen en Hansweert en een volledig zoutenzone tussen Hansweert en Vlissingen. In de zoetwaterzone ligt het zoutgehalte onder de 3 g/l meestal is het echter nog veel lager. In de brakkenzone loopt het zoutgehalte op van 3 naar 10 g/l en in de zoutenzone vinden we een zoutconcentratie van 15 a 18 g/l (zie figuur 2).

Niet alleen is er een verschil in het zoutgehalte over de lengte van de Schelde, maar ook op één locatie varieert het zoutgehalte per getij enkele grammen. Door extremen in de rivierafvoer kan dit verschil per locatie gedurende het jaar oplopen tot bijna 10 g/l (Meire et. al., 1995).



figuur 2 De zoutgradiënt in de Westerschelde (Meire et. al., 1995)

2.2.2 Hydrodynamiek

Ook de hydrodynamiek vertoont een sterke gradiënt. De bodemsamenstelling varieert hierdoor van grof zand tot fijn slib. Midden in de Westerschelde liggen grote zandplaten waar het water met grote snelheid overheen stroomt. Hier vindt men stroomribbels tot wel twee meter hoog. De platen kennen ook rustigere gedeelten, die vlakker en rijker aan slib zijn. Langs de oevers komen, in rustigere delen, zeer lutumrijke slikken voor.

De hydrodynamiek wordt grofweg bepaald door de stroomsnelheid en de golfwerking. De stroomsnelheid is afhankelijk van het getijverschil en het geulenpatroon. De golfwerking is afhankelijk van de wind, de scheepvaart en de diepte. De slikken zijn gesitueerd langs de dijk waar de dynamiek over het algemeen lager is. Hierdoor is het slibgehalte op de slikken over het algemeen hoog (Meire et. al., 1995). Het is gebleken dat de stroomsnelheid ook op slibrijke slikken hoog kan zijn (Koster Engineering, 1997). Tijdens doodtij is er daar waarschijnlijk voldoende tijd om slib te laten bezinken. Door de gladde cohesieve structuur van het slib treedt tijdens de getijwisseling waarschijnlijk maar weinig erosie op. Daarnaast zijn diatomeeën in staat om dikke klei-algen-matten te vormen, waardoor slib wordt vastgehouden en

ingevangen (Vos, 1986). De sliblaag verdwijnt pas als deze door golven wordt geresuspendeerd en vervolgens door de stroming wordt afgevoerd.

Als de slikken voldoende hoog zijn opgeslibd en de overstromingsduur kort geworden is kunnen er de eerste pioniersplanten gaan groeien, zoals Zeekraal, Engels slijkgras (in de meer zoute delen) en Zeebies (in de meer brakke delen). Deze planten versnellen de opslibbing en bieden zo vestigingsmogelijkheden voor diverse andere soorten. Deze schorren worden alleen nog bij springvloed overstroomd (Meire et. al., 1995).

2.2.3 Ecotopen

De belangrijkste ecotopen zijn de waterkolom, de platen, de slikken en de schoren. In Tabel 1 is de oppervlakte verdeling van de verschillende ecotopen te zien.

Tabel 1 Oppervlakte in ha per ecotopen (Meire et. al., 1995)

	Water	Slik	Schor	<i>Totaal</i>
Zeeschelde	3000	656	518	<i>4174</i>
Westerschelde	17598	10581	3175	<i>31354</i>
<i>Totaal</i>	<i>20598</i>	<i>11237</i>	<i>3693</i>	<i>35528</i>

In 1800 had de Westerschelde een oppervlakte van ongeveer 45000 ha. Heden ten dage beslaat de Westerschelde ruim 31000 ha (Meire et. al., 1995).

2.3 Leven in het estuarium

In een estuarium komen door de grote gradiënten zeer veel verschillende organismen op een kleine oppervlakte voor. Op de slikken leven geheel andere planten en dieren dan op de schorren en in de geulen. Maar ook de invloed van het rivierwater zorgt voor verschillende leefgemeenschappen. Met het veranderen van het zoutgehalte verandert ook de soortensamenstelling. Per zoutzone worden specifieke soorten gevonden.

De zoute zone

Rond de monding in Vlissingen is het ecosysteem afhankelijk van de lokale primaire productie door fytoplankton en bentische diatomeeën. De productie is hoog door de aanvoer van nutriënten uit het rivierbekken. In de monding van de Westerschelde vinden we een typische kustwaterfauna met een grote rijkdom aan soorten. De bodemdieren zijn in deze zoute zone het best vertegenwoordigd zowel in aantallen als in soorten. Typische soorten in deze zone zijn de Zeeduizendpoot, de Wadpier, Zandzager, Kokkel en Nonnetje (Meire et. al., 1995).

De brakke zone

Meer stroomopwaarts vindt men een uitgebreide brakwaterzone die gekenmerkt wordt door een heterotroof systeem. De daar levende organismen zijn hoofdzakelijk afhankelijk van organisch materiaal uit de rivier. De respiratie is hier hoger dan de productie. Ondanks het hoge gehalte aan voedingsstoffen is de fotosynthese laag door het gebrek aan licht in de waterkolom. De productie in de brakwaterzone is vrijwel geheel afkomstig van bentische diatomeeën. Door de grote aanvoer van organisch materiaal (onder meer uit het riool van Brussel en Antwerpen, maar ook van afstervende zoetwateralgen) is de bacteriële activiteit zeer hoog. Hierdoor kan een onderverzadiging van zuurstof optreden. In de brakwaterzone vinden we vooral soorten die bestand zijn tegen de variaties in het zoutgehalte. Op de slikken zijn dit vooral het Nonnetje, de Slijkgarnaal en de Zeeduizendpoot (Meire et. al., 1995).

De zoete zone

In het zoete getijdengebied tussen Antwerpen en Gent zou een derde voedselwebtype kunnen voorkomen, gebaseerd op lokale primaire productie van plantaardig plankton. Door de hoge vervuiling van dit deel van de rivier vindt hier echter momenteel hoofdzakelijk anaërobe stikstoffixatie plaats. Door het gebrek aan zuurstof komt hier slechts zeer weinig dierlijk leven voor. In een schoon zoet getijdengebied bestaat het bodemleven uit vele wormen en insectenlarven (Meire et. al., 1995).

De voornaamste consumenten van het fytoplankton en het detritus in de waterfase zijn bodemdieren (macrozoöbenthos). Bodemdieren komen voornamelijk voor op de platen en slikken tot enkele meters onder de laagwaterlijn. Er kunnen drie hoofdgroepen onderscheiden worden:

1. Wormen (b.v. Zeeduizendpoot, Wadpier, Zager, Drollenworm, *Oligochaeta*)
2. Schelpdieren (b.v. Nonnetje, Kokkel, Wadslakje)
3. Kreeftachtigen (b.v. Slijkgarnaal, gewone Garnaal, Zeepissebed)

De meeste bodemdieren zijn "depositfeeders", zij leven van organisch materiaal in en op de bodem zoals detritus, diatomeeën enz. "Filterfeeders" zijn bodemdieren die zich voeden met uit de waterkolom gefilterd materiaal (Meire et. al., 1995).

Zoals gezegd is door de aanvoer van rivierwater het nutriëntenaanbod en dus de primaire productie hoog. Door het ondiepe water, het droogvallen van de platen en slikken en de hoge productie leven er veel bodemdieren in de Westerschelde. Deze bodemdieren zijn een belangrijke voedselbron voor o.a. vogels. In de winter is de Westerschelde een belangrijk overwinteringsgebied voor vele vogels, die op de droogvallende platen en slikken naar voedsel zoeken en op de schorren en in binnendijkse gebieden rusten. Door het rustige ondiepe water en het grote voedselaanbod is de Westerschelde ook een belangrijke kraamkamer voor vissen (Meire et. al., 1995).

3 BENTHISCHE DIATOMEËN

Platen en slikken lijken op het eerste gezicht vrij levenloze vlaktes. Niets is echter minder waar; het intergetijdengebied wordt door vele soorten bodemdieren bewoond. Het aantal plantensoorten is hier echter zeer beperkt, hogere planten komen er niet voor. De enige vertegenwoordigers van de groep der planten is het microfytobenthos: een verzameling van ééncellige algen die op het sediment leven. Het microfytobenthos bestaat in het intergetijdengebied van estuaria in gematigde streken vrijwel uitsluitend uit diatomeeën (Sabbe & Vyverman, 1991; de Jonge 1992).

3.1 Levenswijze en bouw

Diatomeeën of kiezelwieren zijn ééncellige algen die overal leven waar voldoende vocht en licht aanwezig is. Diatomeeën leven zowel in het water (planktonische diatomeeën) als op de bodem (benthische diatomeeën). Planktonische diatomeeën zijn vaak zeer fraai gevormd, met vele uitsteeksels welke bedoeld zijn om te blijven zweven. Door deze vele uitsteeksels zijn ze niet in staat om op de bodem te leven. Benthische diatomeeën zijn veel minder fraai van vorm, maar wel in staat om in het water te (over)leven. Door de afwezigheid van uitsteeksels blijven ze echter niet zweven en zullen dus na enige tijd uit de waterkolom verdwijnen en weer op de bodem terechtkomen (De Jong & van Beusekom, 1992).

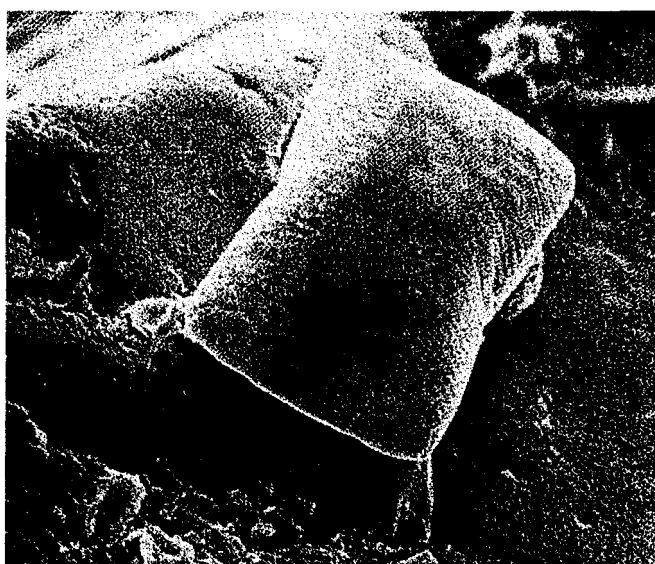
Alle diatomeeën bezitten een kiezelskelet (SiO), dat is opgebouwd uit twee afzonderlijke delen die over elkaar heen vallen. Aan de hand van de grootte en de vorm van het skelet worden de diatomeeën ingedeeld in talrijke soorten. Gemiddeld is een benthische diatomee tussen de 20 en 30 μm , met uitschieters van 5 tot 200 μm (Round, 1971 in Vos 1986).

Op basis van hun leefwijze worden twee groepen benthische diatomeeën onderscheiden:

- | | |
|------------------|--|
| 1. epipsammische | <20 μm , d.m.v. slijmtubes aan het zand vastgekit |
| 2. epipelische | >20 μm , kunnen door hun slijmhuide vrij bewegen (Balans,). |

Benthische diatomeeën kunnen zich door middel van slijm vasthechten aan het substraat waarop ze leven. De wijze van aanhechting verschilt per soort en per substraat. Epipelische diatomeeën scheiden een slijmerige substantie uit die zorgt voor een verkitting van het sediment. Daarnaast kunnen deze diatomeeën, als ze aan de oppervlakte komen, een compleet diatomeeënnetwerk vormen (Vos, 1986). Epipsammische diatomeeën scheiden een veel geringere hoeveelheid slijmerige substantie uit. Daarnaast kunnen epipsammische diatomeeën sediment (zand) aan zich binden. Doordat één diatomee zich aan twee zandkorrels kan hechten, het zogeheten tweezijdig kit effect, zijn er zelfs epipsammische soorten die een netwerk van diatomeeën en zandkorrels kunnen bouwen. De sedimentstabiliserende werking van epipsammische diatomeeën is over het algemeen geringer (Vos, 1986). Doordat beide groepen benthische diatomeeën een kleverige substantie aanbrengen op het sediment, hebben ze een sedimentstabiliserende werking. De mate van stabilisering is afhankelijk van het soort sediment en de soort diatomee (Holland et. al. 1974 in Vos 1986).

Epipsammische diatomeeën kunnen zich vasthechten aan het sediment (zie figuur 3) maar zijn verder zelf niet beweeglijk. Hun beweging is dus afhankelijk van de beweging van het sediment. Door de beweging van het sediment kunnen de diatomeeën echter ook van het zand afgespoeld worden of beschadigd raken (Delgado et. al., 1991). De adhesie en schuifspanning van epipsammische diatomeeën is in het algemeen veel groter dan van epipelische diatomeeën. De adhesie verschilt per diatomeeën soort en neemt af bij het voortbewegen. (Harper & Harper in Vos, 1986). Bij lage stroomsnelheden overheersen de epipelische diatomeeën, bij hogere stroomsnelheden gaan de epipsammische overheersen (De Jonge 1985).



figuur 3 Een epipsammische diatomee (Vos, 1986)

Epipelische diatomeeën (zie figuur 4) kunnen zich voortbewegen door zichzelf voort te trekken over hun eigen slijmspoor zoals een slak dat doet (Vos, 1986). De snelheid van voortbeweging verschilt sterk per soort en is afhankelijk van de temperatuur (Hopkins, 1963 in Vos 1986), instraling (Nultsch, 1971 in Vos 1986; Harper, 1977 in Vos, 1986) en nutriënten (Drum & Hopkins, 1966; Drum, 1969 in Vos, 1986). De gemiddelde voortbewegingssnelheid varieert per soort tussen de 2 en 11 $\mu\text{m/s}$ ofwel 0,7 tot 4 cm/uur. Omdat diatomeeën afhankelijk zijn van fotosynthese kruipen zij naar het licht toe. Bij diatomeeën in het intergetijdgebied is een op- en neergaand bewegingsritme waargenomen (Palmer & Round, 1967 en Round, 1979 in Vos, 1986). Tijdens het droogvallen van het sediment kan hierdoor een bruinkleuring op het sediment ontstaan. In extreme gevallen ontstaat zelfs een dikke bruine slijmerige mat. De periode van maximale mobiliteit valt samen met de periode van maximale verandering in licht intensiteit (Harper, 1976 in Vos, 1986).



figuur 4 Epipelische diatomeeën (Vos, 1986)

3.2 Het leefgebied en de ruimtelijke verspreiding van diatomeeën

Benthische diatomeeën worden in alle estuaria en ondiepe watergebieden op de wereld aangetroffen. De hoeveelheden en soorten verschillen echter per gebied. Maar ook binnen een gebied treedt er spreiding op in de productie, veroorzaakt door de gradiënten in de abiotische milieu-omstandigheden. Van de volgende abiotische en biotische factoren is uit laboratoriumexperimenten bekend dat ze van invloed zijn op de diversiteit, de soortensamenstelling en de biomassa:

1. Licht intensiteit (Colijn & de Jonge, 1981; Cadeé & Hegeman, 1977)
2. Temperatuur (Admiraal, 1977)
3. Stroomsnelheid (Colijn & Dijkema, 1981)
4. Golfwerking (Colijn & Dijkema, 1981)
5. Korrelgrootte verdeling van het sediment (van der Hoek et. al., 1979)
6. Nutriënten gehalte (Harper, 1977)
7. Begrazing en bioturbatie (Fenchel & Kofoed, 1976; Admiraal et. al., 1983)
8. Osmotische druk van het water (Admiraal, 1977)

De stroomsnelheid en golfwerking bepalen samen in grote mate de substraatdynamiek van een locatie en deze dynamiek is verantwoordelijk voor de korrelgrootte-verdeling van het sediment. De samenstelling van de diatomeeëngemeenschap is vaak gerelateerd aan de korrelgrootte-verdeling en aan de dynamiek (de Jong & de Jonge, 1995). Hierbij is het de vraag welke factor primair bepalend is voor de diatomeeënsamenstelling, gezien de koppeling tussen deze twee factoren.

Een aantal van deze factoren is seizoensafhankelijk. Het is te verwachten dat als de sturende factoren (zoals licht en temperatuur) seizoensafhankelijk zijn, ook de diatomeeënbioomassa seizoensafhankelijk is. Maar het karakteristieke van een epipsammische diatomeeënpopulatie is nu juist het ontbreken van een duidelijke seizoensvariatie. (Amspoker & McIntire, 1978; de Jonge, 1985).

3.2.1 Biomassaspreiding op macro schaal

De belangrijkste oorzaken voor heterogeniteit van de biomassa van benthische diatomeeën binnen een kust / intergetijdengebied zijn:

1. Het verschil in energie per locatie.

Gebieden met een zeer hoge stroomsnelheid of veel golfwerking (zoals de randen van zandplaten) vertonen een lage biomassa aan diatomeeën (de Jong & de Jonge, 1995).

2. De hoogteligging van de locatie.

In gebieden met troebel water, zoals estuaria, is de hoeveelheid licht die in de waterkolom doordringt minimaal. Onder water is de productie van diatomeeën dan ook verwaarloosbaar klein. Hoe hoger een punt ligt, hoe langer de droogvaltijd en dus meer instraling. Dit resulteert in een hogere productie en meestal in een hogere biomassa (Cadeé & Hegeman, 1977; Colijn & de Jonge, 1984; Stapel & de Jong, in prep.). In gebieden met helder water is ook de productie onder water van belang. Binnen het intergetijdengebied van gebieden met helder water is de hoogteligging van ondergeschikt belang. In de echt diepe delen komen, doordat licht beperkt in water kan doordringen, geen benthische diatomeeën voor (Sundbäck, 1983).

3. Het verschil in begrazing.

Diatomeeën zijn een voedselbron voor met name bodemdieren, maar ook voor sommige vissen en vogels (Meininger & Snoek, 1982). De dichtheden aan grazers kunnen sterk variëren, waardoor de hoeveelheid weggegraasde diatomeeën verschilt (Fenchel & Kofoed, 1976).

4. Verschil in nutriëntenaanbod.

In estuaria zijn er meestal ruim voldoende nutriënten aanwezig, zodat dit zelden tot grote verschillen leidt (Harper 1976 in Vos 1986).

5. Verschil in diatomeeën soorten.

De biomassa van benthische diatomeeën lijkt gerelateerd te zijn aan het slibgehalte. Dit wordt veroorzaakt doordat de soortensamenstelling gerelateerd is aan het slibgehalte (zie paragraaf 3.2.3).

In slib leven meer epipelische diatomeeën die veel groter zijn dan epipsammische diatomeeën. Bij het voorkomen van epipelische diatomeeën zijn deze, ondanks veel geringere aantallen, bepalend voor de biomassa. Epipsammische diatomeeën zijn wat aantal betreft vrijwel altijd in de meerderheid maar leveren slechts weinig biomassa (Vos, 1986).

3.2.2 Biomassaspreiding op micro schaal

De biomassa aan diatomeeën varieert niet alleen op macro schaal maar ook op micro schaal. Binnen één vierkante meter kan de biomassa met een factor 3,5 verschillen (De Heer uit van der Hoek et. al. 1979). Deze variatie in biomassa wordt waarschijnlijk veroorzaakt door een aantal onderling nauw samenhangende factoren zoals stroming, golfwerking, korrelgrootte verdeling, geomorfologie en lichtintensiteit (lichtdoordringing in het sediment) (Wolff, 1973; Vos, 1986). In zandige sedimenten, met voornamelijk onbeweeglijke epipsammische diatomeeën, wordt dit verschijnsel toegeschreven aan de stroomribbelmigratie (Grand et. al. In Vos, 1986).

De bruinkleuring die optreedt bij het aan het oppervlak komen van de diatomeeën geeft geen indicatie voor het aantal diatomeeën in de bovenste cm van het sediment (De Heer uit van der Hoek et. al. 1979). Een bruine kleur duidt op de aanwezigheid van diatomeeën. De afwezigheid van een bruine kleur duidt echter niet op de afwezigheid van diatomeeën. In een niet gekleurd stukje sediment kan het aantal diatomeeën groter zijn dan in het naast gelegen gekleurde deel. Een verklaring hiervoor is dat de epipelische diatomeeën naar de oppervlakte kruipen en een bruinkleuring veroorzaken. Daarnaast kunnen echter ook grote hoeveelheden epipsammische diatomeeën aanwezig zijn. De epipsammische diatomeeën kunnen echter niet naar de oppervlakte kruipen en zijn dus niet zichtbaar (Vos, 1986).

3.2.3 Soortenverspreiding

Diatomeeën komen vrijwel in elk ondiep water of intergetijdengebied voor, maar per locatie bestaat de diatomeeënflora wel uit verschillende soorten of soortgroepen (Sabbe & Vyverman, 1991).

Diatomeeën blijken een zeer grote zout tolerantie te hebben. Er kan op basis van zoutgehalte maar over twee klassen gesproken worden: de zoetwatersoorten en de zouttolerante soorten.

De overgang van zoetwatersoorten naar zouttolerante soorten vindt plaats bij een zoutgehalte tussen de 2 en 5 g/l (Admiraal, 1977; Amspoke & McIntire, 1978; Sabbe & Vyverman 1991).

De soortensamenstelling lijkt net als de biomassa gerelateerd te zijn aan het slibgehalte. De grotere, beweeglijke epipelische soorten komen in fijn korreligere sedimenten in relatief grote aantallen voor. In zandige afzettingen komen relatief weinig epipelische diatomeeën voor. (Van de Hoek et. al, 1979; Admiraal, 1984; Sabbe & Vyverman 1991). Dat epipelische diatomeeën vooral in fijne sedimenten leven heeft waarschijnlijk niet te maken met hun voorkeur voor slib, maar met het feit dat de korrelgrootte-verdeling van het sediment over het algemeen een afgeleide is van de hydrodynamiek. In slibrijke gebieden is de dynamiek over het algemeen laag waardoor diatomeeën niet voortdurend weggespoeld worden. Doordat epipsammische diatomeeën zich aan het substraat hechten kunnen deze soorten een hogere dynamiek verdragen. Epipsammische diatomeeën zijn in slibrijke gebieden in verhouding tot zandige gebieden in kleinere aantallen aanwezig, omdat deze diatomeeën zandkorrels nodig hebben om aan te hechten. In absolute aantallen overheersen ze meestal ook in slibrijke sedimenten (Vos, 1989).

Het blijkt dat er zowel ruimtelijke als temporele verschillen bestaan in soortensamenstelling en het percentage epipelische diatomeeën (Colijn & Dijkema, 1981). Karakteristiek aan een epipsammische diatomeeënpopulatie is de grote diversiteit. (Amspoker, 1977; Amspoker & McIntire, 1978; de Jonge, 1985). De grote diversiteit in een epipsammische diatomeeënpopulatie en de lage dominantie per soort (zowel epipsammische als epipelische) wijzen er op dat er weinig competitie tussen diatomeeënsoorten bestaat. Door de hoge begrazing en de voortdurende beweging van het sediment die zorgen voor een groot verlies aan diatomeeën, wordt nooit een eindstadium in de ontwikkeling bereikt en is concurrentie dus niet aan de orde (Vos, 1986). Hierdoor is het in het veld ook heel moeilijker een relatie tussen bepaalde abiotische factoren en de hoeveelheid biomassa aan te tonen; de diatomeeën krijgen niet de kans optimaal van de gunstige abiotische factoren te profiteren omdat andere factoren deze in ongunstige zin overheersen (Amspoke, 1977; Vos, 1986).

3.3 De invloed van bodemdieren op benthische diatomeeën

Microfytobenthos wordt sterk begraasd door zoöbenthos en meiobenthos. Hier is echter nog zeer weinig over bekend. Daarnaast spelen bodemdieren een belangrijke rol bij de bodemstabiliteit en de resuspensie van bodemmateriaal. De aanwezigheid van bodemdieren zorgt voor bodemdestabilisatie door graaactiviteiten en door het doorbreken van cohesieven-klei-silt-structuren. Ook zorgen bodemdieren voor een verhoogde resuspensie door een verhoogd contact tussen sediment en water te bewerkstelligen. Uitwerpselen van bodemdieren bevatten grote hoeveelheden sediment. Naar gelang de soort worden de uitwerpselen in het water gespoten zoals veel depositfeeders doen of in hoopjes aan de oppervlakte neergelegd zoals veel in het sediment gravende wormen doen (Davis, 1993).

Door de graaactiviteiten van bodemdieren treedt er ook een verhoogde sedimentomwoeling plaats. Sediment van de oppervlakte wordt tijdens het graven opgegeten en later op een andere plaats (dieper) weer uitgescheiden en vice versa.

Op de onderzoekslocaties worden verschillende soorten bodemdieren aangetroffen. De volgende vijf soorten lijken de meeste invloed te hebben doordat deze lokaal hoge dichtheden bereiken:

- | | |
|-----------------------------------|----------------|
| 1. <i>Macoma balthica</i> | Nonnetje |
| 2. <i>Nereis spec.</i> | Zeeduizendpoot |
| 3. <i>Heteromastus filiformis</i> | Drollenworm |
| 4. <i>Corophium</i> | Slijkgarnaal |
| 5. <i>Eteone spec.</i> | |
| 6. <i>Oligochaeta</i> | |

Deze vijf soorten laten een geheel verschillend beeld in sedimentomwoeling en sedimentdestabilisatie zien.

Macoma balthica leeft ingegraven in het sediment. De ingraafdiepte van *Macoma balthica* varieert met het seizoen van 3 tot 10 cm diepte (Zwart & Wanink 1989).

Macoma balthica behoort tot de filterfeeders en voedt zich via een dubbele sifon. Deze sifon blijft doorgroeien waardoor adulte dieren dieper ingegraven liggen dan juveniele (Olafsson 1986). Door de platte schelp en de gespierde voet is het Nonnetje een uitstekende graver.

Sedimentatie tot 25 cm/maand in zand en 14 cm/maand in slib kan worden overleefd. (Kranz, 1974; Bijkerk, 1988; Steur et al., 1996). De adulte Nonnetjes komen in vrijwel elk substraat voor, uitgezonderd grove en slibarme substraten (Ysebaert & Meire, 1991). Als een *Macoma balthica* zich eenmaal heeft ingegraven is de graaactiviteit vrij gering. De sedimentomwoeling door deze soort is dus niet erg groot. De sedimentdestabilisering zou voort kunnen komen uit de aanwezigheid van de dubbele sifon. Maar doordat deze sifon afgewerkt is met een slijmlaag is het maar de vraag of deze sifon een negatief effect heeft op de sedimentstabiliteit. Tijdens het foerageren treedt wel een directe sedimentresuspensie op doordat de uitwerpselen via één van de sifons direct in het water wordt gespoten. (Davis, 1993). Het nonnetje verkrijgt zijn voedsel van het sedimentoppervlak (Stikvoort, mondelinge communicatie)

Nereis spec zijn door het sediment gravende wormen. Deze zeeduizendpoten zijn predator/omnivoor. De hoeveelheden begraasd microfytobenthos zullen gering zijn maar de omwoeling kan wel degelijk van belang zijn (Stikvoort, mondelinge communicatie).

Heteromastus filiformis ofwel de Drollenworm is een sediment-eter die in met slijm beklede gangetjes leeft.

Corophium leeft in een U-vormige gang, op een diepte van 1 tot 6 cm. Deze gang wordt continu geïrrigeerd. Het substraat binnen het bereik van de antennes (ongeveer 1 cm) wordt in de gang getrokken. De Slijkgarnaal voedt zich met in het sediment aanwezig organisch materiaal en behoort dus tot de depositfeeders. *Corophium* prefereert, naar gelang de ondersoort, een slibrijke of een wat grovere, minder slibrijke zandbodem (Wolff, 1973). De verspreiding wordt vooral bepaald door de stabiliteit van de bodem. *Corophium* wenst een stabiele bodem en komt niet voor naast bodemdieren die een destabilisering van de bodem veroorzaken zoals *Arenicola marina* (Wadpier) (Reise, 1985). In zeer grove, slibarme sedimenten komt de soort niet voor. De Slijkgarnaal verdraagt een sedimentatie tot 2 cm/maand; bij een hogere sedimentatie vlucht de Slijkgarnaal (Bijkerk, 1988). De Slijkgarnaal begraast vooral de bovenste mm van het sediment. De manier van voedsel zoeken van *Corophium* heeft een grote sedimentomwoeling van de bovenste centimeters van de bodem tot gevolg.

Eteone spec zijn door het sediment gravende predatoren/omnivoren.

Oligochaeta: Dit is een groep kleine wormen die moeilijk determineerbaar is en daarom meestal als groep wordt samengenomen. Deze wormen injecteren een waterige sedimentsuspensie direct in het water en zorgt op die manier voor erosie.

3.4 Diepteverdeling

In zandige afzettingen dringt licht ongeveer 2 tot 4 mm in het sediment door (Fenchel en Staarup, 1971 in Vos 1986). In slibrijke sedimenten kan dit teruglopen tot 0,4 mm. In de bovenste millimeters van het sediment, waar genoeg licht beschikbaar is voor fotosynthese, bevindt zich dan ook de grootste concentratie diatomeeën. Diatomeeën komen echter voor tot een diepte van ongeveer 10 cm. In zandige sedimenten komt ongeveer 25 % van de diatomeeën in de bovenste cm voor, in slibbige sedimenten is dit ongeveer 30 % (De Jong et. al, 1994; Daemen & de Leeuw-Vereecken, 1985; Gargas & Gargas 1982; Joint, 1978;). Het diep voorkomen van diatomeeën kan veroorzaakt worden door resuspensie en sedimentatie van sediment (De Jonge, 1992), het voortbewegen van de diatomeeën (Cadée & Hegeman, 1974) en bioturbatie (Cadée, 1976).

Benthische diatomeeën zijn fotosynthetiserende organismen, maar als ze dieper in het sediment terechtkomen kunnen de diatomeeën gedurende een langere periode van meerdere dagen tot weken dieper in het sediment overleven. Vele soorten beschikken zelfs over een zekere mate van groei. Sommige soorten kunnen zich zelfs vermeerderen zonder licht (Admiraal & Peletier, 1979). Deze heterotrofe groei is echter vele malen beperkter dan de autotrofe groei en niet voldoende om de soort zonder licht te doen voortbestaan. De diatomeeën die dieper in het sediment (over)leven zijn van belang doordat het juist deze diatomeeën zijn die na omwoeling of erosie van de bodem weer aan het oppervlak komen en kunnen gaan fotosynthetiseren en dus produceren (Cadée & Hegeman, 1974).

De afname aan biomassa in de diepte is in zandige sedimenten geleidelijker dan in slibbig sedimenten (De Jonge, 1985). De steilere afname in slibrijke sedimenten wordt veroorzaakt door de verminderde lichtdoordringing en de sneller optredende anaërobe zone (sulfide toxicatie) (Daemen & de Leeuw-Vereecken, 1985)

3.5 Windinvloeden

Tijdens een periode van harde wind zal de golfinwerking op het sediment groter zijn dan in een rustige periode. De in dan wel op het sediment levende diatomeeën worden samen met het sediment geresuspenderd. De resuspensie van slib en diatomeeën is lineair gerelateerd aan de effectieve windsnelheid (de Jonge & van Beusekom, 1995). Door stroming kan dit geresuspenderde materiaal worden afgevoerd waardoor de biomassa aan diatomeeën na een storm geringer is dan er voor (De Jonge, 1985).

Bij lage windsnelheden is de hoeveelheid geresuspenderd materiaal vrij constant. Tegen de dijk aan wordt ook tijdens rustig weer een lichte verhoging van geresuspenderd materiaal gemeten (de Jonge & van Beusekom, 1995). Deze verhoging wordt veroorzaakt doordat er dicht tegen de dijk aan een concentratie van de golfinwerking plaatsvindt. Bij een toename van de windsnelheid (van 5 naar 10 m/s) neemt de hoeveelheid geresuspenderd materiaal met een factor 5 meer toe dan bij een vergelijkbare toename van de stroomsnelheid (de Jonge & van Beusekom, 1995). De golfinwerking lijkt belangrijker dan de stroming om materiaal te resuspenderen. Golven zorgen voor de resuspensie waarna de stroming kan zorgen voor de afvoer van het geresuspenderde materiaal naar de geulen. Dat stroming niet voor veel resuspensie zorgt wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat enerzijds de stroming een min of meer constante factor is en anderzijds doordat boven slikken en platen de waterdiepte bij hoogwater vrij gering is.

De stroming is van invloed op de macro verspreiding van diatomeeënsoorten (paragraaf 3.2.3). Diatomeeën in een gebied met hogere stroomsnelheden zouden, door de continue blootstelling aan deze stroomsnelheden, misschien beter bestand zijn tegen hydrodynamische krachten. In een vlak ondiep gebied als de Oosterschelde zal de invloed van golven dan ook vermoedelijk minder zijn dan in een gebied als de Westerschelde met veel steilere overgangen tussen de geulen en de platen en slikken. In de Westerschelde zijn de geulen groter en dieper, de hier ontstane golven hebben een veel geconcentreerdere aanval op de steilere platen en slikken.

In het Dollardgebied zijn drie hoogwaterperiodes met een windsnelheid van 12 m/s nodig om 50 % van de diatomeeën naar de geulen af te voeren. (de Jonge & van Beusekom, 1995). Als het geresuspenderde materiaal niet door de stroming wordt afgevoerd maar

na de storm weer bezinkt is de verdeling van de biomassa van diatomeeën over het diepteprofiel van de bodem een stuk gelijkmatiger geworden. Na de storm treedt vanzelf herstel op door voortplanting, migratie naar het oppervlak en bezinking van diatomeeën op het sedimentoppervlak (Vos, 1986). Vier dagen na de storm kan de diatomeeënpopulatie weer hersteld zijn (Vos, 1986). In de Oosterschelde blijkt er een significante relatie te bestaan tussen de maximale windsnelheid in een periode van vier dagen voorafgaand aan de monsternamen en het chlorofyl-a gehalte. Deze afname van chlorofyl-a wordt gemeten vanaf windkracht 6 à 7 Bft. Op een aantal zeer beschut gelegen locaties is deze correlatie echter niet gevonden (Vos, 1986).

Het door hydrodynamische energie geresuspendeerde deel van de diatomeeën is in de winter, bij afwezigheid van fytoplankton, een belangrijke voedselbron voor filterfeeders (De Jonge, 1985). In een periode met meer wind kan de biomassa aan diatomeeën niet alleen afnemen door afvoer naar de geul maar ook door de toegenomen begrazing.

3.6 Seizoensfluctuaties

Fytoplankton kan in het voorjaar en zomer enorm pieken om vervolgens in de winter nagenoeg te verdwijnen. Over het algemeen is de seizoensvariatie bij benthische diatomeeën veel geringer. Dit is te verklaren uit zowel een geringe maximale waarde als een geringe minimale waarde.

Benthische diatomeeën betrekken hun koolstof uit het poriënwater in het sediment. De diffusiesnelheid van CO₂ uit het (poriën)water naar de diatomeeën is meestal limiterend voor de maximale groeisnelheid van benthische diatomeeën (Admiraal & Peletier, 1982). De limitatie door koolstofgebrek treedt op voordat andere nutriënten (zoals P, N, of Si) limiterend worden zoals dat bij fytoplankton het geval is (Admiraal & Peletier, 1982). De diffusiesnelheid van CO₂ is niet seizoensafhankelijk waardoor diatomeeën het jaar rond gelimiteerd worden. Doordat diatomeeën niet sterk kunnen pieken in voorjaar of zomer, kunnen ze ook niet sterk dalen in najaar of winter.

Een tweede oorzaak voor het ontbreken van een seizoensvariatie is het ontbreken van een afname in najaar en winter. De geringe minimale waarden worden veroorzaakt doordat er het hele jaar voldoende licht is.

Uit laboratoriumexperimenten blijkt dat slechts in de donkerste dagen van december en januari, op de laaggelegen (dus kort droogvallende) delen van het intergetijdengebied, lichtlimitatie optreedt. De rest van het jaar is er op de drooggevalle platen voldoende licht voor de diatomeeën. (Admiraal & Peletier, 1982 in Vos 1986). Deze resultaten worden door veldexperimenten in de Oosterschelde ondersteund. In de Oosterschelde is geen relatie aan te tonen tussen de instraling in de dagen voorafgaand aan de monsternamen en de biomassa aan diatomeeën. Hetzelfde geldt voor temperatuur en diatomeeënbiomassa (Vos, 1986).

Het seizoensverloop is voor verschillende gebieden alles behalve gelijk. In veel gebieden wordt de ontwikkelingsfase waarin koolstof limiterend is in het geheel niet gehaald doordat andere factoren limiterend worden zoals b.v. een hoge dynamiek of sterke begrazingsdruk. In veel gebieden treedt er geen enkele seizoensvariatie op terwijl er in andere gebieden een voorjaarspiek optreedt.

In weer andere gebieden is er pas een bloei in de zomer of in de herfst. Ook het verschil tussen de maximale en minimale chlorofyl-a waarden verschilt per gebied. Locaties met een hoog chlorofyl-a gehalte vertonen in juli en soms ook in augustus nogal eens een daling in het chlorofyl-a gehalte. Als reden voor deze daling worden de volgende oorzaken genoemd:

1. Te hoge temperaturen aan het sediment oppervlak
(Daemen & de Leeuw-Vereecken, 1985)
2. Toegenomen begrazing (Daemen & de Leeuw-Vereecken, 1985)
3. Foto-inhibitie, treedt bij bentische diatomeeën echter niet snel op
(Admiraal 1977; van den Hoek et. al., 1979)
4. Door de hoge O₂ productie kan de mat losraken en gaan drijven
(Daemen & de Leeuw-Vereecken, 1985)

In zandige gebieden worden vaak lagere biomassawaarden gevonden dan in slibrijke gebieden. In de Waddenzee wordt op de zandige locaties het hele jaar een lage biomassa gevonden terwijl op de slikkige locaties in het voor- en najaar een duidelijke bloei optreedt (Colijn & Dijkema, 1981).

3.7 Diatomeeën in het Deltagebied

3.7.1 Oosterschelde

Op 4 oktober 1986 is de stormvloedkering in de monding van de Oosterschelde in gebruik genomen. De stormvloedkering heeft grote gevolgen gehad voor het achterliggende gebied. De hydrodynamiek is afgenomen en het water heeft een grotere helderheid gekregen. Doordat rivieren afgesneden zijn, is de aanvoer van slib gestagneerd. Door de bouw van de kering is het getijdenverschil afgenomen met 30%. Hierdoor is de stroming met ongeveer 25 % afgenomen (de Jong, et. al, 1994). Het chlorofyl-a gehalte in de bodem, afkomstig van de benthische diatomeeën, is na het gereedkomen van de stormvloedkering flink gestegen. Momenteel wordt in de Oosterschelde een licht fluctuerend chlorofyl-a gehalte gevonden van ongeveer $15,2 \mu\text{g}/\text{cm}^2$. Dit gehalte is in zomer en winter vrijwel gelijk. Het chlorofyl-a gehalte wordt omgerekend naar productie. Uit deze getallen en de schatting voor de toegenomen onderwaterproductie (toegenomen helderheid) wordt geschat dat de jaarproductie van benthische diatomeeën ongeveer $26 \cdot 10^6 \text{ kg C/j}$ bedraagt. Vóór de bouw van de stormvloedkering bedroeg de geschatte productie 10^6 kg C/j . De toename van de totale benthische diatomeeën productie is voornamelijk veroorzaakt door de toegenomen productie op de platen en de ondiepe gebieden. Op de slikken is vrijwel geen verandering waargenomen (Stapel & de Jong, in prep.).

Door de hoge hydrologische dynamiek van vóór de bouw van de kering bestond de bodem van de meeste platen uit zand. Door de afname van de dynamiek zijn deze platen nu laag dynamisch geworden. Normaliter zou er dan een sliblaag afgezet worden maar doordat er geen slib meer aangevoerd wordt, blijven deze gebieden zandig. In deze laag dynamische zandgebieden is de biomassa van benthische diatomeeën het meest omhoog gegaan. Op de slikken (in de kom) is weinig veranderd omdat deze altijd al laag dynamisch waren (de Jong, et. al, 1994). Door de afname van de dynamiek op de platen is het verschil in biomassa tussen de platen en de slikken grotendeels verdwenen. Deze resultaten wijzen er dus op dat de dynamiek een abiotische factor is die belangrijker is dan het slibgehalte (Stapel & de Jong, in prep.).

Het verloop van de biomassa in de Oosterschelde toont aan dat de in het laboratorium gevonden relaties tussen temperatuur, licht etc., in het veld niet eenduidig aanwezig hoeven te zijn.

In de Oosterschelde is in het voor- en najaar een iets hoger chlorofyl-a gehalte te vinden dan in de zomer en de winter (Vos, 1986), maar dit is niet significant (Stapel & de Jong, in prep.). Direct na het gereedkomen van de stormvloedkering steeg het chlorofyl-a gehalte; in 1996 was het chlorofyl-a gehalte weer terug op de uitgangspositie (Stapel & de Jong, in prep.). De jaren direct na het gereedkomen van de kering waren gemiddeld warmer dan normaal en 1996 was juist kouder dan normaal (jaar overzicht KNMI). Dit zou kunnen duiden op een "overall" relatie met temperatuur of licht maar zou bijvoorbeeld ook veroorzaakt kunnen worden doordat het in 1996 gemiddeld harder waaide.

Door de afname van het getij is ook het verschil tussen eb en vloed afgenomen. Hierdoor is de golfwerking geconcentreerd op een kleiner gebied. De toename in de golfwerking bedraagt ongeveer 10 %. Deze toename komt niet tot uiting in de diepteverdeling van de diatomeeën (de Jong et. al., 1994).

In de Oosterschelde zijn de epipsammische diatomeeën verreweg het beste vertegenwoordigd. Op vele locaties maken zij 95 % van het totale aantal uit. Het aantal epipsammische diatomeeën is het hele jaar vrijwel constant. Het aantal epipelische diatomeeën neemt in het voorjaar (februari tot en met mei) toe van 5 % tot maximaal 10 % van het totale aantal diatomeeën.

Blijkbaar is het aantal epipelische diatomeeën in de Oosterschelde wel afhankelijk van het seizoen maar het aantal epipsammische niet (Vos, 1986). Epipsammische diatomeeën zijn zeer talrijk maar hebben weinig biomassa. Epipelische diatomeeën zijn weinig talrijk maar hebben veel biomassa. De toename van het aantal epipelische diatomeeën zou de lichte toename in de biomassa in het voorjaar kunnen verklaren (Vos, 1986).

Na de bouw van de stormvloedkering is het aantal diatomeeën sterk toegenomen. De soortensamenstelling is lokaal wel iets veranderd maar er is geen duidelijke verschuiving in de soortensamenstelling te zien (Vos, 1989). Op plaatsen waar vóór de stormvloedkering megaribbelvelden voorkwamen, is de soortenarme populatie veranderd in een meer soortenrijke populatie. Maar behalve dat hebben de technische ingrepen niet geleid tot een drastische verandering in de soortensamenstelling (Vos, 1989).

3.7.2 Westerschelde

In de Westerschelde wordt, net als in Oosterschelde, al vele jaren de diatomeeën populatie gemonitord via het chlorofyl-a gehalte van de bodem. Maandelijks wordt

de bovenste cm van het sediment bemonsterd. In het voor- en najaar wordt op deze locaties naast het slibgehalte het chlorofyl-a gehalte tot 10 cm diepte bemonsterd. Deze monsters worden op vaste gemarkeerde locaties gemeten. Op een aantal van deze locaties wordt ook de sedimentatie / erosie gemeten. Deze locaties worden de diatomeeënplots genoemd.

In de Westerschelde vindt de productie door benthische diatomeeën voor het overgrote deel plaats in het intergetijdengebied, tijdens de droogval perioden. Hooggelegen monsterpunten vertonen dan ook het hoogste chlorofyl-a gehalte, omdat laaggelegen punten later droogvallen en weer eerder overspoeld raken. De totale productie is geschat op $7,6 \cdot 10^6$ kg C/J (Stapel & de Jong, in prep.).

In de Westerschelde wordt op de meeste diatomeeënplots een duidelijke seizoensvariatie gevonden. Een drietal diatomeeënplots vertoont echter het hele jaar een hoog chlorofyl-a gehalte en een aantal plots vertoont het jaar rond een zeer laag chlorofyl-a gehalte (Stapel & de Jong, in prep.). In rustige gebieden wordt in de zomer een toename van het slibgehalte in de bovenste cm geconstateerd, waarna er in de winter weer een afname van het slibgehalte optreedt (de Jong & de Jonge, 1995).

In de Westerschelde zijn een tweetal chlorofyl-a diepte profielen aangetroffen. Bij de eerste is er over de gehele diepte een vrij constante afname, voor de tweede is er in de eerste cm een zeer steile afname waarna een geleidelijke afname volgt. De helling van de lijn in het diepere gedeelte is in beide gevallen gelijk. De meetpunten met een steile afname in de top laag zijn gesitueerd in rustige gebieden. Door de geringe omwoeling van het sediment door de golven en stroming blijft het chlorofyl-a in de bovenlaag zitten en komt niet dieper te recht. Door winterstormen wordt het sediment tot op grotere diepte omgewerkt en dus komt het chlorofyl-a dieper in de bodem terecht (de Jong & de Jonge, 1995).

Op die onderzoekslocaties in de Westerschelde waar bloei van het microfytobenthos optreedt, begint deze bloei in het vroege voorjaar om in de zomer te eindigen. Aan het eind van de zomer treedt op een aantal locaties nog een late of tweede bloei op (de Jong & de Jonge, 1995). De afname van de bloei in de zomer wordt waarschijnlijk niet veroorzaakt door een gebrek aan nutriënten aangezien de Westerschelde een zeer eutroof systeem is (Kromkamp et. al., 1994). Gezien het feit dat de biomassa aan diatomeeën slechts in zeer geringe mate gecorreleerd is met temperatuur en instraling, wat bevestigd wordt door de afwezigheid van seizoensfluctuaties in de Oosterschelde, moet hier een andere verklaring voor gevonden worden.

Mogelijk ligt de oorzaak in een hoge begrazing, verdringing door andere organismen of een toename van de hydrodynamiek.

De chlorofyl-a waarden fluctueren van jaar tot jaar enigszins. Deze jaarfluctuaties worden zowel in de Oosterschelde als in de Westerschelde gevonden en komen wat betreft het verloop met elkaar overeen (Stapel & de Jong, in prep.).

4. MATERIAAL EN METHODE

Om de gestelde hypothese (par 2.1) te kunnen toetsen zijn er tussen half september 1997 en eind maart 1998 een aantal veldexperimenten uitgevoerd. De studietijd is opgedeeld in 8 perioden van vier weken. Voor het uitvoeren van de veldexperimenten zijn vier locaties geselecteerd. Per locatie zijn de volgende parameters bepaald:

1. Het aantal en de biomassa aan bodemdieren als maat voor de graafactiviteit en de mogelijke begrazing.
2. Het slibgehalte als maat voor de bodemsamenstelling
3. De hydrodynamiek als afgeleide van de windsnelheid (verkregen van het KNMI)
4. Substraatdynamiek door middel van gekleurde bodemtracers en pvc-pijpen
5. Biomassa aan diatomeeën door middel van chlorofyl-a bepaling
6. Feofytine-a ter bepaling van de dode diatomeeën (afspoeling of sterven)

4.1 Onderzoekslocaties

De vier geselecteerde locaties zijn zo gekozen dat twee locaties een sterke seizoensfluctuatie hebben en twee locaties geen seizoensfluctuatie hebben. De locaties zonder seizoensfluctuatie hebben het hele jaar hoge chlorofyl-a concentraties. De keuze voor de onderzoekslocaties is gemaakt op basis van het monitoringsonderzoek van Stapel & de Jong (in pep.). Daarnaast is ook gekeken naar locaties met een zo laag mogelijke menselijke verstoring. De locaties zijn gelegen aan de noordoever van de Westerschelde: op de Slikken van Everingen, Appelzak en Bath. (zie bijlage I)

Slikken van Everingen

De Slikken van Everingen zijn gelegen in het midden van de Westerschelde. Op het oostelijk deel van Everingen liggen een drietal diatomeeënplots die in het kader van het onderzoek van Stapel en de Jong bemonsterd zijn.

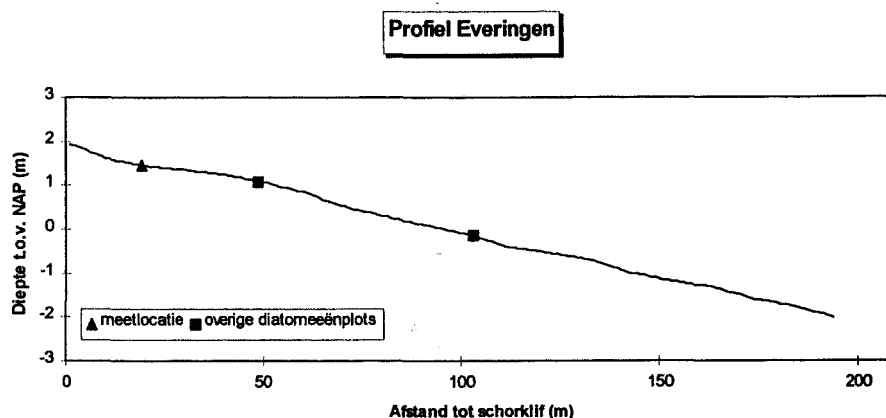
Alle drie deze diatomeeënplots geven een sterke seizoensfluctuatie te zien. Voor dit onderzoek is het hoogst gelegen plot geselecteerd (figuur 5) vanwege de hogere concentraties chlorofyl-a die hier in de zomer gevonden zijn (par 3.6).

Bodemopbouw: Vanaf het schor (gelegen voor de slikken) tot aan het eerste diatomeeënplot bestaat de bovenste 30 cm uit slibrijk zand. Onder dit slibrijk zand bevindt zich een vrij stevige zandlaag. De bovenlaag is tamelijk kleiig. Tussen plot 1 en 2 neemt de sliblaag in dikte af. Vanaf plot 2 tot de laagwaterlijn bestaat de bodem uit slap zand. De overgang van het slibrijke zand naar het zand bestaat uit een scherp klif. Aan de laagwaterlijn liggen megaribbels.

Chlorofyl-a: De chlorofyl-a concentraties zijn in de winter erg laag (25 mg/m²) en in de zomer hoog (250-300 mg/m²). De bloei treedt op in de maanden mei t/m augustus. De onderlinge verschillen tussen de plots zijn gering (Stapel & de Jong, in prep.).

Dynamiek: De maximale stroomsnelheid varieert aan de laagwaterlijn tussen de 110 en 140 cm/s. Aan de schorrand varieert de stroomsnelheid tussen de 30 cm/s in het oosten tot 70 cm/s in het westen. De maximale golfhoogte is ongeveer 100 cm bij de laagwaterlijn en 30 à 60 cm bij de schorrand (Koster Engineering, 1997).

Hoogte ligging: Het meetpunt ligt op een hoogte van + 1,5 m NAP. Per getijden-cyclus (12:25 uur) is het punt ongeveer 2,5 uur overspoeld (zie figuur 5).



figuur 5 Dwarsdoorsnede bodemprofiel Everingen en ligging diatomeeënplots en meetlocatie

Slik Appelzak

Het slik Appelzak is gelegen in het uiterste oosten van de Westerschelde. Op Appelzak liggen drie diatomeeënplots die alle drie een seizoensfluctuatie te zien geven (Stapel & de Jong, in prep.). De twee laagst gelegen plots hebben slechts een kleine zomerpiek. Het hoogste plot vertoont een korte maar hevige bloei. Het middelste plot is geselecteerd vanwege de lagere concentraties, de seizoensfluctuatie en de voldoende droogvaltijd om op de locatie te kunnen werken.

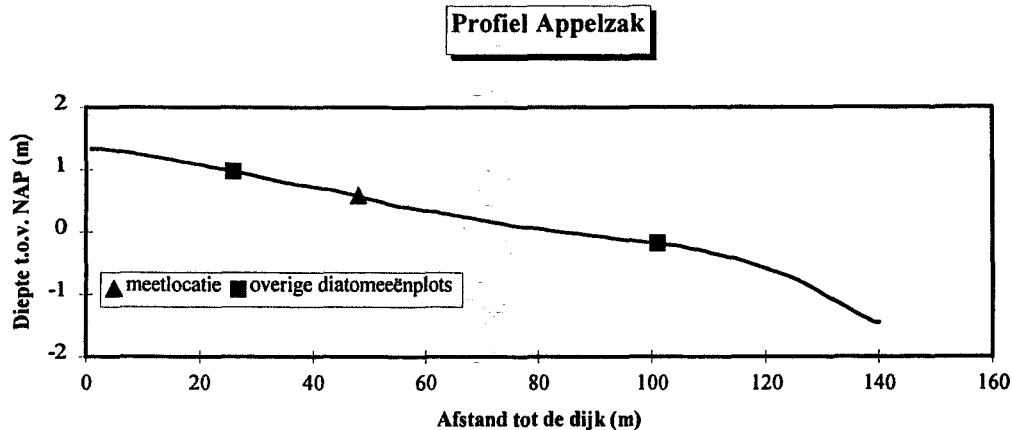
Bodemopbouw: De bovenste bodemlaag bestaat uit zeer slap slib; in de diepte wordt het slib steviger van structuur. Vanaf het laagst gelegen plot loopt de bodem steiler af en bestaat de bodem uit zand met een slappe structuur.

Chlorofyl-a: De chlorofyl-a concentraties zijn zeer laag in de winter (25-50 mg/m²). Op het hoogste plot worden in mei hoge waarden (400-450 mg/m²) bereikt. De bloei begint in februari en eindigt in juli. De lagere plots volgen dezelfde trend maar pieken niet zo sterk (140-190 mg/m²) (Stapel & de Jong, in prep.).

Dynamiek: Er zijn geen recente meetgegevens over de dynamiek van dit slik beschikbaar. De ligging in een scherpe bocht en een geul vrijwel haaks op het slik doen wel vermoeden dat er bij zuidwestelijke

wind een behoorlijke golfaanval mogelijk is. Bij wind uit de oostelijke hoek ligt dit slik volledig in de luwte van de dijk.

Hoogte ligging: Het meetpunt ligt op een hoogte van + 0,6 m NAP. Per getijdencyclus (12:25 uur) is het punt ongeveer 4 uur overspoeld (zie figuur 6).



figuur 6 Dwarsdoorsnede bodemprofiel Appelzak en ligging diatomeeënplots en meetlocatie

Slik bij Bath

Op het slik bij Bath liggen een drietal diatomeeënplots. Op alle drie de plots wordt het jaar rond een hoge chlorofyl-a concentratie gemeten (Stapel & de Jong, in prep.). Op het slik van Bath zijn twee punten geselecteerd het hoge diatomeeënplot (Bath 1) en het middelste diatomeeënplot (Bath 2) zijn van wege de jaar rond hoge concentratie en de geografische ligging (in verband met de monsternamen) geselecteerd. Aan de rand van het slik bevindt zich parallel aan de dijk een geulwandverdediging (golfbreker) van stortsteen. Deze is in de zomer van 1997 aangelegd.

Bodemopbouw: Op het hoge gedeelte van Bath, waar de onderzoekslocatie Bath 1 ligt, bestaat de bodem uit een slappe sliblaag van enkele centimeters. Onder deze sliblaag bevindt zich een zandlaag. Naar het water toe gaat de dunne sliblaag langzaam over in schelpenrijk zand. Bij de onderzoekslocatie Bath 2 bestaat de bodem uit stevig schelpenrijk zand. Nabij de laagwaterlijn bevinden zich een aantal grotere ribbels met veenbanken.

Chlorofyl-a

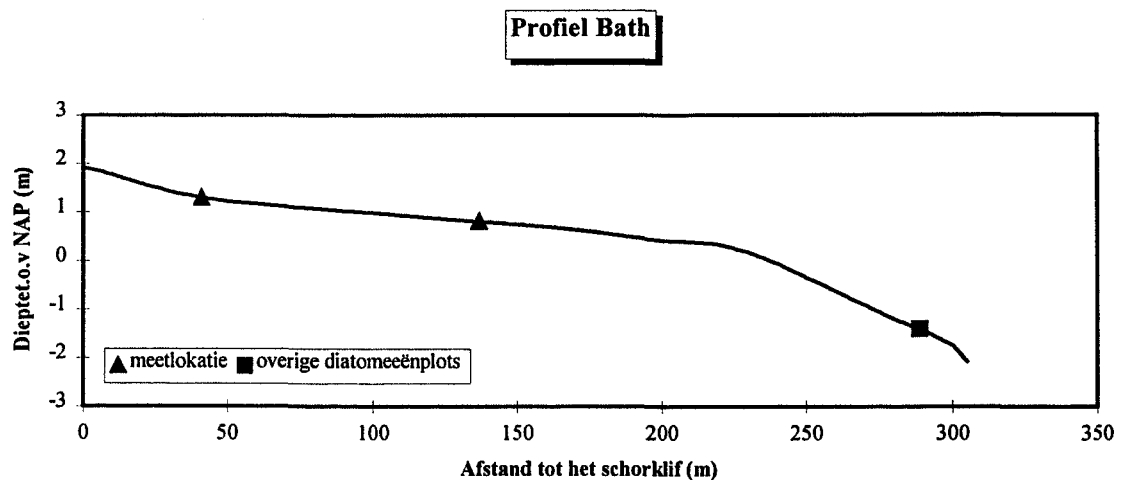
Beide onderzoekslocaties vertonen een zeer geringe seizoenfluctuatie. In de winter 150 mg/m² en in de zomer 200 mg/m². De onderlinge verschillen tussen de plots zijn gering. Het hoogste plot geeft in de maanden maart tot mei een lichte bloei, de lage punten geven een lichte bloei in mei tot oktober (Stapel & de Jong, in prep.).

Dynamiek:

De maximale stroomsnelheid varieert aan de laagwaterlijn tussen de 60 en 70 cm/s. Aan de schorrand varieert de maximale stroomsnelheid tussen de 20 cm/s in het oosten en de 30 cm/s in het westen. De maximale golfhoogte is ongeveer 150 cm bij de laagwaterlijn en 35 cm bij de schorrand (Koster Engineering, 1997). Deze waarden zijn gemeten vóór de aanleg van de golfbreker.

Hoogte ligging:

Het meetpunt Bath 1 ligt op een hoogte van + 1,3 m NAP, het meetpunt Bath 2 ligt op + 0,8 m NAP. Bath 1 is ongeveer 3 uur per getijdencyclus overspoeld en Bath 2 ongeveer 3,5 uur (zie figuur 7).



figuur 7 Dwarsdoorsnede bodemprofiel Bath en ligging diatomeeënplots en meetlocatie

4.2 Bodemdieren

De sedimentdynamiek is naast fysische factoren ook afhankelijk van biologische factoren. De graaactiviteit van bodemdieren lijkt de belangrijkste biologische factor. Bodemdieren zorgen door hun graaactiviteit voor bodemomwoeling en een veranderde bodemstabiliteit. Om inzicht te krijgen in de mate van graaactiviteit is éénmalig het aantal soorten bodemdieren en hun biomassa bepaald. Het aantal bodemdieren en hun biomassa geven tevens een indicatie voor de begrazing van het microfytobentos.

Monstername

Met een steekbuis ($\varnothing$ 8cm) zijn op 30 september (halverwege de eerste periode) op elke locatie 4 bodemdiermonsters verzameld tot een diepte van 20 cm. Deze monsters zijn in het veld over een 1 mm zeef gezeefd en in één pot met lokaal water naar het lab vervoerd. Op het lab zijn de bodemdieren gefixeerd met 10 % formaline en vervolgens gekleurd met bengaal roze.

Analyses

De bodemdieren zijn per soort uitgezocht en geteld. Door middel van droging en verassing is het asvrij drooggewicht bepaald. Het asvrij drooggewicht is als maat voor de totale biomassa aan bodemdieren gebruikt.

Verwerking

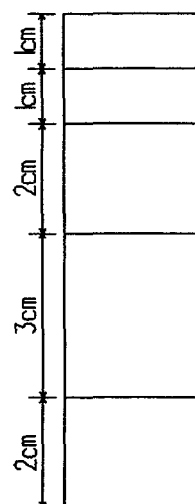
Op basis van de soort, het aantal en het gewicht van bodemdieren is een vergelijking van de verschillende locaties gemaakt.

4.3 Bodemsamenstelling

De bodemsamenstelling is bepaald aan de hand van het slibgehalte (het slibgehalte is gedefinieerd als de sedimentfractie $< 63 \mu\text{m}$).

Monstername

Aan het begin van de eerste, tweede en derde meetperiode (op T0, T4 en T8) zijn slibmonsters verzameld. De monsters zijn met dezelfde perspex steker genomen als de chlorofyl-a monsters. Voor de slibanalyse zijn drie monsters genomen. Elk van deze monsters bestond uit een verzameling van 4 steken genomen tot een diepte van 9 cm. Elk van de 4 steken is verdeeld in intervallen, zoals weergegeven in figuur 8, en per interval samengevoegd en donker en koel naar het laboratorium vervoerd waar ze bij -20°C zijn bewaard.



figuur 8 Slib intervallen

Aan het begin van de tweede meetperiode (op 24-10-1997) zijn met een bodemguts op elke lokatie een aantal monsters tot één meter diepte verzameld. Van elke visueel te onderscheiden bodemlaag is een monster genomen en geanalyseerd op slibgehalte.

Analyses

Het slibgehalte is bepaald door gravimetrie. Ongeveer 4 g "veldvochtig" monster is exact ingewogen. In een sonificator is met behulp van ultrasone geluidsgolven en twee liter water het monster losgetrild en gezeefd over een $63 \mu\text{m}$ zeef. De fractie groter dan $63 \mu\text{m}$ is kwantitatief uit de zeef overgebracht in een petrischaal. Het residu is, na een nacht drogen bij 105°C , teruggewogen. Het vochtgehalte is eveneens door gravimetrie bepaald. Ongeveer 15 g van het "veldvochtig" monster is exact gewogen en één nacht bij 105°C gedroogd. Na terugweging is uit het verschil van het gewicht voor en na droging, het vochtgehalte bepaald.

Bij de standaard RIKZ-methode wordt eerst kalk en organische stof uit het monster verwijderd. Omdat dit een tijdrovende voorbehandeling vergt is er in deze studie voor gekozen om kalk en organische stof niet te verwijderen. Hierdoor wordt er een fout geïntroduceerd: het organische materiaal en kalk zit in één fractie of beide fracties. Deze fout kan dus een onder- of overschatting van het slibpercentage geven. De ordegrootte van deze fout wordt dusdanig klein geacht dat het geen significant verschil tussen de verschillende locaties op zal leveren (den Hartog & Spronk 1997).

Verwerking

De inweeg van de slibanalyse is gecorrigeerd voor het vochtgehalte. Uit het verschil tussen de gecorrigeerde inweeg en het gewicht van het residu ($> 63\mu\text{m}$) is het percentage slib berekend. De resultaten van de drie replicate monsters zijn gemiddeld en per locatie tegen de diepte uitgezet. Dit is gebeurd voor elke meetperiode om een eventueel patroon van verandering in de diepte en de tijd te kunnen waarnemen.

4.4 Wind

De windsnelheid is gebruikt als maat voor de hydrodynamiek. Hierbij is er van uitgegaan dat de stroomsnelheid het jaarrond als constant beschouwd kan worden.

Meting

Op verschillende meetposten verspreid over Nederland, wordt door het KNMI de windsnelheid en de windrichting geautomatiseerd gemeten. Op deze meetstations wordt per tien minuten de gemiddelde windrichting en windsnelheid bepaald. Een van deze meetposten is de meetpost "Hansweert". Deze meetpost ligt centraal ten op zichte van de verschillende onderzoekslocaties. Door deze centrale ligging is de verkregen windsnelheid bruikbaar voor alle onderzoekslocaties.

Verwerking

De tien minuten gegevens zijn gemiddeld over één dag. Uit dit vierentwintig uren gemiddelde zijn voor elke serie tracers de maximale en gemiddelde windsnelheid bepaald vanaf het moment van inzet tot het moment van

monsternamen. Deze windgegevens zijn vervolgens gekoppeld aan de sedimentdynamiek zoals deze bepaald is door middel van het tracerexperiment. Daarnaast zijn ook de gemiddelde en de maximale windsnelheid in de drie dagen voorafgaande aan de monsternamen van het chlorofyl-a bepaald.

4.5 Substraaldynamiek

De substraaldynamiek is met twee verschillende methoden bepaald:

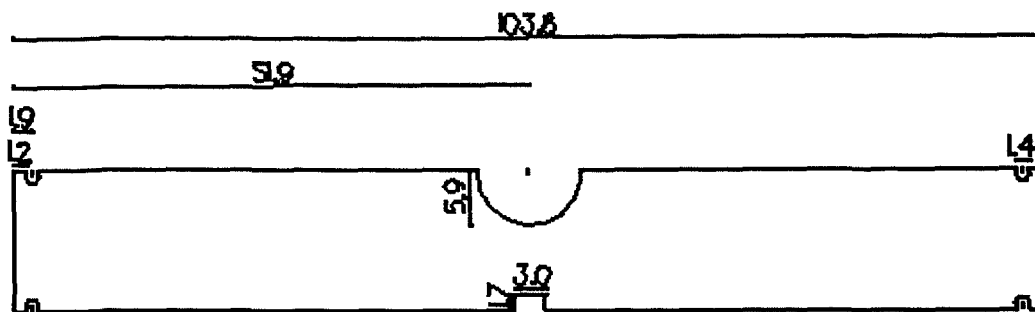
- 1) Gekleurde bodemtracer techniek
- 2) pvc-pijpen techniek

1) Gekleurde bodemtracer techniek

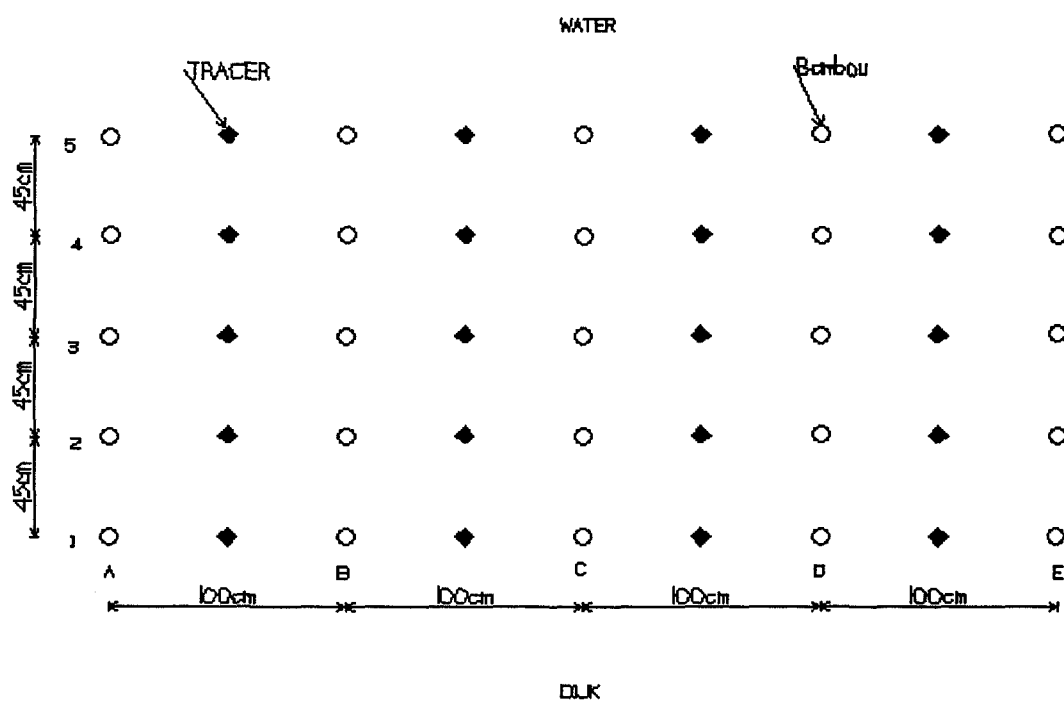
De tracers zijn gemaakt van gekleurd zand dat, door middel van wateroplosbare lijm, tot staafjes van 10 cm lengte is verlijmd. Deze tracers zijn verticaal in het sediment geplaatst waarna de lijm in enkele minuten oplost. De zanddeeltjes kunnen dan vrij bewegen en zullen zo nodig met het omringende sediment mee eroderen.

Veldmeting

Aan het begin van de eerste twee perioden (T0 en T4) zijn in een raster van bamboe-stokken (figuur 10) 20 tracers in de bodem geplaatst. Aan het begin van de overige perioden (T8, T12, T15, T19, T23 en T25) zijn 10 tracers in het raster geplaatst. Aan het begin van elke periode is het raster enkele meters verplaatst omdat door het bemonsteren van de tracers de bodemstructuur verstoord wordt. De bamboe-stokken zijn goed diep in het sediment geplaatst, om wegspoelen te voorkomen. De tracers zijn midden tussen twee bamboe-stokken geplaatst om de invloed van de bamboe-stokken op de tracers zoveel mogelijk te beperken. Het midden tussen de bamboe-stokken plaatsen van de tracers gebeurt met de zogenoemde 'meter' (figuur 9). Met behulp van deze 'meter', die onbelast op het sediment rust, is de tracer op gelijke hoogte met de bovenkant van het sediment (top van de sediment ribbels; onderkant 'meter') geplaatst. Het bodemoppervlak is dus gedefinieerd als het vlak over de toppen van de ribbels.



figuur 9 De 'meter' (maten in cm's)



figuur 10 Boven aanzicht tracerraster

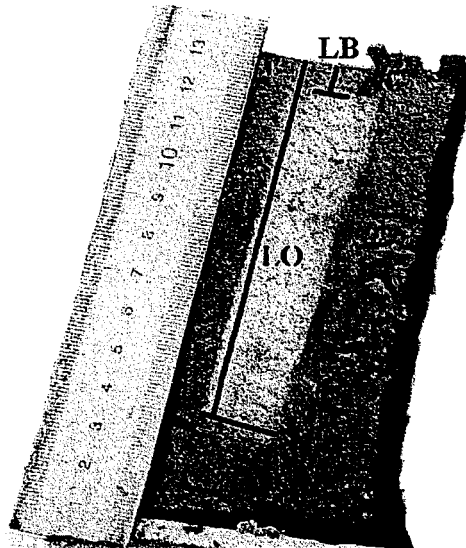
Ribbels migreren echter over het sediment en zullen dus ook over de tracers heen schuiven. Dit is de diepte van de bewogen bodemlaag (DBBL) die je meet in een periode met weinig wind. Tijdens het terugmeten zullen echter niet alle tracers meer in een golf top zitten, maar een aantal zal in een dal zitten. Hierdoor treedt er altijd een bepaalde mate van spreiding in de resultaten op.

2) Pvc-pijpen experiment

Halverwege de derde periode zijn er op elke onderzoekslocatie vier pvc-pijpen geplaatst. De pvc-pijpen (lengte 60 cm) zijn op dezelfde manier als de tracers midden tussen twee bamboe-stokken geplaatst. De pvc-pijpen zijn met hun bovenkant op ongeveer 20 cm vertikaal onder het sediment oppervlakte geplaatst. De bovenkant van de pvc-pijpen is gehanteerd als vast punt. Ten opzichte van dit punt is de bodemhoogtebeweging nauwkeurig bepaald.

Bemonstering

In de eerste twee meetperioden zijn elke week, op T1 t/m T4 en T5 t/m T8, (T= tijdstip van begin week) 5 tracers bemonsterd. In de derde en volgende perioden gebeurde dit om de twee weken of direct na een storm. Met behulp van de 'meter' is het middelpunt van de steekbuis ($\varnothing$ 8cm) midden tussen de twee bamboe-stokken geplaatst. Na het steken is de kern voorzichtig met een roestvrij stalen (RVS) liniaal verticaal afgeschraapt totdat het restant van de tracer zichtbaar is. Vanaf de oppervlakte van het is de afstand tot de bovenkant (LB) en de onderkant (LO) van de tracer gemeten (figuur 11). Tevens is de ribbelhoogte bepaald door de afstand van de onderkant van de 'meter' tot het dal van de ribbels te meten.



figuur 11 foto van een tracer bij bemonstering en de definitie van LB en LO

Nadat de PVC-pijpen geplaatst zijn in de derde periode is, elke keer dat er tracers bemonsterd zijn, ook de afstand van het sedimentoppervlak tot de pvc-pijpen bepaald. Dit gebeurde door de RVS-lineaal verticaal in het sediment te steken tot op de pvc-pijp. Het aflezen gaat met behulp van de 'meter' die rust op de toppen van de stroomribbels.

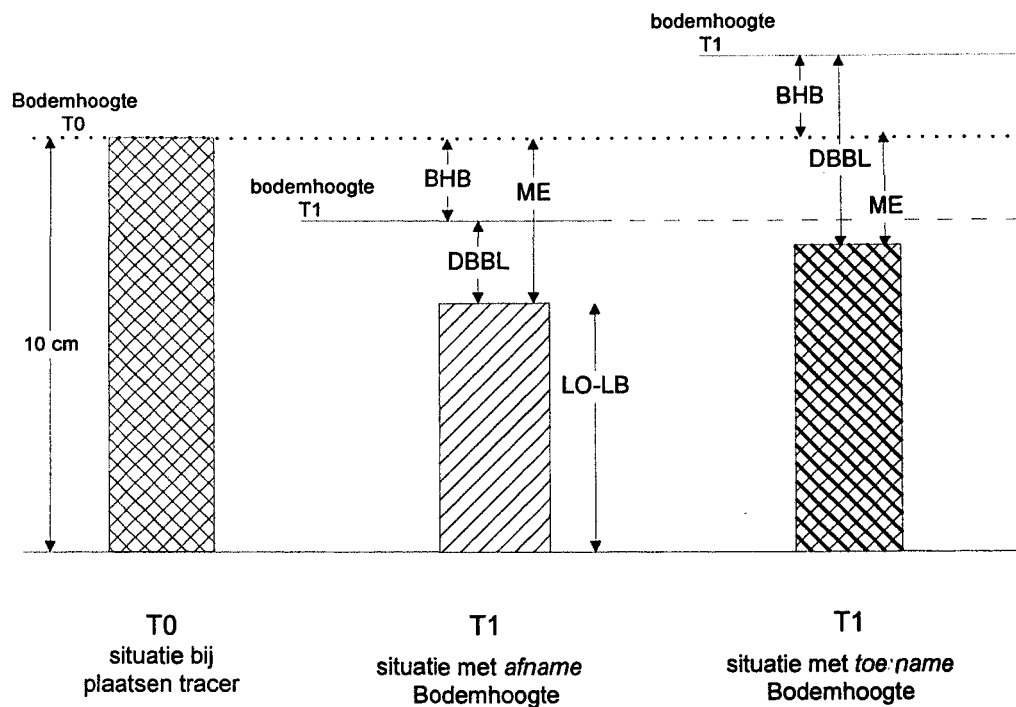
Verwerking

De dynamiek van het sediment is gedefinieerd als de combinatie van:

1. Omwoeling: de mate van beweging van de bodemdeeltjes (Bouwma et. al., 1997).
2. Sedimentatie of erosie: de mate van de beweging van het bodemoppervlak (Bouwma et. al. , 1997).

Uit de gemeten grootheden (LB (lengte tot bovenzijde tracer) en LO (lengte tot onderzijde tracer), zie figuur 11) zijn een aantal parameters berekend die een maat zijn voor de substraatdynamiek of één van de componenten van de substraatdynamiek namelijk:

1. Maximale erosie (ME)
2. Dikte van de bewogen bodemlaag (DBBL): diepte tot waarop de bodemdeeltjes in beweging zijn geweest.
3. Bodemhoogtebeweging (BHB)



figuur 12 Begripsomschrijving van de gebruikte parameters bij het tracerexperiment

1. Maximale erosie (ME), ofwel het verlies aan tracerlengte, wordt bepaald door van de oorspronkelijke tracerlengte (10 cm), de lengte van het tracerrestant af te trekken. In formule: $ME = (10 - (LO - LB))$ (figuur 12).
2. De dikte van de bewogen laag (DBBL) bestaat uit de omwoeling en de sedimentatie die is opgetreden na de maximale erosie. De dikte van de bewogen laag is gelijk aan de diepte waarop het tracerrestant in de bodem begint. In formule: $DBBL = LB$ (figuur 12)
3. De bodemhoogtebeweging (BHB) is het hoger dan wel lager worden van het bodemoppervlakte ten opzichte van een vast punt. De bodemhoogtebeweging is op twee manieren bepaald:
 - 1 Via de tracers
 - 2 Via de pvc-pijpen

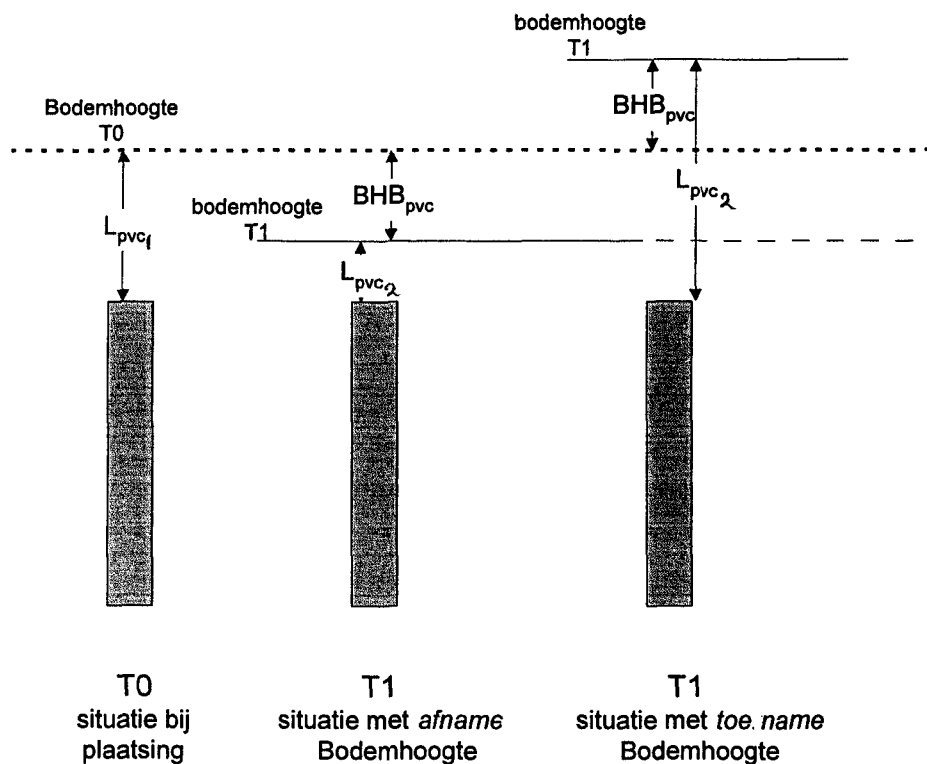
Bij het bepalen van de bodemhoogtebeweging met de tracers is de onderkant van de tracer als vast punt gehanteerd. Bij het bepalen van de bodemhoogtebeweging door middel van de pvc-pijpen is de bovenkant van de pvc-pijp als vast punt gebruikt.

1 De BHB door middel van tracers:

De afstand tot de onderkant van de tracer (LO) wordt van de diepte bij plaatsing af getrokken. Bij het plaatsen van de tracers zit de onderkant op 10 cm diepte. In formule: $BHB_{tracer} = LO - 10$ (figuur 12). Een negatief getal staat voor een afname van de bodemhoogte ofwel erosie. Een positief getal staat voor sedimentatie.

2 De BHB via de pvc-pijpen:

De BHB wordt bepaald door de afstand van het sediment tot aan de bovenkant van de pvc-pijp aan het begin van de meetperiode af te trekken van dezelfde afstand aan het eind van de meetperiode. In formule: $BHB_{pvc} = L_{pvc2} - L_{pvc1}$ (figuur 13). Een negatief getal staat voor een afname van de bodemhoogte ofwel erosie een positief getal staat voor sedimentatie.



figuur 13 Begripsomschrijving van de gebruikte parameters bij het pvc-pijpenexperiment

Van de vijf tracers die per week zijn bemonsterd, zijn per tracer de drie bovengenoemde parameters berekend. De vijf waarden per parameter zijn vervolgens per meting gemiddeld. Per meting is de maximale erosie (ME), de dikte van de bewogen bodemlaag (DBBL) en de bodemhoogtebeweging (BHB) uitgezet tegen de tijd en tegen de maximale wind (zie paragraaf 4.6). De resultaten van de tracer metingen aan het eind van elke periode (T4, T8, T12, T15, T19, T23 en T25) zijn vergeleken met de resultaten van de chlorofyl-a gegevens. De overige tracerresultaten zijn gebruikt om het verloop van de sedimentatie / omwoeling in een meetperiode te volgen.

4.6 Het meten van de biomassa en de mortaliteit van diatomeeën

Het voorkomen van diatomeeën is bepaald door het meten van het in de bodem aanwezige chlorofyl-a. De afspoeling, onderwoeling en de mortaliteit van de diatomeeën is afgeleid uit het aanwezige feofytine-a en het chlorofyl-a gehalte in de diepte.

Monstername

Het nemen van monsters is gedaan met een perspex steker met een diameter van 21 mm. Per locatie zijn aan het begin van de eerste en vervolgens aan het eind van elke periode (T0, T4, T8, T12, T15, T19, T23 en T25 (T in weken)) drie monsters genomen. Deze monsters bestonde uit een verzameling van 5 steken genomen tot een diepte van 9 cm. Elk van de 5 steken is verdeeld in diepte intervallen van één cm en per interval verzameld en donker en koel naar het laboratorium vervoerd waar ze bewaard zijn bij een maximum temperatuur van -20 en minimum temperatuur van -70 °C.

Analyses

Het gehalte aan chlorofyl-a en feofytine-a in het sediment is bepaald door middel van HPLC-analyse op het laboratorium van het RIKZ in Middelburg. Uit het monster is een deelmonster genomen en geëxtraheerd met aceton. Het extract is na opwerking geanalyseerd. Het resterende monster werd gewogen en gebruikt om het vocht percentage te bepalen (RIKZ methode).

Verwerking

Door het laboratorium is de massa chlorofyl-a per massa droge bodem bepaald. De bodemdichtheid (massa sediment per m³) kan sterk verschillen per locatie met name door verschillen in het slibgehalte. Om de verschillende platen en slikken te kunnen vergelijken is het gehalte aan chlorofyl-a en feofytine-a omgerekend naar een hoeveelheid per volume. Deze omrekening heeft plaatsgevonden via onderstaande formule. Door de massa van het monster te delen door het volume van het monster is de (actuele) bodemdichtheid bepaald. Deze is gecorrigeerd voor het vochtgehalte en vervolgens vermenigvuldigd met het gehalte aan chlorofyl-a. Door te delen door de monsterdiepte is nu het gehalte aan chlorofyl-a per oppervlakte bepaald. Door deze omrekening kan de biomassa-ontwikkeling (chlorofyl-a wordt gebruikt als maat voor de biomassa) tussen de vier onderzoekslocaties vergeleken worden.

$$MGO = \frac{DS * M * GC}{V}$$

- MGO = Massa chlorofyl-a per volume eenheid (door de monsterdiepte van 1 cm komt een volume van 1 cm³ overeen met een oppervlakte van 1 cm²)
- DS = Fractie droge stof in het monster (%)
- M = De totale massa van het natte monster (g)
(De massa van het bemonsterde volume)
- GC = Het gehalte aan chlorofyl-a zoals dit door het lab bepaald is (µg/g)
- V = Het totaal bemonsterde volume

Het nadeel van deze methode is dat de nauwkeurigheid van het steken van de 1 cm dikke sediment plakjes erg bepalend is voor de nauwkeurigheid van de omrekening. Het steken moet dus zorgvuldig gebeuren. De boven genoemde omrekeningsmethode heeft een vrijwel 1:1 relatie met de op het RIKZ gebruikelijke methodiek die uitgaat van de soortelijke massa v/h sediment.

Per meetperiode zijn per locatie de resultaten van de drie replca's gemiddeld en tegen de diepte uitgezet. Vervolgens is de correlatie tussen de hoeveelheid feofytine-a en chlorofyl-a bepaald.

5. RESULTATEN VAN DE EXPERIMENTEN

In dit hoofdstuk worden van de verschillende experimenten, zoals beschreven in het vorige hoofdstuk, de resultaten weergegeven.

5.1 Bodemdieren

Het aantal soorten bodemdieren varieert per locatie en ook het aantal individuen per soort is per locatie verschillend. Er zijn echter vijf soorten bodemdieren die op alle locaties zijn aangetroffen en op minstens één locatie ook nog eens in grotere dichtheden. In Tabel 2 zijn van de belangrijkste soorten het asvrij drooggewicht (AFDW) per locatie weergegeven. In bijlage II zijn alle gevonden soorten bodemdieren, de aantallen per soort en het asvrij drooggewicht weergegeven.

Tabel 2 Het AFDW in g/m² van de belangrijkste soorten

Soort	Everingen	Bath 1	Bath 2	Appelzak
<i>Macoma balthica</i>	6.82	2.48	0.31	1.34
<i>Nereis spec.</i>	2.24	2.40	0.98	0.23
<i>Heteromastus filiformis</i>	1.25	2.50	0.83	3.27
<i>Corophium</i>	0.04	1.77	1.29	0.10
<i>Oligochaeta</i>	0.14	0.02	0.09	0.08
<i>Eteone spec.</i>	0.35	0.13	0.28	-

De belangrijkste resultaten per locatie zijn:

Appelzak

De Drolleworm *Heteromastus filiformis* is de meest voorkomende soort op Appelzak, gevolgd door het Nonnetje *Macoma balthica*.

Everingen

Op Everingen wordt het aantal bodemdieren gedomineerd door *Macoma balthica*. Naast de grote hoeveelheid Nonnetjes komen er dan ook vrij veel wormen voor, het geen wordt bevestigd door het grote aantal wormengangen dat tijdens het steken is aangetroffen.

Bath

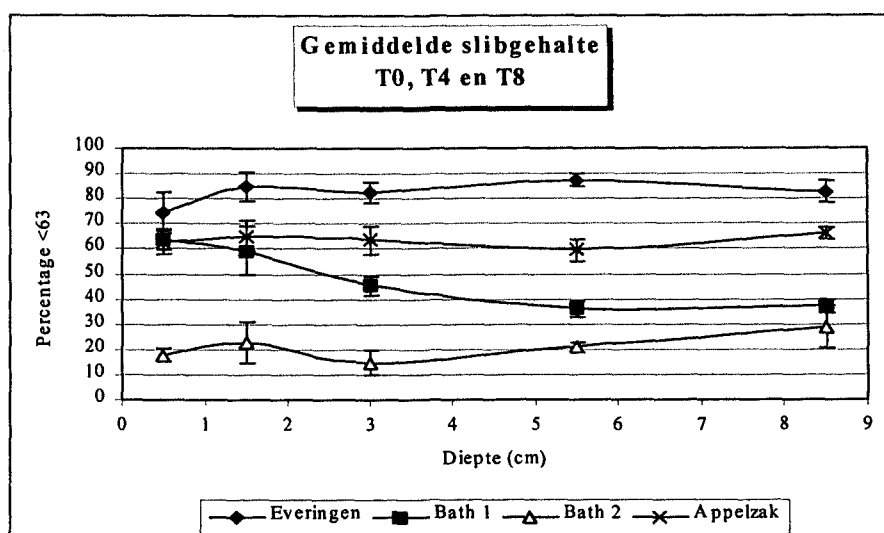
Bath 2 worden gedomineerd door *Corophium* en *Heteromastus filiformis*. Bath 1 worden gedomineerd door *Corophium*, *Heteromastus filiformis* en *Macoma balthica*. De aanwezigheid van Slijkgarnalen (*Corophium*) zorgt voor veel omwoeling in de bovenste centimeters van het sediment.

Doordat slechts éénmaal is bemonsterd, is niets over het jaarverloop van de bodemfauna te zeggen.

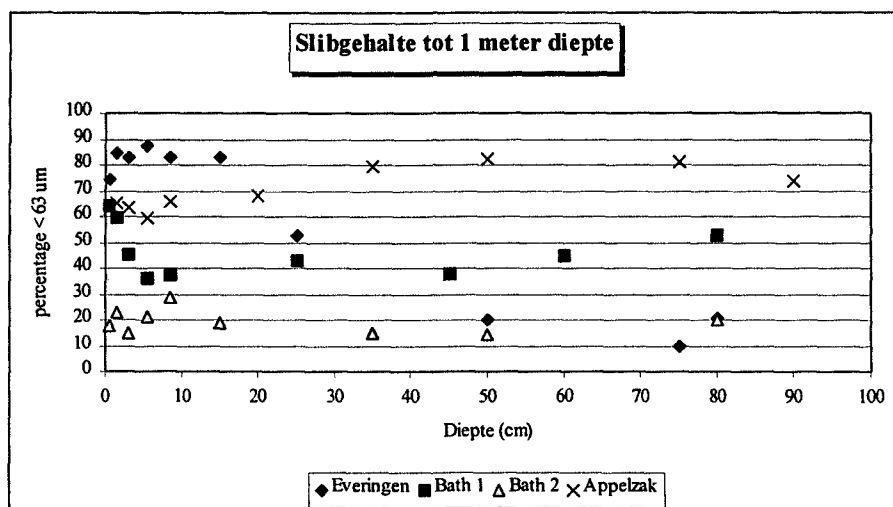
5.2 Bodemsamenstelling

In figuur 14 zijn de gemiddelde slibgehaltenes van de verschillende locaties weergegeven. De weergegeven waardes zijn het gemiddelde over al le bemonsterde perioden. In bijlage III zijn in grafiekvorm de resultaten van elke meetperiode afzonderlijk weergegeven.

In figuur 15 is per locatie het slibgehalte tot één meter diepte weergegeven, zoals deze op 24-10-1997 zijn bepaald. De monsters zijn slechts in enkelvoed genomen.



figuur 14 Het gemiddelde slibgehalte per locatie tot 9 cm diepte (n=9)



figuur 15 Het slibgehalte per locatie tot één meter diepte (n=1)

Resultaten per locatie:

Everingen:

Het slibgehalte is op Everingen met $82 \% \pm 5 \%$ het hoogst van alle lokaties. Tussen T0 en T8 treedt er in het slibgehalte geen significante verandering op ($p > 0,05$).

Onder de intensiever bemonsterde laag van 9 cm vindt op een diepte van 20 tot 30 cm een overgang in het slibgehalte plaats. In de onderste laag is het slibgehalte ongeveer 20 %.

Appelzak:

Op Appelzak ligt het slibgehalte over de eerste 9 cm op $63 \% \pm 5 \%$. Dieper in het sediment neemt het slibgehalte (tot één meter) nog iets toe. Op Appelzak treedt zowel in periode 1 (T0 tot T4) als in periode 2 (T4 tot T8) geen verandering op ($p > 0,05$).

Bath 1:

Op Bath 1 wordt, op T0, een laag gevonden van 2 tot 3 cm dik, met een slibgehalte van $68 \% \pm 1 \%$. Onder deze sliblaag is het slibgehalte $35 \% \pm 3 \%$. Het slibgehalte verandert in de tijd niet significant ($p > 0,05$). De oppervlakte laag van 2 à 3 cm met een verhoogd slibgehalte lijkt op T8 in dikte afgenomen tot 1 à 1,5 cm (bijlage III).

Onder de intensief bemonsterde laag van 9 cm lijkt het slibgehalte op te lopen van 35 % naar ongeveer 50 % op 80 cm diepte (figuur 15).

Bath 2:

Het slibgehalte is op Bath 2 met $21 \pm 5 \%$ significant lager dan op de overige lokaties (ANOVA; $p < 0,05$). Hierin treedt na beide meetperioden geen verschil op (bijlage III). Tot één meter diepte blijft het slibgehalte constant op ongeveer 20 % (figuur 15).

Op Bath 2 wordt een redelijke hoeveelheid schelpen in de bovenste centimeters van de bodem aangetroffen. Doordat kalk niet uit het monster verwijderd is, zijn deze schelpen meegerekend in de fractie groter dan $63 \mu\text{m}$. Het percentage zand is voor deze locatie in de eerste centimeters dus iets overschat.

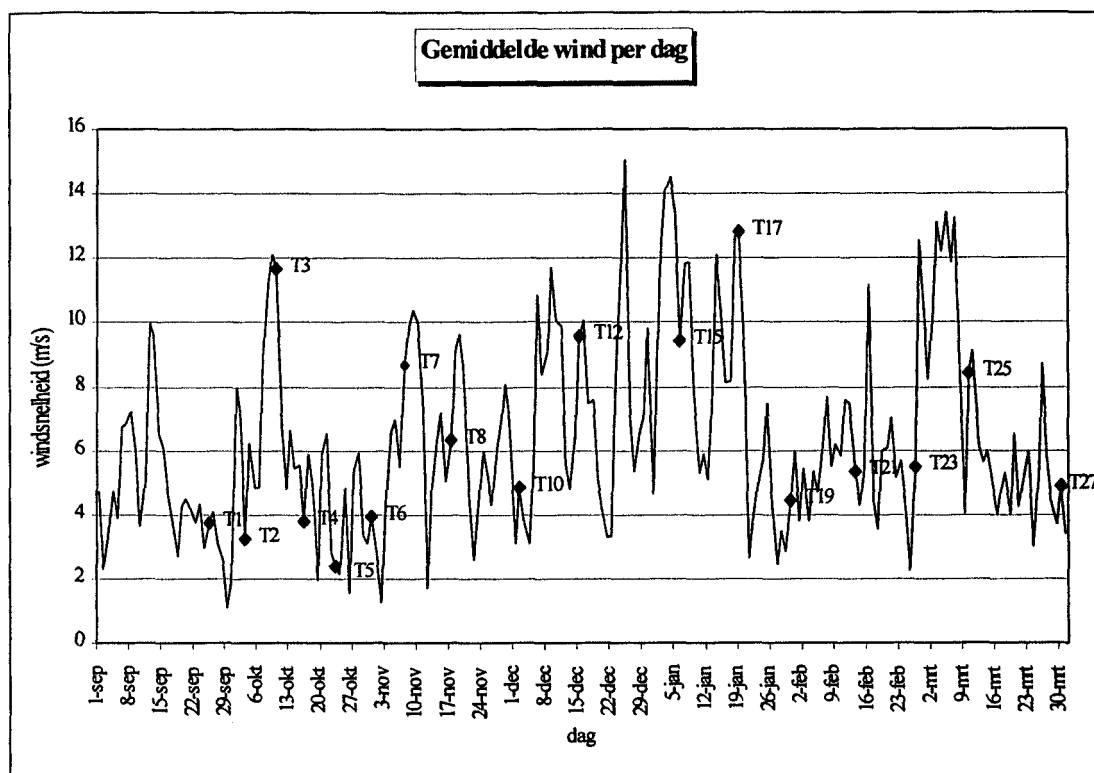
5.3 Wind

In Tabel 3 zijn de gemiddelde en maximale windsnelheden per meetweek uitgezet. Het betreft hier de gemiddelde en maximale windsnelheden die een tracer ondergaan heeft vanaf het moment van plaatsen tot aan de bemonstering. Over het algemeen zijn de windsnelheden in periode één, twee en drie niet erg groot geweest met uitzondering van week 3, 8 en 12. De vierde en vijfde periode (eind december en januari) hadden gemiddeld een vrij hoge windsnelheid. Periode zes was uiterst rustig maar periode zeven (T23 t/m T25) kende een langere tijd waarin het vrij hard gewaaid heeft.

Tabel 3 Gemiddelde en maximale windsnelheden per week

periode	meetweek	maximale windsnelheid per week		wind richting bij max. windsnelheid °	gemiddelde windsnelheid per week	
		m/s	Bft		m/s	bft
1	1	4,5	3	-	3,9	3
	2	8,0	5	270	3,9	3
	3	12,1	6	230	5,4	3
	4	12,1	6	230	5,4	3
2	5	6,5	4	78	4,0	3
	6	6,5	4	78	4,0	3
	7	8,7	5	201	4,4	3
	8	10,4	5	196	5,1	3
3	10	9,6	5	134	6,0	4
	12	11,7	6	200	6,7	4
4	15	15,0	7	221	8,6	5
5	17	12,6	6	185	8,9	5
	19	12,8	6	281	7,1	4
6	21	7,7	4	220	5,8	4
7	23	11,2	6	250	5,6	4
	25	13,4	6	251	10,5	5
8	27	9,1	5	207	5,5	4

In (figuur 16) zijn de 24 uren gemiddelden weergegeven zoals deze over de hele periode zijn bepaald.

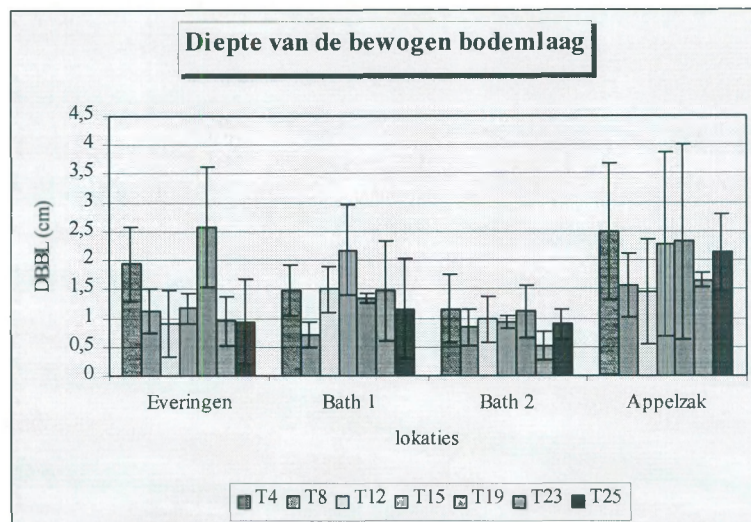


figuur 16 De 24 uren windsnelheidsgemiddelde
met daarbij aangegeven de tijdstippen van monsternamen (Tx)

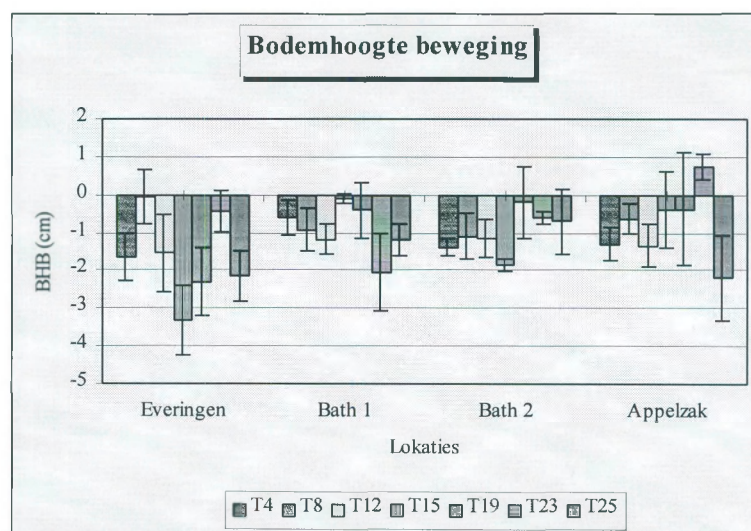
5.4 Substraaddynamiek

In figuur 17 is de dikte weergegeven van de bewogen bodem laag (DBBL). In figuur 18 is de verandering van de bodemhoogte weergegeven ten opzichte van het begin van de meetperiode (BHB). In figuur 19 is de maximale erosie (ME) die in een meetperiode is opgetreden weergegeven. Voor alle drie deze figuren geldt dat de weergegeven waarde de waarde zijn over de periode waar over ook chlorofyl-a gemeten is. In bijlage IV zijn per lokatie de wekelijkse resultaten grafisch weergegeven. In bijlage V zijn per lokatie de BHB en de DBBL in één grafiek uitgezet tegen de maximale windsnelheid. In bijlage V is per lokatie de ME uitgezet tegen de maximale windsnelheid.

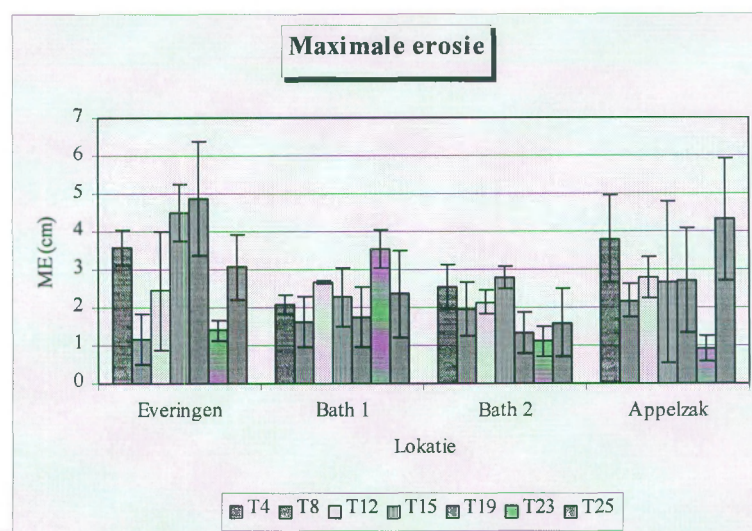
In bijlagen VI zijn de wekelijkse resultaten van het pvc-pijpen experiment per lokatie weergegeven. In Tabel 3 zijn de windsnelheden weergegeven die gemeten zijn in dezelfde perioden als waarin de BHB, DBBL en ME gemeten zijn.



figuur 17 Dikte van de bewogen bodemlaag (cm/periode)



figuur 18 Bodemhoogtebeweging (cm/periode)



figuur 19 De maximale erosie (cm/periode)

De belangrijkste resultaten per locatie zijn :

Everingen

Kijken we naar de bodemhoogtebeweging (BHB) (figuur 18) dan heeft Everingen de hoogste bodemhoogtebeweging van alle locaties (ANOVA; $p < 0,05$). Tot een windsnelheid van 11 m/s treedt er vrijwel geen bodemhoogtebeweging op. Boven de 11 m/s is er een sterke toename in de bodemhoogtebeweging. Bij een windsnelheid van 15 m/s treedt er een afname van de bodemhoogte op van 3,3 cm (bijlage V). Er is een significante toename in de BHB bij toenemende windsnelheid (lineaire regressie; $p < 0,05$; $r^2 = 0,484$) Dit verloop wordt bevestigd door het pvc-pijpen experiment (bijlage VI).

De diepte van de bewogen bodemlaag (DBBL) is gemiddeld 1,3 cm. De DBBL neemt niet significant ($p > 0,05$) toe bij een toenemende windsnelheid (figuur 17; bijlage V).

De maximale erosie die beschouwd kan worden als een samenstelling van de BHB en de DBBL neemt significant toe bij hogere windsnelheden (lin. reg. r^2

– 0,413; $p < 0,05$). Deze toename wordt vrijwel geheel verklaard door de toename in de BHB (Bijlage V).

Appelzak

De bodemhoogtebeweging (BHB) is op Appelzak vrij gering (figuur 18). Bij toenemende wind treedt een significante toename ($r^2 = 0,093$) in de BHB op (Bijlage V). In week 25 is de grootste bodemhoogte afname opgetreden van 2,1 cm (figuur 18; Bijlage V). Het pvc-pijpen experiment bevestigt deze zwakke significante toename in de BHB (bijlage VI).

De diepte van de bewogen bodemlaag (DBBL) neemt op Appelzak significant toe bij een toenemende windsnelheid (lin. reg; $r^2 = 0,112$; $p > 0,05$). Bij rustig weer is de DBBL ongeveer 1,3 cm (figuur 17). De maximale DBBL is gemeten in week 27 en bedroeg 3,3 cm (bijlage IV). Dit grote getal is waarschijnlijk veroorzaakt door het optreden van erosie tijdens de harde wind, gevolgd door sedimentatie in de rustige week voorafgaande aan de bemonstering.

De maximale erosie (ME) neemt significant toe bij toenemende windsnelheid (lin. reg; $r^2 = 0,23$; $p > 0,05$) (bijlage V).

Bath 1

De bodemhoogtebeweging (BHB) is op Bath 1 constant (figuur 18). Er is geen significante toename in de BHB bij hogere windsnelheden (bijlage V). De BHB is gemiddeld 0,6 cm met een maximale uitschieter van 2 cm in week 23 (bijlage IV). Deze afwezigheid van een significante ($p > 0,05$) relatie met de windsnelheid wordt door het pvc-pijpen experiment bevestigd (bijlage VII).

De diepte van de bewogen bodemlaag (DBBL) neemt significant toe met het toenemen van de windsnelheid (lin. reg; $r^2 = 0,182$; $p > 0,05$). Bij rustig weer is de DBBL ongeveer 0,5 cm; maximaal is de DBBL 3,9 cm (week 27; bijlage IV).

De ME neemt significant toe bij toenemende windsnelheid (lin. reg; $r^2 = 0,173$; $p > 0,05$) (bijlage V).

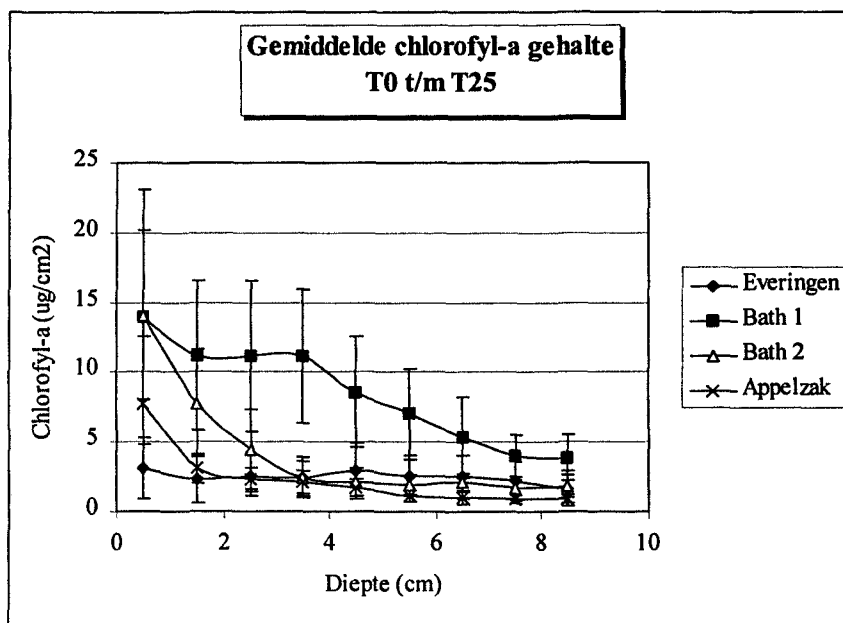
Bath 2

De bodemhoogtebeweging (BHB) neemt op Bath 2 significant toe bij toenemende windsnelheid (lin. reg; $r^2 = 0.052$; $p < 0,05$). De BHB is bij rustig weer bijna nul; bij een windsnelheid van 15 m/s is de bodemhoogte met 2 cm afgenomen (bijlage IV).

De dikte van de bewogen bodemlaag (DBBL) neemt niet significant ($p > 0,05$) toe met het toenemen van de windsnelheid (bijlage V). De DBBL is gemiddeld ongeveer 1 cm. De ME neemt significant toe bij toenemende windsnelheid (lin. reg; $r^2 = 0.315$; $p > 0,05$).

5.5 Chlorofyl-a en feofytine-a bepalingen

In figuur 20 is per locatie het gehalte aan chlorofyl-a uitgezet tegen de diepte. De uitgezette waarden zijn het gemiddeldes over de hele meetperiode (van 27 weken). In bijlage VII zijn per locatie de gehalten aan chlorofyl-a en feofytine-a weergegeven van alle metingen. In bijlage VIII is de relatie tussen het chlorofyl-a en het feofytine-a gehalte door middel van figuren weergegeven.



figuur 20 Het chlorofyl-a gehalte in de diepte, gemiddeld over de hele meetperioden

In Tabel 4 is van elke locatie, per centimeter, aangegeven wat het percentage aan chlorofyl-a is ten opzichte van het totaal aan chlorofyl-a in de bovenste 9 cm op deze locatie (gemiddelde over 27 weken). Opvallend is dat op Bath 2 en in iets mindere mate Appelzak, bijna al het chlorofyl in de bovenste 3 cm zit terwijl dat op de andere locaties meer verdeeld is.

Tabel 4 Het percentage chlorofyl-a van het totaal gebaseerd op het gemiddelde van T0 t/m T25

	Everingen	Bath 1	Bath 2	Appelzak
0-1	13,3	17,8	34,1	31,3
1-2	10,0	14,3	18,8	12,5
2-3	11,1	14,3	10,7	9,1
3-4	10,6	14,3	5,8	8,4
4-5	12,5	11,0	5,1	6,8
5-6	10,9	9,0	4,7	4,4
6-7	10,7	6,8	5,0	4,2
7-8	9,6	5,1	4,2	3,7
8-9	7,1	4,9	4,3	3,5
Totaal	100	100	100	100

Resultaten per locatie

Everingen:

Het chlorofyl-a gehalte op Everingen is over de hele periode laag ten opzichte van de andere locaties. Het chlorofyl-a gehalte neemt in de bemonsterde 9 cm niet significant af met de diepte ($p > 0,05$). Er is een significant verschil in het chlorofyl-a gehalte in de tijd, maar deze significantie wordt veroorzaakt door een beperkt aantal afwijkende waarden die random over de tijd verdeeld zijn (ANOVA; $p < 0,05$).

Het feofytine-a gehalte vertoont een vergelijkbaar verloop als het chlorofyl-a gehalte. Een toename in het chlorofyl-a gehalte resulteert in een toename in feofytine-a. Net als bij het chlorofyl-a treedt er alleen een significant verschil op in de tijd, bovendien niet consistent is (ANOVA; $p > 0,05$).

Appelzak:

Het chlorofyl-a gehalte vertoont op Appelzak een zeer steile afname in de bovenste twee centimeter. Vanaf de derde centimeter treedt er nog een zeer gelijdelijke afname in de diepte op. In de bovenste centimeter is er een grote fluctuatie in het chlorofyl-a gehalte in de tijd. Het chlorofyl-a gehalte is zowel in de diepte als in de tijd significant verschillend (ANOVA; $p < 0,05$).

Het feofytine-a gehalte heeft een overeenkomstig verloop in de diepte als het chlorofyl-a gehalte. De hoeveelheid feofytine-a ten opzichte van het chlorofyl-a gehalte is op Appelzak hoog ten opzichte van de ander lokaties.

Bath 1:

Bath 1 heeft samen met Bath 2 het hoogste chlorofyl-a gehalte. De afname van het chlorofyl-a gehalte op Bath 1 in de diepte is vrij geleidelijk. In de bovenste cm treedt een grote fluctuatie in het chlorofyl-a gehalte in de tijd op. Het chlorofyl-a gehalte is zowel per centimeter als in de tijd significant verschillend (ANOVA; $p < 0,05$).

Het feofytine-a gehalte neemt met de diepte heel geleidelijk af, net als het chlorofyl-a gehalte. Er bestaat ook hier een recht evenredig verband tussen het feofytine-a gehalte en het chlorofyl-a gehalte. De hoeveelheid feofytine-a is lager ten opzichte van het chlorofyl-a gehalte dan op Everingen en Appelzak.

Bath 2:

Het chlorofyl-a gehalte neemt op Bath 2 in de eerste 4 cm sterk af. Dit is een steilere afname dan op Bath 1 maar minder steil dan op Appelzak. Opvallend is dat op T4 de waarde van het chlorofyl-a in de bovenste cm overeenkomt met de waarde van de tweede cm op T0.

Bath 2 is de enige locatie waar het feofytine-a in de diepte (van af de vierde centimeter) toeneemt, terwijl het chlorofyl-a gehalte juist (in de eerste drie cm) zeer sterk daalt.

Bath 2 is dan ook de enige locatie waar een omgekeerd evenredige relatie tussen het chlorofyl-a en het feofytine-a gehalte bestaat. Net als op Bath 1 is de hoeveelheid feofytine-a ten opzichte van het chlorofyl-a gehalte erg laag in vergelijking met de lokaties Appelzak en Everingen.

De variantie analyse met diepte, week en lokaties als onafhankelijke variabele en het chlorofyl-a of feofytine-a als afhankelijke variabele levert geen eenduidig resultaat op. Alle onafhankelijke variabelen tonen significante interactietermen, waardoor niets met zekerheid gezegd kan worden over significante verschillen in chlorofyl-a en feofytine-a tussen locaties, in de tijd en met de diepte. Er bestaat geen eenduidige trend.

6. DISCUSSIE

6.1 Everingen

De op Everingen aangetroffen soorten bodemdieren kunnen allemaal een grote hoeveelheid diatomeeën consumeren (Olafsson, 1986; Wolff, 1973; Stikvoort, mondeling mededeling). De afwezigheid van *Corophium* kan duiden op een minder stabiele bodem zowel wat betreft bodembeweging door golven als door andere bodemdieren (Reise, 1985) of een sterke sedimentatie / erosie (Bijkerk, 1988).

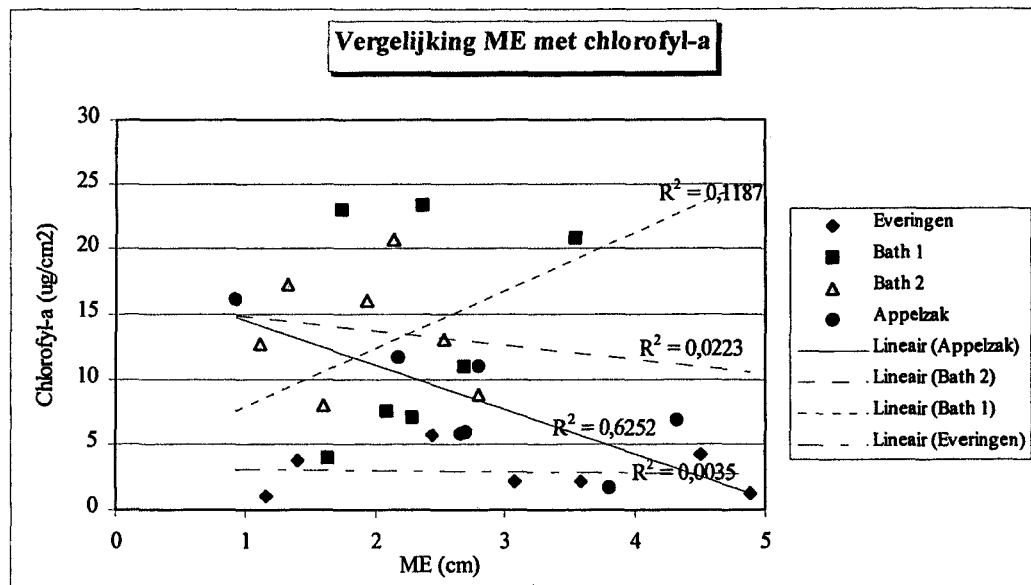
Het chlorofyl-a gehalte is op Everingen vanaf het begin laag en blijft dat ook tijdens het hele onderzoek. Wind en erosie lijken verder geen invloed te hebben (figuur 21). Het chlorofyl-a gehaltes zoals deze op Everingen is gemeten, komt overeen met de waarden die door Stapel en de Jong (in prep.) zijn gevonden van september tot maart van voorgaande jaren. Van mei tot augustus ligt het chlorofyl-a gehalte volgens Stapel en de Jong (in prep.) op ongeveer $27 \mu\text{g}/\text{cm}^2$. Dit is vele malen hoger dan de winterwaarden van ongeveer $4 \mu\text{g}/\text{cm}^2$. De metingen voor dit onderzoek zijn pas begonnen na het optreden van deze zomerpiek. De oorzaak van de afname is dus niet direct gemeten. Vóór het begin van de metingen in september 1997 zijn er reeds een aantal dagen geweest met een windsnelheid van boven de 10 m/s. Uit het tracer- en pvc-pijpen-experiment blijkt dat er tot een windsnelheid van 10 m/s vrijwel niets gebeurt op de locatie Everingen. Bij een windsnelheid boven de 10 m/s neemt de bodemhoogte beweging (BHB) sterk toe. De BHB is op Everingen significant hoger dan op de ander locaties (ANOVA; $p < 0,05$). De diepte van de bewogen bodemlaag (DBBL) neemt niet significant toe bij een toename van de windsnelheid. De maximale erosie (ME) is op Everingen het grootst van alle locaties en bestaat bijna volledig uit de afname van de bodemhoogte. (BHB is negatief). Uit het tracer-experiment blijkt dat de bodem op Everingen meer in beweging is dan de bodem op de andere onderzochte locaties.

Everingen heeft het hoogste slibgehalte van alle locaties en verschilt niet significant van Appelzak; maar wel van de beide locaties op Bath. Volgens Vos (1986) en Sabbe & Vyverman (1991) bestaat de diatomeeënpopulatie op slibrijke locaties voornamelijk uit mobiele, niet vastgehechte epipelische diatomeeën soorten. Deze soorten komen voornamelijk in de bovenste cm van het sediment voor (Vos, 1986).

Door de erosie (negatieve BHB), die waarschijnlijk bij de eerste harde wind (windsnelheid > 10 m/s) begin september 1997 is opgetreden, is het grootste deel van de diatomeeënpopulatie afgevoerd.

Het feofytine-a gehalte neemt niet toe in de diepte. Dit duidt er op dat de sterfte in de diepte niet groter is dan aan de oppervlakte.

De de lage chlorofyl-a waarden liggen tegen de detectielimiet van de gebruikte methode aan, waardoor eventuele verschillen in chlorofyl-a (toe- of afname) moeilijk te meten zijn. Het kan zo zijn dat het herstel dusdanig langzaam gaat dat er ondertussen weer een storm geweest kan zijn die opnieuw voor een afname zorgt waardoor het chlorofyl-a constant laag blijft (figuur 21).



figuur 21 De relatie tussen de maximale erosie (ME) over een perioden en het chlorofyl-a gehalte aan het eind van die perioden

6.2 Appelzak

Ook op Appelzak geldt dat de aangetroffen soorten bodemdieren allemaal een grote hoeveelheid diatomeeën kunnen consumeren (Olafsson, 1986; Wolff, 1973; Stikvoort, mondeling mededeling.).

De afwezigheid van *Corophium* kan duiden op een minder stabiele bodem zowel wat betreft bodembeweging door golven, bodembeweging door andere bodemdieren (Reise, 1985) of een sterke sedimentatie / erosie (Bijkerk, 1988)

Het chlorofyl-a gehaltes zoals deze op Appelzak is gemeten, komt overeen met de waarden die door Stapel en de Jong (in prep.) gevonden zijn in september tot maart van voorgaande jaren. Van april tot en met juli ligt het chlorofyl-a gehalte volgens Stapel en de Jong (in prep.) op ongeveer $18 \mu\text{g}/\text{cm}^2$. Dit is iets hoger dan de laagste waarden van september ($8 \mu\text{g}/\text{cm}^2$). De metingen van dit onderzoek zijn ook voor Appelzak begonnen na het optreden van de zomerpiek. De oorzaak van de afname is dus niet in de metingen terug te vinden. Uit het tracer- en pvc-pijpen-experiment blijkt dat bij een toenemende windsnelheid de erosie toeneemt. Door de erosie (negatieve bodemhoogte beweging (BHB)), die waarschijnlijk bij de harde wind voorafgaande aan de metingen (voor T0) is opgetreden, is het grootste deel van de diatomeeënpopulatie afgevoerd (bijlage VII). In de latere rustiger, periode treedt een duidelijk herstel op. Het chlorofyl-a gehalte op Appelzak vertoont een duidelijke relatie met de maximale erosie (ME) (figuur 21). De ME is op Appelzak geringer dan op Everingen, maar groter dan op beide locaties op Bath. Het chlorofyl-a gehalte is op Appelzak dan ook hoger dan op Everingen, maar lager dan op Bath.

De BHB is op Appelzak bij de eerste storm (T3) duidelijk hoger dan bij een latere storm (T15). De richting van de wind is bepalend voor de strijklengte en dus voor de golfopbouw. Met een oosten wind ligt Appelzak in de luwte van de dijk, met een zuidwesten wind is de golfaanval maximaal. Doordat de wind de hele meetperioden tussen zuid en west varieerde is dit waarschijnlijk niet de oorzaak van het onregelmatig toenemen van de BHB. Uit de slibmeting blijkt dat het slibgehalte niet significant verandert in de tijd. Tijdens het veldwerk kon duidelijk worden waargenomen dat de bodem na een rustige periode een slappere structuur had dan na een storm. De eerste storm heeft daarom waarschijnlijk meer invloed dan later stormen omdat na de eerste storm de, waarschijnlijk in de zomer gevormde, waterige sliblaag is verdwenen en het slib een compactere structuur heeft gekregen.

De tijdsduur van de hogere windsnelheid lijkt op Appelzak een duidelijke invloed te hebben op de mate van de ME. Voorafgaande aan T25 heeft het een langere tijd hard gewaaid. Het effect van deze storm is duidelijk groter dan van de storm voorafgaand aan T15, hoewel die hogere windsnelheden kende maar veel korter duurde.

Appelzak heeft na Everingen het hoogste slibgehalte van alle locaties. Volgens Vos (1986) en Sabbe & Vyverman (1991) bestaat de diatomeeënpopulatie op slibrijke locaties voornamelijk uit mobiele, niet vastgehechte epipelische diatomeeën soorten. Deze soorten komen voornamelijk in de bovenste cm van het sediment voor (Vos, 1986).

Epipelische diatomeeën die op grotere diepte terechtkomen zullen daarom zo snel mogelijk weer naar de oppervlakte bewegen. Op Appelzak komen de diatomeeën dan ook vrijwel alleen in de eerste centimeters voor (Tabel 4 & bijlage VII).

Het gehalte aan feofytine-a neemt in de diepte niet toe. Dit duidt erop dat de sterfte in de diepte niet groter is dan aan de oppervlakte. De geringe hoeveelheid chlorofyl-a in de diepte is niet het gevolg van een sterfte van de diatomeeën in de diepte door lichtgebrek, maar van het naar de oppervlakte bewegen of een nauwelijks meer in beweging gebrachte bodem op iets grotere diepte.

6.3 Bath

Ook de op beide locaties van Bath aangetroffen soorten bodemdieren kunnen grote hoeveelheden diatomeeën consumeren. De aanwezigheid van *Corophium* op de locatie Bath duidt op weinig bodemhoogte beweging of diepere omwoeling (Reise, 1985). *Corophium* zorgt voor een hoge bodemomwoeling van de bovenste centimeters van het sediment, waardoor diatomeeën regelmatig aan de oppervlakte komen om te fotosynthetiseren en ook regelmatig over de eerste centimeters van het sediment verdeeld zijn.

6.3.1 Bath 1

Het chlorofyl-a gehalte zoals deze op Bath 1 is gemeten, komt overeen met de waarden die door Stapel en de Jong (in prep.) gevonden zijn in voorgaande jaren. Het chlorofyl-a gehalte neemt zeer geleidelijk af in de diepte (Tabel 4 & figuur 20). Op Bath 1 neemt het gehalte feofytine-a niet toe in de diepte. Een toename van feofytine-a zou duiden op een verhoogde sterfte.

Op Bath 1 is er geen significante toename van de bodemhoogte beweging (BHB) met het toenemen van de wind. Er wordt dus bij toenemende wind geen extra materiaal afgevoerd. De diepte van de bewogen bodemlaag (DBBL) is op Bath 1 wel afhankelijk van de windsnelheid, maar reikt zelfs bij zware storm niet veel verder dan twee centimeter. Bij de eerste stormen is er nog wel wat erosie waarbij de zacht sliblaag die op het sediment aanwezig is voor een groot deel verdwijnt.

In deze eerste periode neemt het chlorofyl-a gehalte dan ook af om daarna weer toe te nemen tot de oorspronkelijke waarden. Het chlorofyl-a gehalte blijft op Bath 1 tot op grotere diepte hoog.

Het toenemen van de DBBL en dus van de ME resulteert niet in een afname van het chlorofyl-a gehalte (figuur 21). Doordat de BHB niet toeneemt bij een hogere windsnelheid neemt ook het chlorofyl-a gehalte niet af. Bath 1 heeft een slibgehalte dat een fractie lager ligt dan dat van Appelzak. Ondanks het hoge slibgehalte blijft het chlorofyl-a gehalte tot op grotere diepte hoog. Dit wordt misschien veroorzaakt door de grotere DBBL van Bath 1 en het feit dat vanaf 1 à 2 cm diepte het slibgehalte op Bath 1 lager is, waardoor er hier misschien meer eppisammische diatomeeën aanwezig zijn.

De kleinere ME op Bath 1 zorgt voor een hoger chlorofyl-a gehalte dan op Everingen en Appelzak. Het verschil in chlorofyl-a gehalte met Bath 2 is verwaarloosbaar klein.

6.3.2 Bath 2

Het chlorofyl-a gehalte zoals deze op Bath 2 is gemeten, komt overeen met de waarden die door Stapel en de Jong (in prep.) gevonden zijn in voorgaande jaren.

Op Bath 2 is de DBBL niet afhankelijk van de wind. De BHB neemt toe bij het toenemen van de windsnelheid maar de toename is zeer gering. De ME is afhankelijk van de windsnelheid. De ME is op Bath 2 het laagst van alle locaties. Het toename van de ME wordt gereflecteerd in een afname van het chlorofyl-a gehalte (figuur 21). Deze afname is echter geringer dan op Appelzak omdat de DBBL geringer is. Tijdens een storm verdwijnt alleen de bovenste laag van het sediment en komt de laag er onder aan de oppervlakte. In deze laag bevindt zich nog een aanzienlijke hoeveelheid diatomeeën (figuur 20 & Tabel 4). De chlorofyl-a curve schuift als het ware in zijn geheel naar boven.

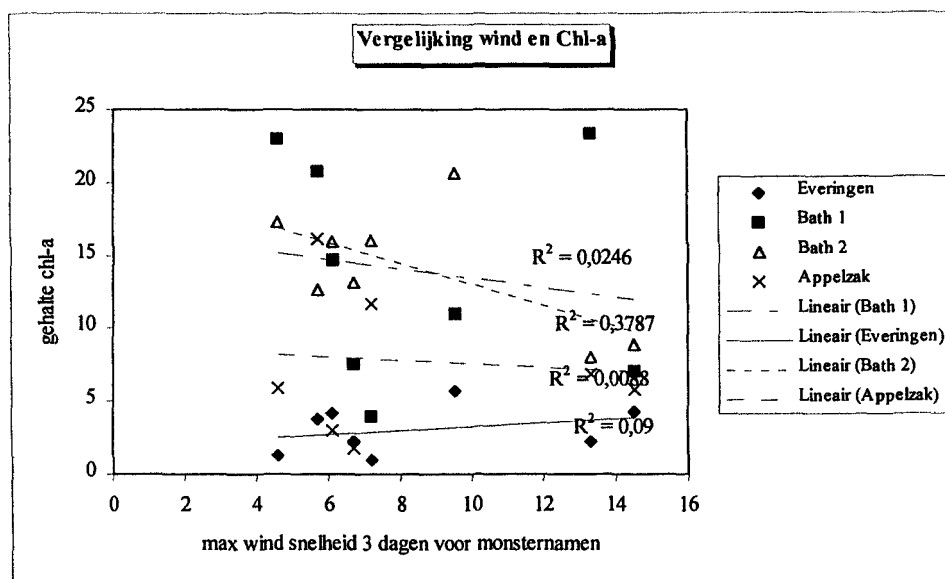
Bath 2 heeft het laagste slibgehalte van alle locaties. Volgens Vos (1986) en Sabbe & Vyverman (1991) bestaat de diatomeeën populatie op zandige locaties voornamelijk uit episammische diatomeeën soorten. Deze soorten zitten vast gehecht aan zandkorrels. Door deze hechting zijn deze soorten waarschijnlijk minder gevoelig voor resuspensie dan de loszittende epipelische diatomeeën (Delgado et. al. 1991). De omwoeling van het sediment (DBBL) zal dan ook vrijwel geen effect op de biomassa aan diatomeeën hebben.

Eppisammische diatomeeën zijn afhankelijk van de omwoeling om in de fotische zone terecht te komen (Vos, 1986). Eppisammische diatomeeën die op grotere diepte terechtkomen kunnen zich niet naar de oppervlakte verplaatsen. Als een diatomee te lang niet aan het oppervlak komt zal deze sterven (de Jonge, 1992). Op Bath 2 neemt het gehalte aan feofytine-a vanaf 4 cm in de diepte toe. Feofytine-a is een afbraakproduct van chlorofyl-a en een toename hiervan duidt op een verhoogde sterfte. De bovenste drie cm van het sediment komt waarschijnlijk voldoende in beweging om de diatomeeën voldoende in de fotonische zone terecht te laten komen en de dode diatomeeën, die niet vast zitten, uit te wassen waardoor het feofytine-a gehalte laag blijft. De diatomeeën die dieper in het sediment terecht komen, komen niet meer naar de oppervlakte en sterven waardoor het feofytine-a gehalte toeneemt.

De kleinere ME op Bath 2 zorgt voor een hoger chlorofyl-a gehalte dan op Everingen en Appelzak. Het verschil in chlorofyl-a gehalte met Bath 1 is verwaarloosbaar klein. Doordat de BHB kleiner is dan op Bath 1 komen de diatomeeën minder diep voor. Toch is er een verschil tussen Bath 1 en Bath 2 in relatie tussen de ME en het chlorofyl-a (figuur 21). Dit verschil is te verklaren uit de optredende erosie op Bath 2 bij zeer hoge windsnelheden. Deze hoge windsnelheden treden echter zelden op waardoor de diatomeeënpopulatie voldoende tijd tot herstel krijgen en de locaties nauwelijks afwijken in chlorofyl-a gehalte.

6.4 Vergelijk met voorgaand onderzoek

Geen van de onderzochte locaties vertoont een correlatie tussen de maximale windsnelheid (opgetreden in de drie dagen voor bemonstering) en het chlorofyl-a gehalte (figuur 22). Dit is in tegenstelling met het onderzoek van Vos (1986) in de Oosterschelde. Die wel een duidelijke correlatie vond. In dit onderzoek wordt wel (voor een aantal locaties) een correlatie gevonden tussen de ME en het chlorofyl-a gehalte. De ME is weer gecorreleerd met de windsnelheid. Een mogelijke verklaring voor het wel of niet vinden van een correlatie met de wind is het verschil in bemonsteringstijd. Vos monsterde in de zomer en de monsters voor dit onderzoek zijn genomen in herfst en winter. De hersteltijd van de diatomeeën die volgens Vos (1986) ongeveer drie dagen is, zou in de winter dus langer kunnen zijn. Waardoor stormen van langer dan 4 dagen geleden nog een duidelijk negatief effect kunnen hebben.



figuur 22 Vergelijking van de maximale wind opgetreden in de 3 dagen voor monsternamen met het chlorofyl-a gehalte

7. CONCLUSIE

Uit het veldonderzoek en de literatuurstudie zijn een aantal algemene lijnen te halen, die uiteindelijk leiden tot een conclusie met betrekking tot de begin hypothese.

- 1) Op elk van de locaties domineren andere soorten bodemdieren. De voorkomende soorten (Bijlage II) kunnen allemaal een grote hoeveelheid diatomeeën consumeren (Olafsson, 1986; Wolff, 1973; Stikvoort, mondeling mededeling.). De biomassa of dichtheid van bodemdieren vertonen op de verschillende locaties niet voldoende verschil om te concluderen dat de begrazing van bodemdieren een verklarende factor voor de waargenomen seizoensfluctuaties in chlorofyl-a gehaltes is. Er kan echter ook niet met zekerheid worden gezegd dat de bodemdieren geen invloed hebben. Hiervoor is de intensiteit van de bemonstering te gering. De jaarfluctuatie van het microfytoenthos kan namelijk een rol spelen en hier is niet naar gekeken.
- 2) Door het verschil in slibgehalte tussen de verschillende locaties zou er een verschil kunnen bestaan in de diatomeeënsoorten op de verschillende locaties (Vos, 1986 en Sabbe & Vyverman, 1991). De verschillen in de correlatie tussen het chlorofyl-a en het feofytine-a (bijlage VII) dit verschil in diatomeeënsoorten kunnen ondersteunen. Het verschil in soortensamenstelling zorgt ervoor dat de verschillende locatie anders reageren op substraatdynamiek. Bij een toename van de substraatdynamiek zien we op de zandige locatie (Bath 2) een minder sterke daling aan chlorofyl-a gehalte omdat de epipsammische diatomeeën aan het zand gehecht zitten en dus minder snel uitspoelen. Het afbraakproduct feofytine-a zit niet vast en spoelt ook bij zandige locaties uit. Op slikkige locaties leven epipelische diatomeeën die veel groter zijn dan epipsammische diatomeeën en niet vastgehecht zijn aan het substraat. Hierdoor zijn ze gevoeliger voor substraatdynamiek waardoor er hier nauwelijks onderscheid is tussen het uitspoelen van dode en levende diatomeeën. Het verschil tussen feofytine-a en chlorofyl-a is hier dan ook geringer.

-
- 3) De verschillende onderzochte locaties vertonen een verschillende correlatie tussen de substraatdynamiek en de windsnelheid. Everingen heeft de hoogste substraatdynamiek gevolgd door Appelzak; Bath heeft de laagste substraatdynamiek. De eerste herfststorm zorgt op de locaties met een slappe sliblaag voor een aanzienlijke erosie door het wegspoelen van deze laag. Met het verdwijnen van de slib-top-laag verdwijnt ook een aanzienlijk deel van de diatomeeën. Dit gebeurt op zowel Bath 1 als op Appelzak. Nadat de slibrijke toplaag is verdwenen blijft de erosie redelijk beperkt en krijgen de diatomeeën kans zich te herstellen. Locaties met een hoge stroomsnelheid vertonen over het algemeen een geringe correlatie tussen de de bewogen bodemlaag (DBBL) en de windsnelheid. Dit komt doordat de door golven in beweging gebrachte bodem door de hogere stroomsnelheid direct erodeert.

Het onderzoek van Stapel en de Jong (in prep.) laat voor de locatie Appelzak een sterke daling in september zien waarna er vanaf oktober weer een langzame stijging optreedt. Voor Bath 1 is dit niet het geval, maar in voorgaande jaren was er op deze locatie volgens Stapel en de Jong (in prep.) ook geen sliblaag op deze locatie aanwezig. De bodemerosie is op Bath 1 na het afvoeren van de slappe sliblaag zo weinig dat er zelfs een volledig herstel optreedt. Op Appelzak blijft de bodemerosie duidelijk gecorreleerd met de windsnelheid, waardoor de afvoer groter blijft dan in de zomer.

- 4) De hoeveelheid biomassa, gemeten als chlorofyl-a, is afhankelijk van de productie en de afvoer. De biomassa vertoont volgens Vos (1986) in de meeste gebieden geen relatie met de temperatuur. Als de afvoer op een locatie zeer laag is, kan de productie ook zeer laag zijn zonder dat de biomassa afneemt. Als de afvoer hoog is moet de productie hoog zijn om de biomassa op gelijk niveau te houden. Het verschil in hersteltijd van de diatomeeënpopulatie gevonden door Vos (1986) en in dit onderzoek, doet vermoeden dat de productie in de winter lager ligt dan in de zomer. Uit onderzoek van Vos (1986) blijkt dat episammische diatomeeën geen seizoensfluctuatie kennen maar epipelische diatomeeën wel. Uit onderzoek van Sabbe & Vyverman (1991) blijkt dat de epipelische diatomeeën vooral op slibrijke locaties leven. Uit de combinatie van de resultaten van het onderzoek van Vos (1986) en het onderzoek van Sabbe & Vyverman (1991) lijkt het er op dat op slibrijke locaties de productie geringer is dan op zandige locaties.

Uit de bovenstaande algemene lijnen valt te concluderen dat de opgestelde hypothese lijkt te kloppen. De bodem op de onderzochte lokaties met een sterke seizoensvariatie in de chlorofyl-a waarden (Everingen en Appelzak) is onderhevig aan meer substraatdynamiek dan de lokaties zonder seizoensvariatie in de chlorofyl-a waarden.

Echter uit het onderzoek is ook naar voren gekomen dat er waarschijnlijk meer factoren van invloed zijn. De diatomeeënsoorten die voorkomen op de lokaties met een seizoensvariatie in de chlorofyl-a waarden zijn mogelijk gevoeliger voor substraatdynamiek waardoor de toch al grotere substraatdynamiek meer invloed op de diatomeeënpopulatie kan hebben. Daarnaast kan ook de mate van productie van de soorten op de lokaties met een seizoensvariatie geringer zijn. De productie zou in de wintermaanden de afvoer niet bij kunnen houden, omdat de afvoer te groot is. Hierdoor blijft op deze locaties het chlorofyl-a gehalte in de winter lager dan in de zomer.

Als laatste moet op gemerkt worden dat ook de invloed van macrobenthos niet uit te sluiten is.

8. AANBEVELINGEN VOOR VERVOLGONDERZOEK

Momenteel is er nog zeer weinig bekend over het effect van bodemdieren op de diatomeeënpopulatie. Meer onderzoek naar deze relatie en het vaststellen van seizoensfluctuaties in aantallen en soortensamenstelling van de bodemdieren lijkt dan ook nodig.

De diepte waarop het chlorofyl-a voorkomt is gerelateerd aan de bewogen bodemlaag, maar de bewogen bodemlaag reikt niet zo diepte als het chlorofyl-a. Het gehalte aan chlorofyl-a komt op een ander manier op grotere diepte terecht dan door de bodemomwoeling (DBBL). De gemeten omwoeling is dus niet volledig verklarend. Tijdens de tracermetingen viel op dat er naast de bewogen bodemlaag (tracer weggespoeld) ook een laag was waarin de kleur van de tracer donkerder werd. Het vermoeden bestaat dat door de grondwaterstroming slib en diatomeeën mee gevoerd worden en in de tracer terecht komen. Dit kan gebeuren omdat de tracer van grover materiaal (zand) gemaakt is dan de bodem. Om meer over de bodemomwoeling te weten te komen zou een experiment gedaan kunnen worden met tracer gemaakt van een gekleurd zeer fijn materiaal (b.v. kalk).

De productiesnelheid van de diatomeeën speelt een belangrijke rol in de verklaring voor het lage chlorofyl-a gehalte op sommige locaties. Een direct onderzoek naar hersteltijd en productiesnelheid van diatomeeën zou meer zekerheid kunnen geven.

SAMENVATTING

De Westerschelde is niet alleen van economische waarde maar heeft zeker ook veel natuurwaarden en potentiële natuurwaarden. Het is een van de weinige echte estuaria in Nederland. In een systeem rijk aan slib en organische stof als de Westerschelde is de primaire produktie van het fytoplankton vaak relatief gering doordat licht slechts enkele centimeters diep in de waterkolom kan doordringen. Voor diatomeeën die op de bodem in het intergetijdengebied leven, is er tijdens laagwater geen licht limitatie. Deze bentische diatomeeën nemen dan ook een groot deel van de primaire produktie voor hun rekening. (De Jong & de Jonge, 1995). De geplande toename van de baggeractiviteiten zal een vergroting van het plaatareaal opleveren maar ook zorgen voor steilere overgangen en een hogere hydrodynamiek. Om goede voorspellingen te doen over de gevolgen van de baggeractiviteiten op de bentische diatomeeën is veel onderzoek noodzakelijk.

In de Westerschelde wordt in tegenstelling tot andere gebieden, een sterke seizoensfluctuatie in de biomassa aan diatomeeën gevonden. Verondersteld wordt dat deze seizoensvariatie veroorzaakt wordt door de verhoogde hydrodynamiek in de winter als gevolg van een gemiddeld hogere windsnelheid. Door deze toegenomen dynamiek zouden de diatomeeën omgewoeld dan wel afgevoerd worden. In twee perioden van vier weken zijn op vier locaties een aantal metingen uitgevoerd:

1. Substraatdynamiek
2. Biomassa aan diatomeeën
3. Feofytine-a
4. Het slibgehalte
5. Het aantal en de biomassa aan bodemdieren
6. De hydrodynamiek (windgegevens van het KNMI)

Voor deze experimenten zijn een viertal locaties geselecteerd. Twee locaties met een grote seizoensdynamiek (Appelzak en Everingen) en twee locaties met een geringe seizoensdynamiek (Bath hoog en Bath laag).

Bodemdieren

Op elk van de locaties domineren andere soorten, maar de begrazing van diatomeeën is niet wezenlijk verschillend. Aan de hand van de soortensamenstelling lijkt Bath een stabiel sediment te hebben dan Everingen en Appelzak.

Slib

Het slibgehalte vertoont weinig fluctuatie in de bemonsterde eerste en tweede meetperiode. Een grote fluctuatie is op de meeste locaties niet te verwachten. Zowel Bath 2 als Appelzak hebben tot een diepte van één meter een uniforme bodemsamenstelling. Op Everingen bevindt de overgang van slib naar zand zich op 20 à 30 cm. Dit is ruim onder de laag die voor de diatomeeënbemonstering in beschouwing is genomen (9cm). Op Bath 1 is een afname in de dikte van de sliblaag gemeten.

Wind

De chlorofyl-a en tracer metingen zijn verspreid over een aantal rustige perioden en een aantal perioden met storm. Een aantal metingen hebben ruim na een storm plaats gehad, andere direct na de storm of zelfs in de storm. De maximale wind over 24 uur gemiddeld bedroeg 15 m/s en het maximale gemiddeld over een week 10,5 m/s.

Substraatdynamiek

De gemeten dikte bewogen bodemlaag (DBBL) is op Appelzak het grootst, gevolgd door Bath 1. Op Everingen en Bath 2 is de DBBL niet gecorreleerd met de wind, op Appelzak en Bath 1 is de DBBL wel gecorreleerd met de wind. Everingen heeft verreweg de grootste bodemhoogte beweging (BHB) gevolgd door Appelzak en Bath 2. Bath 1 heeft vrijwel geen BHB. Uiteindelijk is de substraatdynamiek op Everingen het grootst, gevolgd door Appelzak. Bath 2 heeft de geringste substraatdynamiek. Op Bath 1 bestaat de substraatdynamiek alleen uit omwoeling. Tijdens de eerste storm is er voor Appelzak en Bath 1 een verhoogde bodemhoogte afname gemeten, door de afvoer van een slappe sliblaag die zich waarschijnlijk in de zomer (rustig weer) heeft gevormd.

Chlorofyl-a

Het chlorofyl-a is op Everingen vanaf het begin van de monsternamen laag en blijft dat gedurende de gehele onderzoeksperiode. Het chlorofyl-a gehalte op Appelzak en Bath 1 is aan het begin van het onderzoek vrij laag maar herstelt zich gedurende het onderzoek. Op Bath 2 is het chlorofyl-a gehalte hoog en blijft het hoog gedurende het onderzoek. Alle locaties hebben chlorofyl-a waarden die overeenkomen met het langjarige gemiddeldes zoals die door Stapel en de Jong (in prep.) bepaald zijn.

Op Appelzak, Everingen en Bath 1 vindt de afname in de diepte van feofytine-a gehalte op een zelfde manier plaats als het chlorofyl-a gehalte. Op Bath 2 vindt er een toename van het feofytine-a in de diepte plaats. Het lijkt er dus op dat diatomeeën op de eerst genoemde locaties in de diepte geen toenemende mortaliteit te zien geven. Op Bath 2 neemt vanaf 4 het feofytine gehalte t.o.v het chlorofyl-a gehalte sterk toe. Dit kan duiden op een verhoogde mortaliteit.

Op Appelzak wordt een duidelijke relatie gevonden tussen de maximale erosie (ME) en het chlorofyl-a gehalte, op Bath 2 is er ook een relatie aanwezig maar veel zwakker. Op Bath 1 is geen relatie tussen de ME en het chlorofyl-a gehalte aanwezig. Everingen heeft van af het begin van het onderzoek een uitsers laag chlorofyl-a gehalte, waardoor er geen relatie waarneembaar is. Op de slibrijke locaties Everingen en Appelzak treedt er meer substraatdynamiek op met een grotere invloed op de diatomeeënpopulatie dan op de locaties op Bath.

Op de locatie Bath 2 is enerzijds de substraatdynamiek geringer en anderzijds zijn de soorten waarschijnlijk beter bestand tegen een dynamische bodem. De afvoer is hier dusdanig gering dat de productie de afvoer bij kan houden.

Na de afvoer van de slappe sliblaag (die in de zomer op Bath 1 en Appelzak is gevormd) is de substraatdynamiek op deze locaties later in het winterseizoen kleiner. In het begin van het winterseizoen hebben deze locaties dan ook een lager chlorofyl-a gehalte dan later in het winterseizoen. Er treedt na de eerste afvoer van diatomeeën een langzaam herstel op. De bodemerosie is op Bath 1, na het afvoeren van de slappe sliblaag zo weinig dat er zelfs een volledig herstel optreedt. Op Appelzak blijft de bodemerosie duidelijk gecorreleerd met de windsnelheid.

LITERATUUR

Amspoker M. C, and McIntire C.D., (1978)

Distribution of intertidal diatoms associated with sediments in Yaquina estuary, Oregon. JPhycol 14: 387-395

Admiraal W. (1977)

Salinity tolerance of benthic estuarine diatoms as tested with a rapid polarographic measurement of photosynthesis. Mar. Biol. 39, p. 11-18

Admiraal W. & H. Peletier (1979)

Influence of organic compounds and light limitation on the growth rate of estuarine benthic diatoms. Br. Phycol. J. 14. P. 197-206.

Bijkerk R. (1988)

Ontsnappen of begraven blijven. Literatuuronderzoek RDD Aquatic Ecosystems.

Bouwma H., J.M.C. Duiker & P.P. de Vries (1997)

Ecomorfologisch onderzoek Plaat van Baarland 1997. Werkdocument: RIKZ/OS-97.813x

Cadee G.C. & J. Hegeman (1974)

Primary production of benthic microflora living on tidal flats in the Dutch Wadden Sea. Neth. J. Sea Res., 8, p. 260-291.

Colijn F. & Dijkema K.S. (1981)

Species composition of benthic diatoms and distribution of chlorophyll on an intertidal flat in the Dutch Wadden Sea. Mar Ecol Prog Ser 4: 9-21

Colijn F. and De Jonge V. N. (1984)

Primary production of microphytobenthos in the Ems-Dollard estuary. Bir Eco Prog Ser 14: 185-196

- Daemen E. A. M. J. & De Leeuw Vereecken M. T. T. (1985)
Kwalificering en kwantificering van het microfytobenthos in de Oosterschelde.
Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek Rijkswaterstaat Dienst
Getijdewateren, Eindrapport Balans projekt 1985-3
- Delgado M., V.N. de Jonge & H. Peletier (1991)
Effect of sand movement on the growth of benthic diatoms. J. Exp. Mar. Biol.
Ecol. Vol. 145, pp.221-231. Elsevier
- Fenchel T. & L.H. Koefoed (1976)
Evidence for exploitative interspecific competition in mud snails (Hydrobiidae).
Oikos, 22, p. 367-376.
- Hartog G. den & G. Spronk (1997)
Deeltjesgrootte bepaling met voorbehandeling (RIKZ-methode) en zonder
voorbehandeling (McLaren-methode). Werkdocument RIKZ/97.0807
- Jong D. J. de & de Jonge V. N. (1995)
Dynamics and distribution of microfytobenthic chlorofyl-a in the Western
Scheldt estuary (SW Netherlands), Hydrobiologia 31 1 : 21-30
- Jong D. J. de, Nienhuis P. H & Kater B. J. (1991)
Microphytobenthos in the Oosterschelde estuary (The Netherlands),
1981-1990; consequences of a changed tidal regime
- Jonge V. N. de (1985)
The occurrence of 'epipsammic' diatom populations: a result of interaction
between physical sorting of sediment and certain properties of diatom species.
Est Coast. Shelf. Sci. 21: 607-622
- Jonge V.N. de (1992)
Physical processes and dynamics of microphytobenthos in the Ems estuary (the
Netherlands), PhD thesis University of Groningen
- Jonge V.N. de & J.E.E van Beusekom (1995)
Wind and tide induced resuspension of sediment and microphytobenthos in the
Ems estuary. Limnol. Oceanogr. 40: 766-778

Kam J. van der & W.J. Wolff (1974)

Op de grens van zout en zoet. Portret van een veranderend deltalandschap.
Ploegsma; Amsterdam

Koster Engineering (1997)

Stroom- en golfmetingen op slikken gelegen voor schorren in de Westerschelde.
Eerste uitwerking van metingen uitgevoerd op de slikken van Bath, Waarde,
Zuidgors en Paulina; mei t/m oktober 1996. Project MARS*SSM. In opdracht
van RIKZ & Directie Zeeland.

Kranz P.M. (1974)

The anastrophic burial of bivalves and its paleoecological significance. *Journal of Geology* 82:237-265.

Meire, P., M. Hoffmann & T. Ysebaert (1995):

De Schelde een stroom natuurtalent. Instituut voor Natuurbehoud, Hasselt:
rapport 95.10.

Olafsson E.B. (1986)

Density dependence in suspension feeding and deposit feeding populations of
the bivalve *Macoma balthica*: a field experiment. *J. Anim. Ecol.* 55:517-526.

Reise K. (1985)

Tidal flat ecology. An experimental approach to species interactions. Springer
Verlag Berlin.

Ruitenbeek M. (1995)

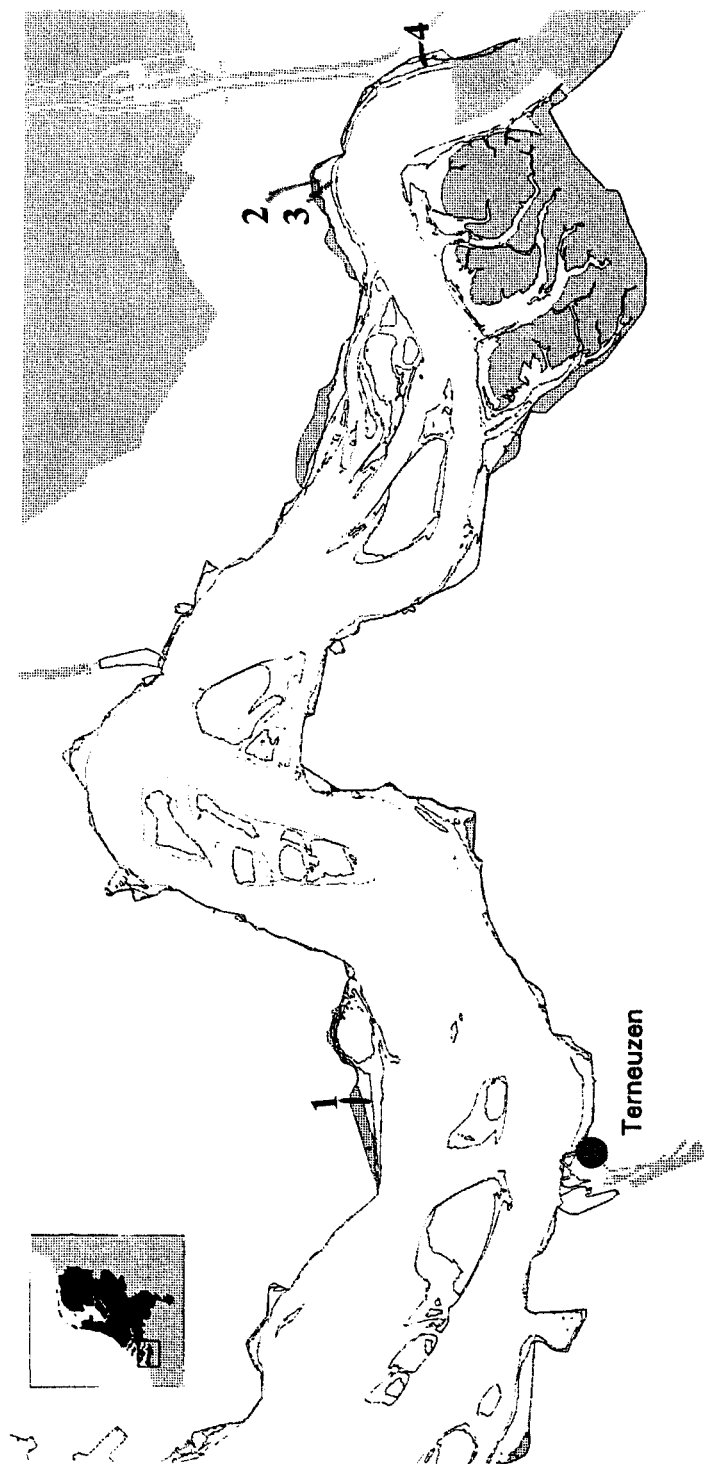
Bodemhoogteontwikkeling van het intergetijdengebied in de Westerschelde.
Universiteit Utrecht, Vakgroep Fysische Geografie Rijkswaterstaat,
Rijksinstituut voor Kust en Zee, stagerapport februari 1995

Sabbe K. & W. Vyverman (1991)

Distribution of benthic diatom assemblages in the Westerschelde (Zeeland, the
Netherlands). *Belg J Bot* 124: 91-101

- Sisttermans P. G. J. (1996)
Verandering van de morfologische dynamiek van de Westerschelde sinds 1955.
Een kwantitatieve analyse. Notitie NWL-96.51. Rijkswaterstaat Directie Zeeland
- Steur C., J. Seys & J. Eppinga (1996)
Ecoprofiel Nonnetje (*Macoma balthica*). Rapport RIKZ-96.002.
- Vos P. C. (1986)
De sedimentstabiliserende werking van benthische diatomeeën in het
intergetijdegebied van de Oosterschelde. Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren
Rijksuniversiteit Utrecht, RWS 86-03 (incl. daarin gerefereerde literatuur)
- Vos P. C. (1989)
Benthische diatomeeën celtellingen in de Oosterschelde en de Voordelta 1985-
1987. Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren, Rijksuniversiteit Utrecht, GWAO-
89.1001
- Wolff W.J. (1973)
The estuary as a habitat. Zoölogische Verhandeling 126:1-242. Rijksmuseum
voor Natuurlijke Historie, Leiden.
- Wolff, W.J. & J. Post (1979)
Oosterschelde. Het leven in en om het water. Sijthoff; Alphen aan den Rijn in
samen werking met Natuurmonumenten.
- Ysebaert T. & P. Meire (1991)
Het macrozoöbenthos van de Westerschelde en beneden Zeeschelde. Rapport
Rijksuniversiteit Gent, W.W.E.
- Zonneveld J.I.S. (1971)
Tussen de bergen en de zee. De wordingsgeschiedenis der lage landen. Bohn,
scheltema & Holkema; Utrecht.
- Zwarts L. & J.H. Wanink (1993)
How the food supply harvestable by waders in the Wadden Sea depends on the
variation in energy density, body weight, biomass, burying depth and behavior
of tidal flat invertebrates. Neth. J. of Sea Res. 31:441-476.

Bijlage I de ligging van de onderzoekslocaties



- | | |
|---------------|--------------|
| 1 = Everingen | 3 = Bath 2 |
| 2 = Bath 1 | 4 = Appenzak |

Bijlage II het aantal bodemdieren en hun asvrij drooggewicht

Everingen

Soort	Individuen per m2	AFDG (g/m2)	gewicht per individu (g)
Macoma balthica	5133	6,82	1.3
Nereis spec.	398	2,24	5.6
Heteromastus filiformis	358	1,25	3.5
Corophium	159	0,04	0.3
Oligochaeta	955	0,14	0.1
Eteone spec.	80	0,35	4.4
Cerastoderma edule	40	0,16	4.0
Scrobicularia plana	80	7,05	8.8
Totaal	7202	18,05	

Appelzak

Soort	individuen per m2	AFDG (g/m2)	gewicht per individu (g)
Macoma balthica	1830	1,34	0.7
Nereis spec.	318	0,23	0.7
Heteromastus filiformis	4854	3,27	0.7
Corophium	80	0,10	1.3
Oligochaeta	637	0,08	0.1
Eurydice pulchra	40	0,10	2.5
Totaal	7759	5,02	

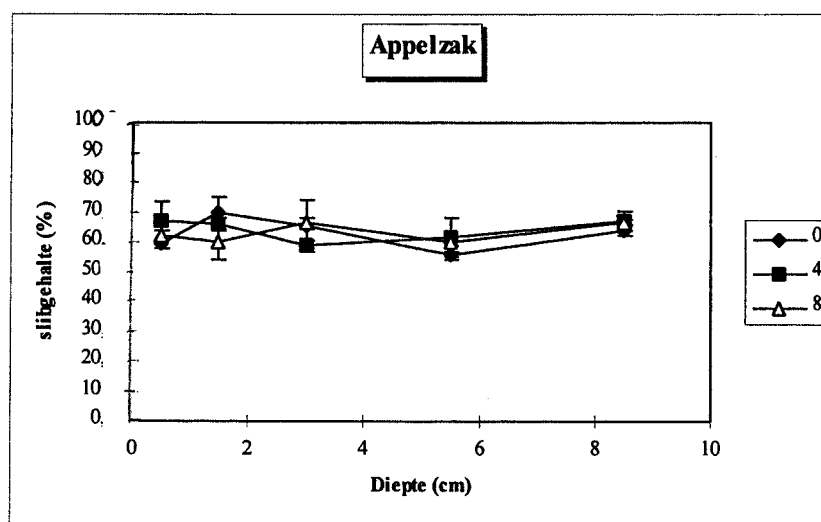
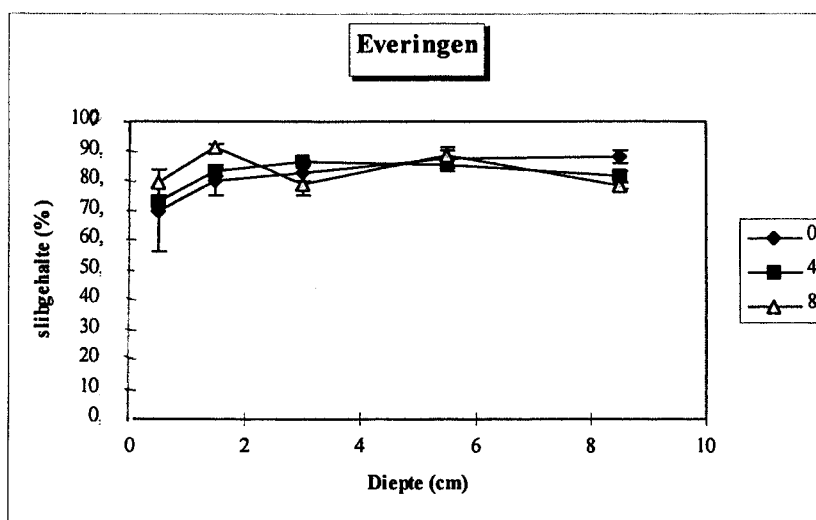
Bath 1

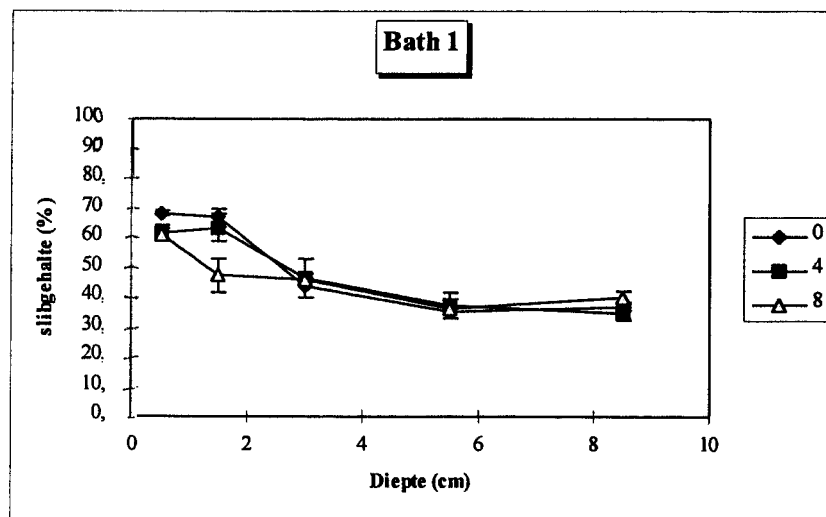
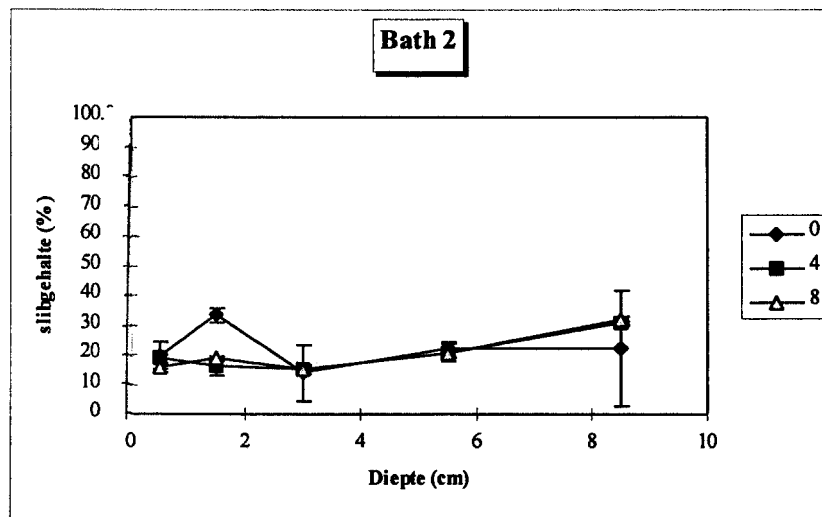
Soort	individuen per m2	AFDG (g/m2)	gewicht per individu (g)
Macoma balthica	2188	2,48	1.1
Nereis spec.	796	2,40	3.0
Heteromastus filiformis	2188	2,50	1.1
Corophium	7610	1,77	0.2
Oligochaeta	149	0,02	0.1
Eteone spec.	199	0,13	0.7
Mya arenaria	99	2,48	2.5
Hydrobia ulva	99	0,01	0.1
Totaal	13329	9,32	

Bath 2

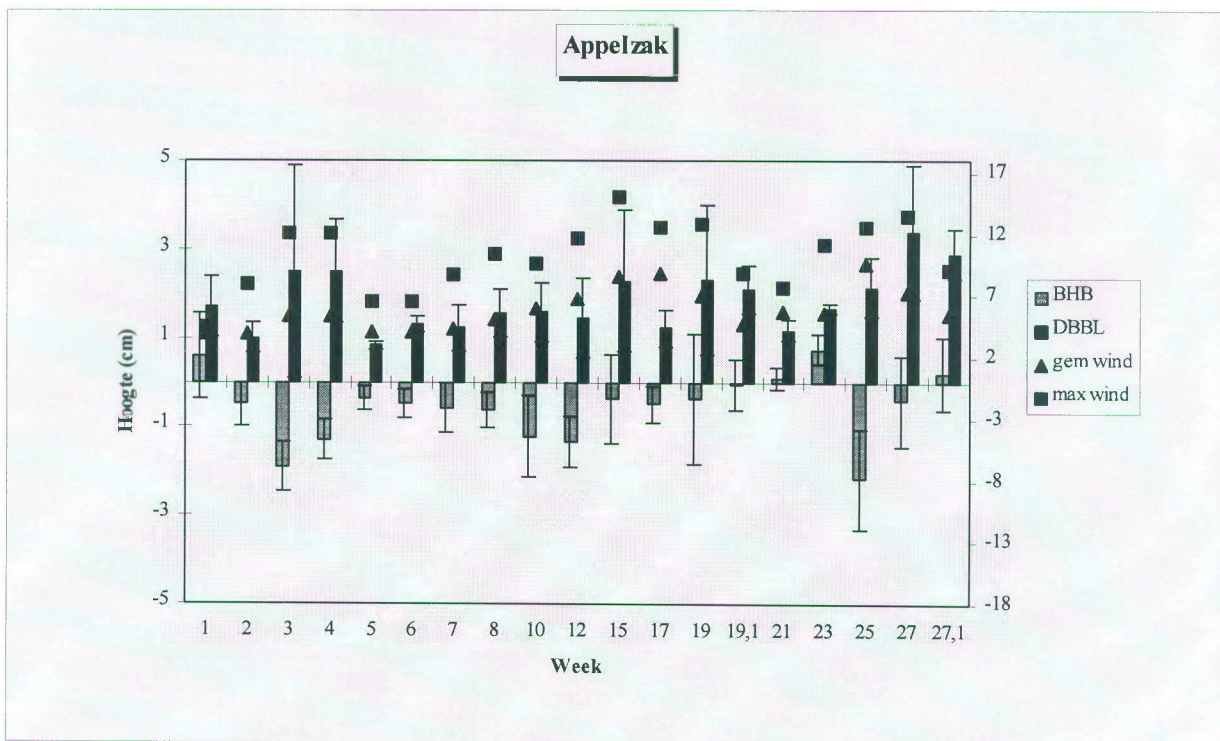
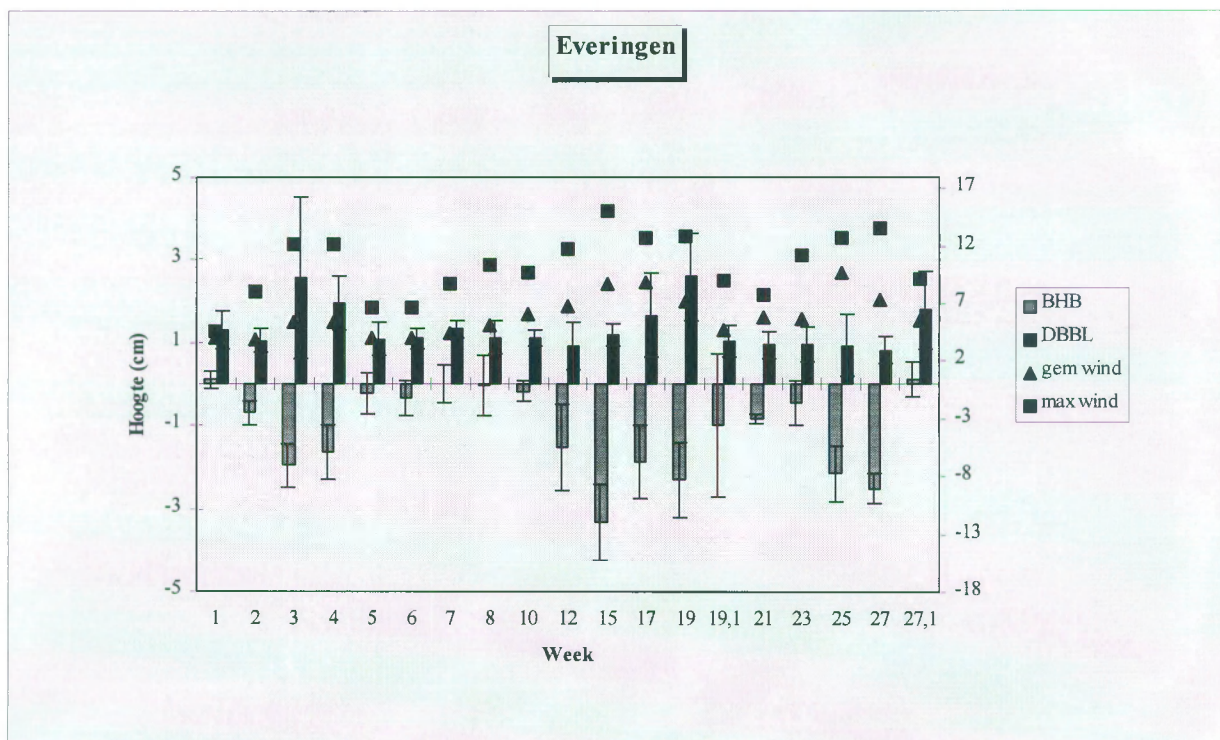
Soort	individuen per m2	AFDGW (g/m2)	gewicht per individu (g)
Macoma balthica	928	0,31	0.3
Nereis spec.	464	0,98	2.1
Heteromastus filiformis	2984	0,83	0.3
Corophium	4377	1,29	0.3
Oligochaeta	928	0,09	0.1
Eteone spec.	464	0,28	0.6
Hydrobia ulva	199	0,11	0.6
Cacina maenas	66	1,11	16.8
Garnaal	66	0,68	10.3
mya arenaria	133	0,31	2.3
Totaal	10610	5,68	

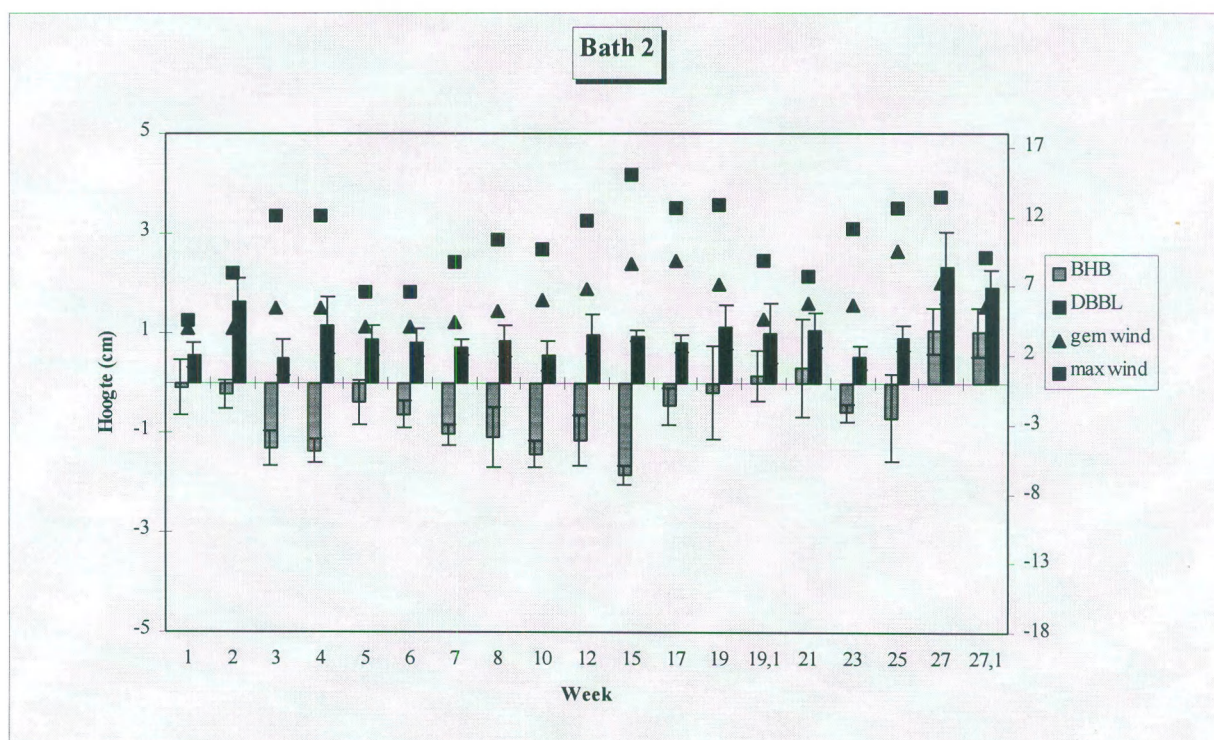
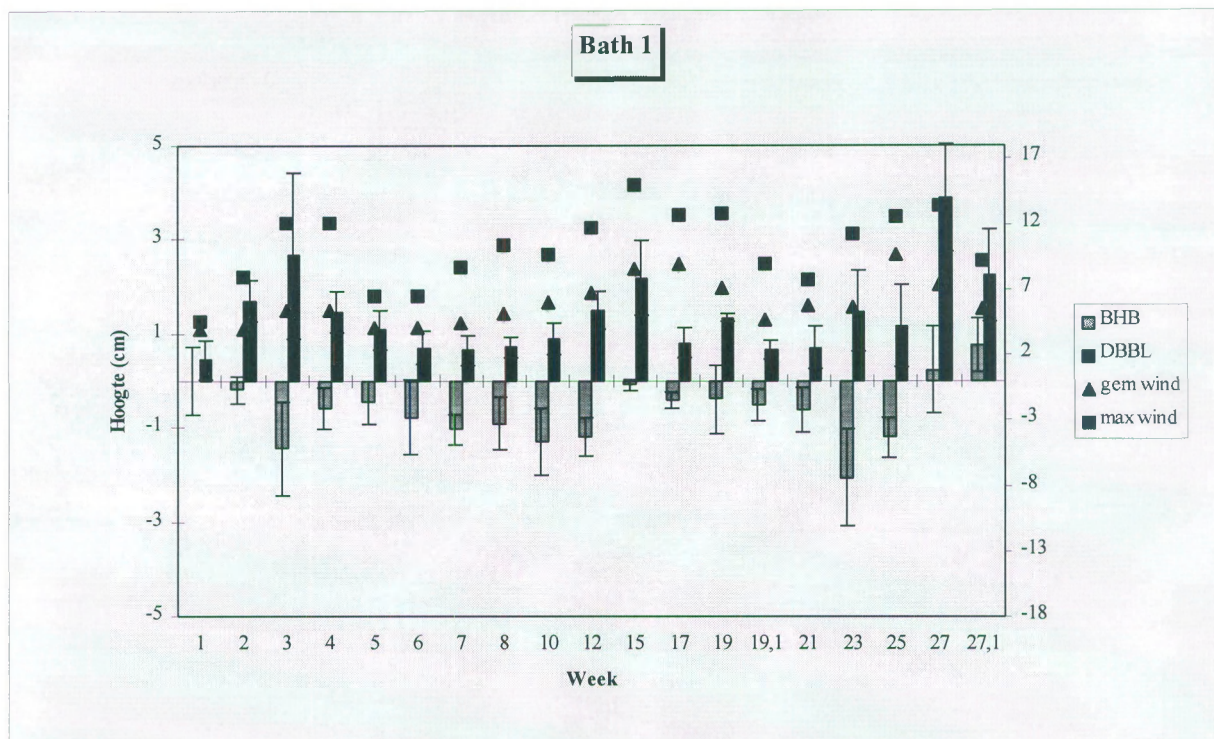
Bijlage III Slibprofielen van de onderzoekslokaties



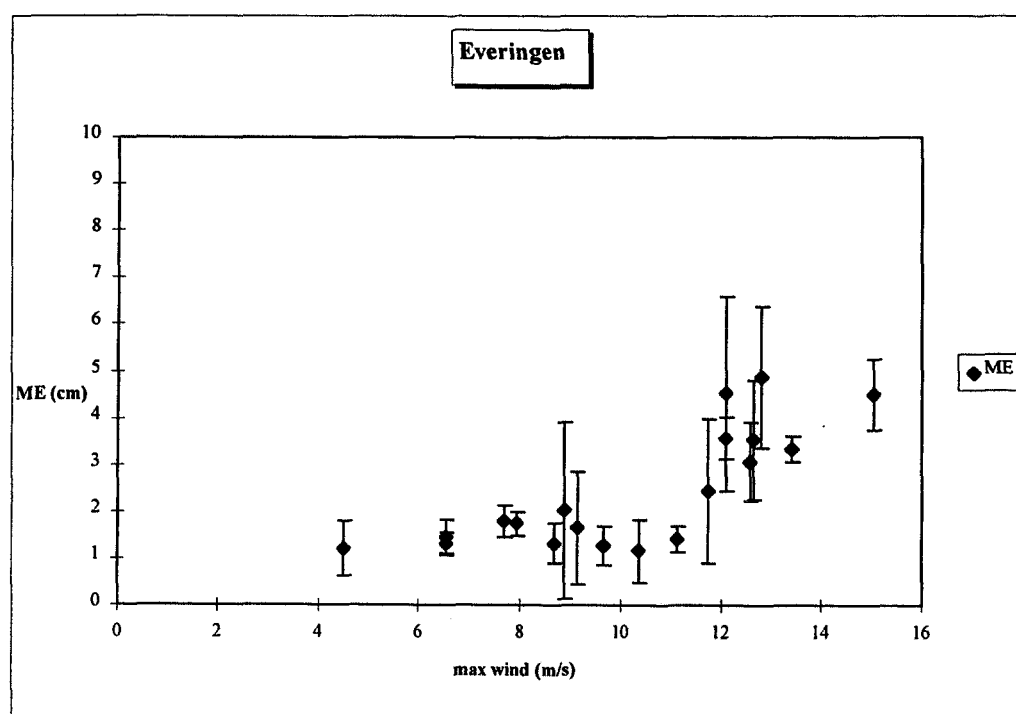
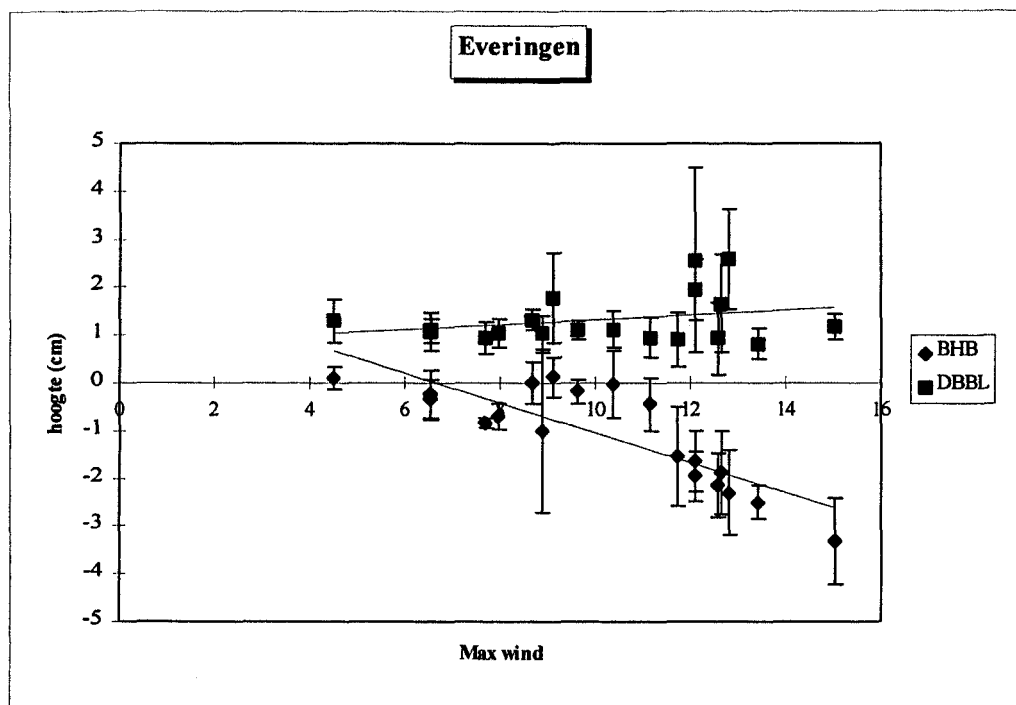


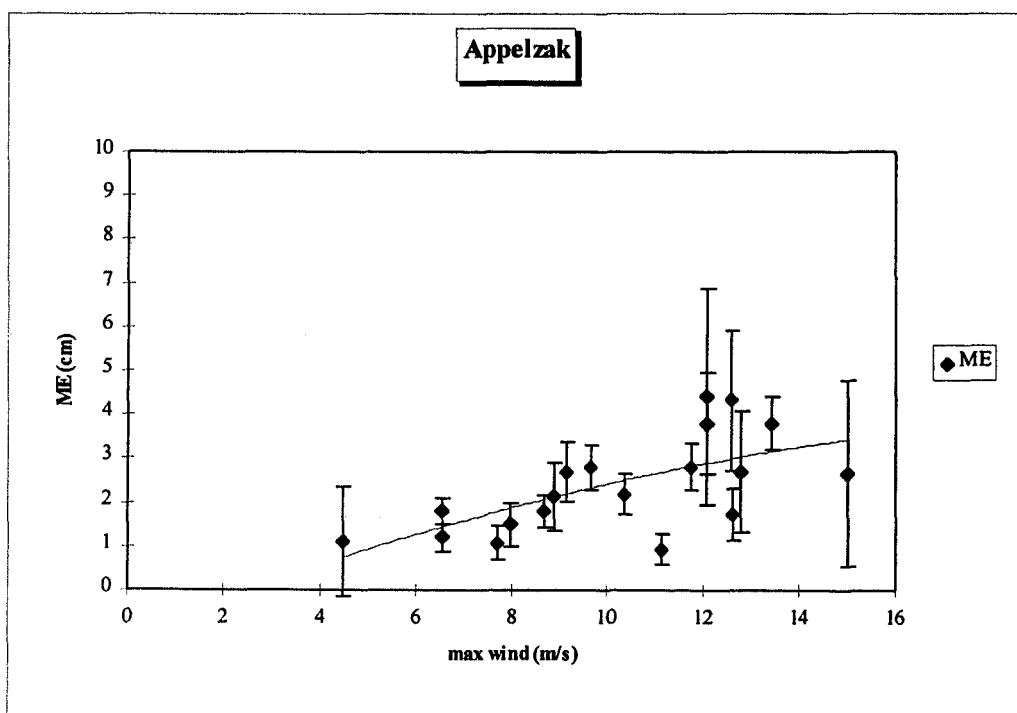
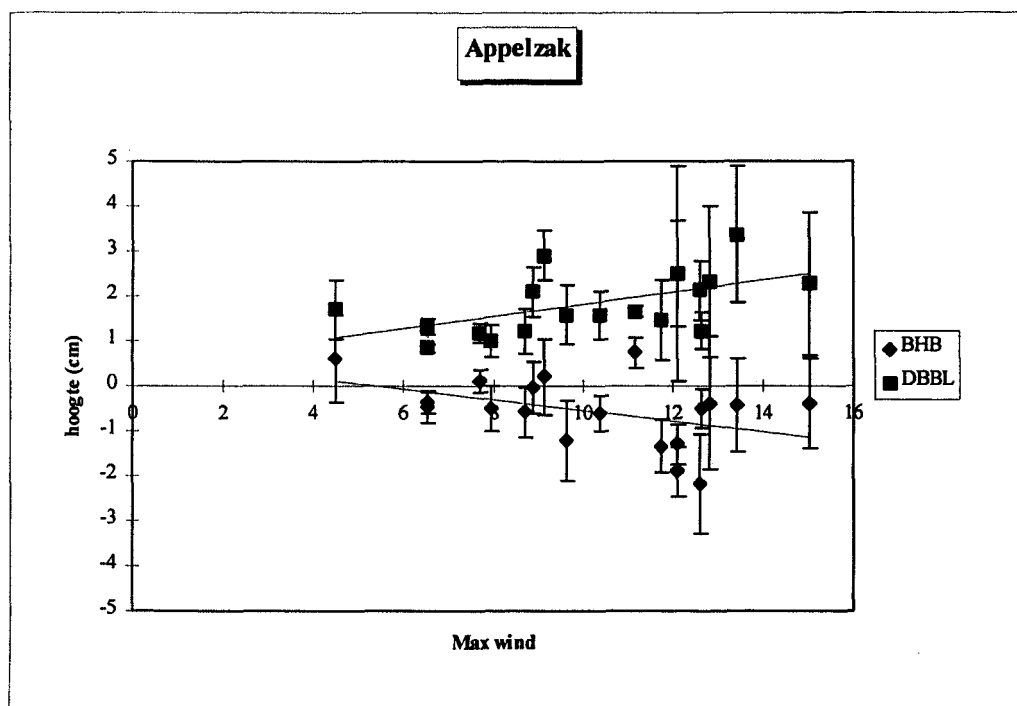
Bijlage IV tracer resultaten

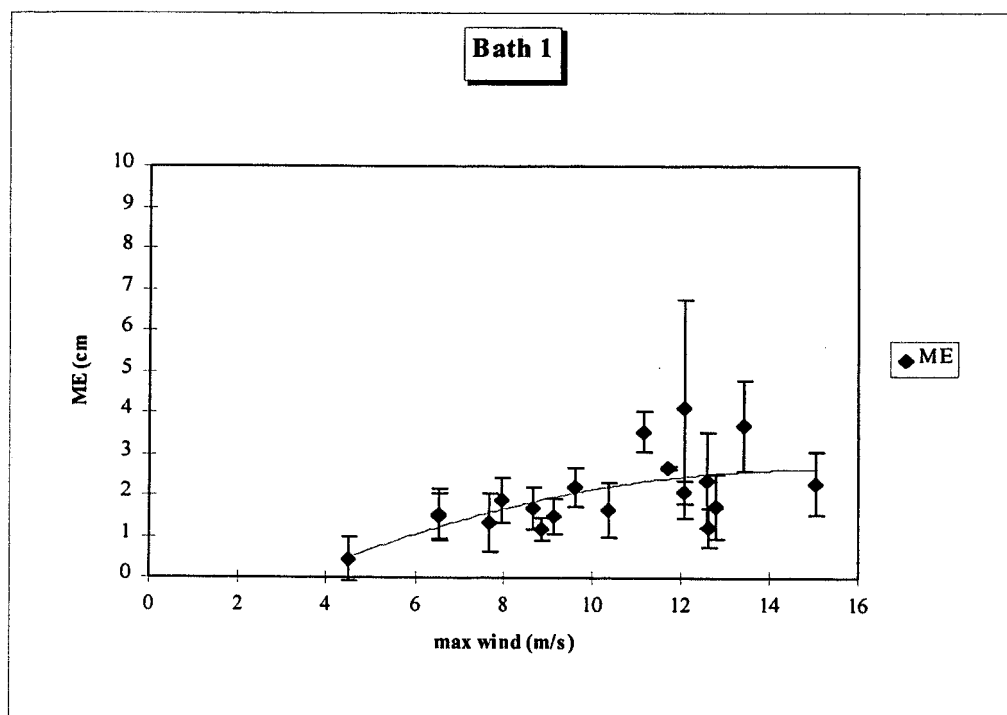
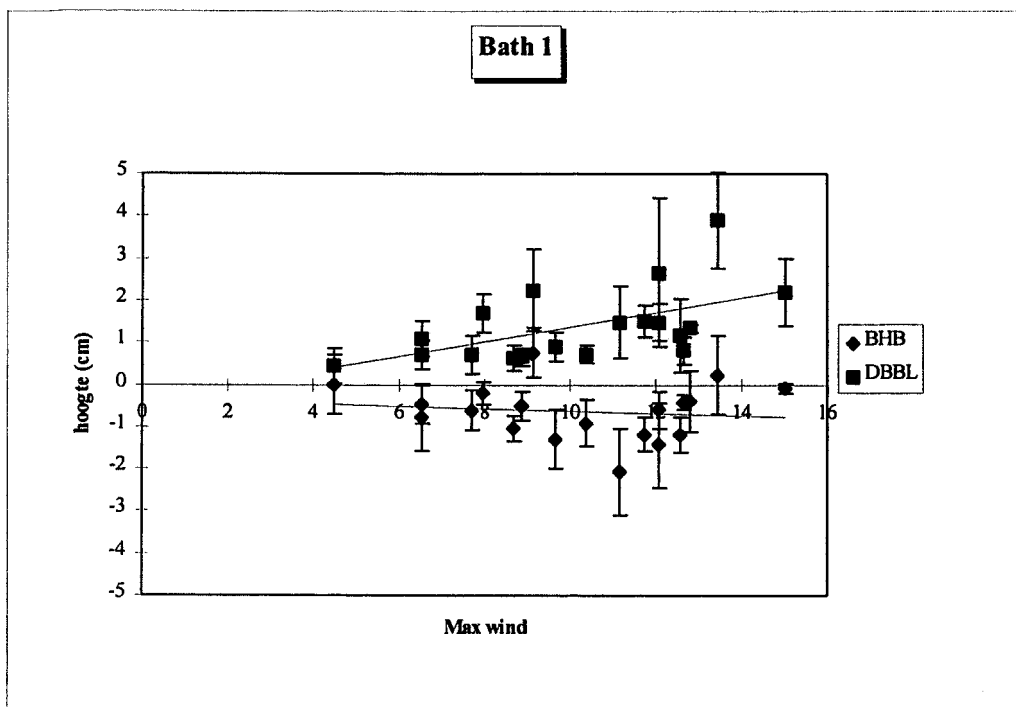


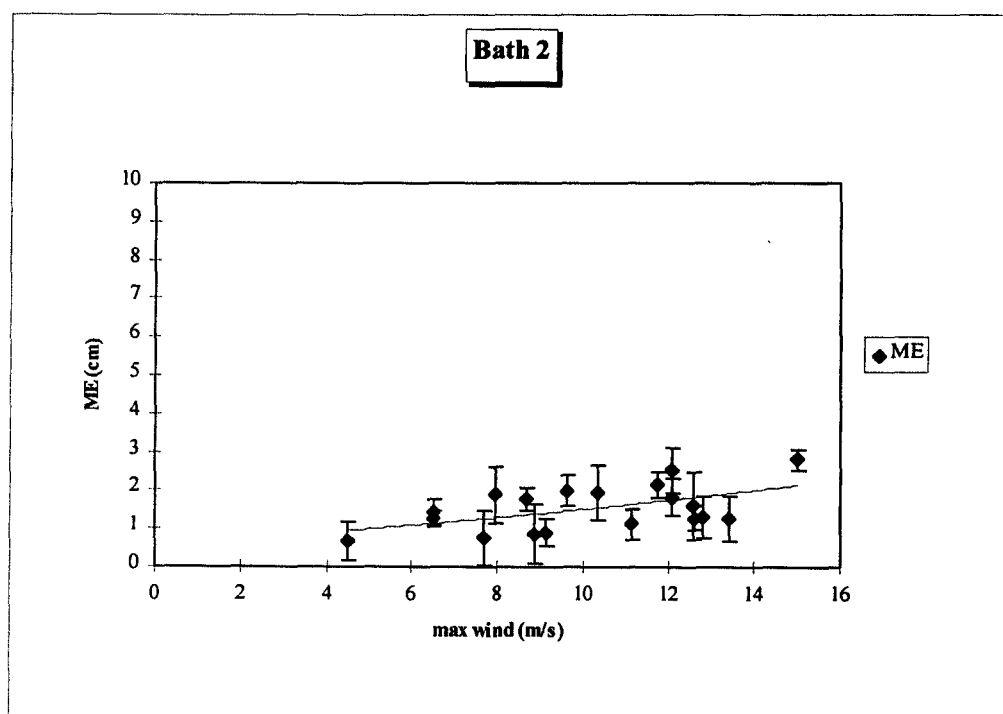
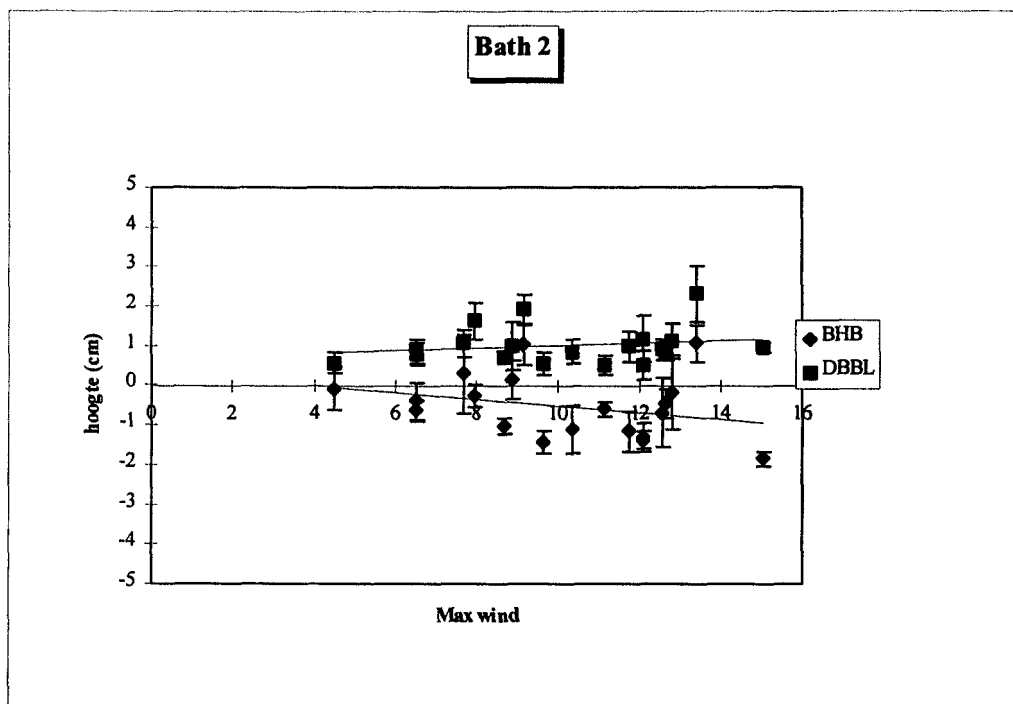


Bijlage V relatie tussen de wind (m/s) en de substraatdynamiek

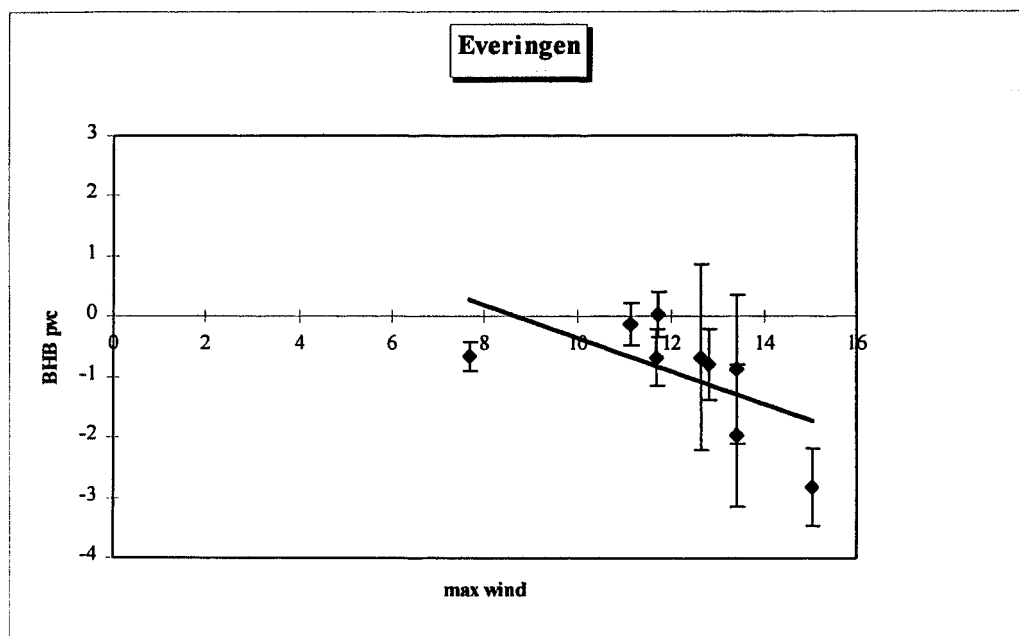
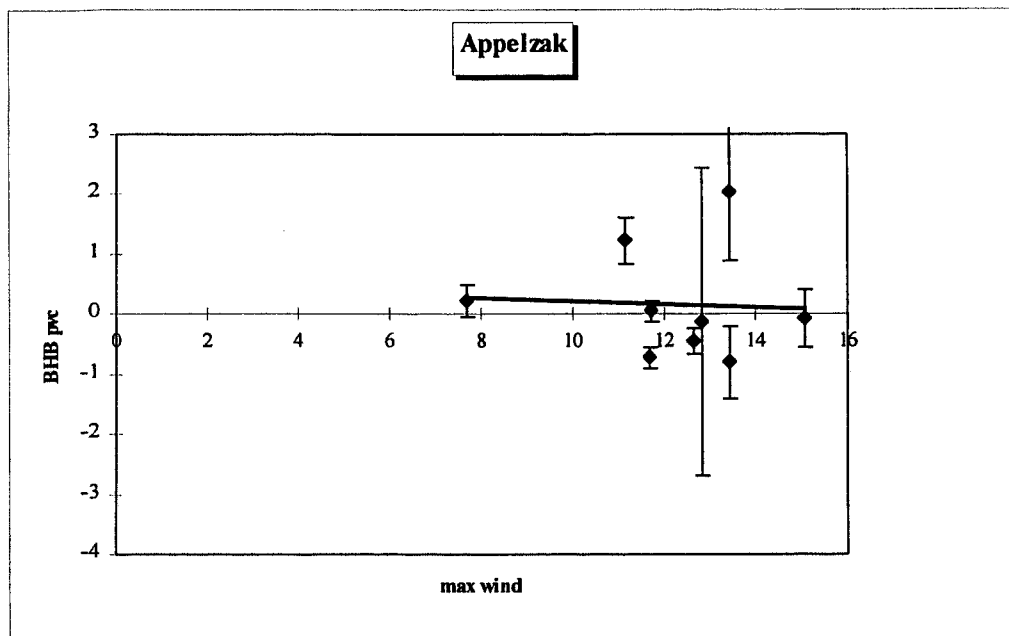


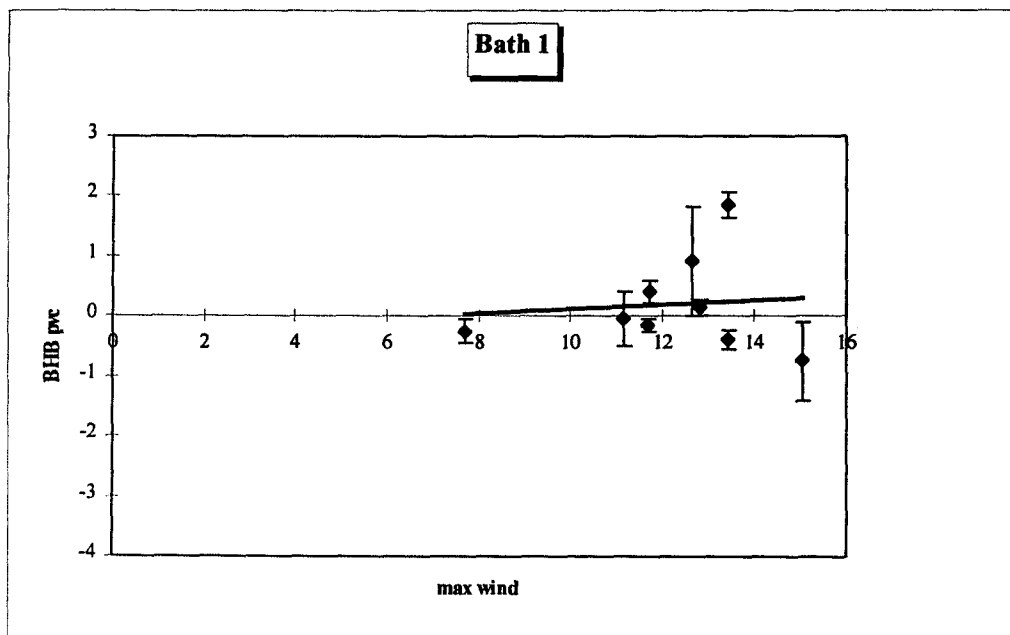
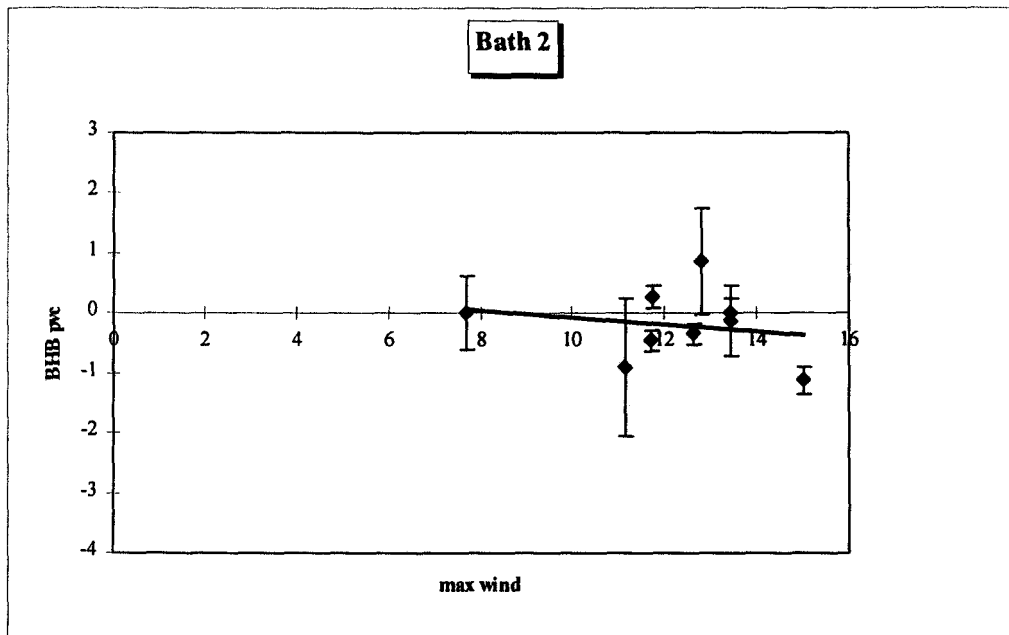




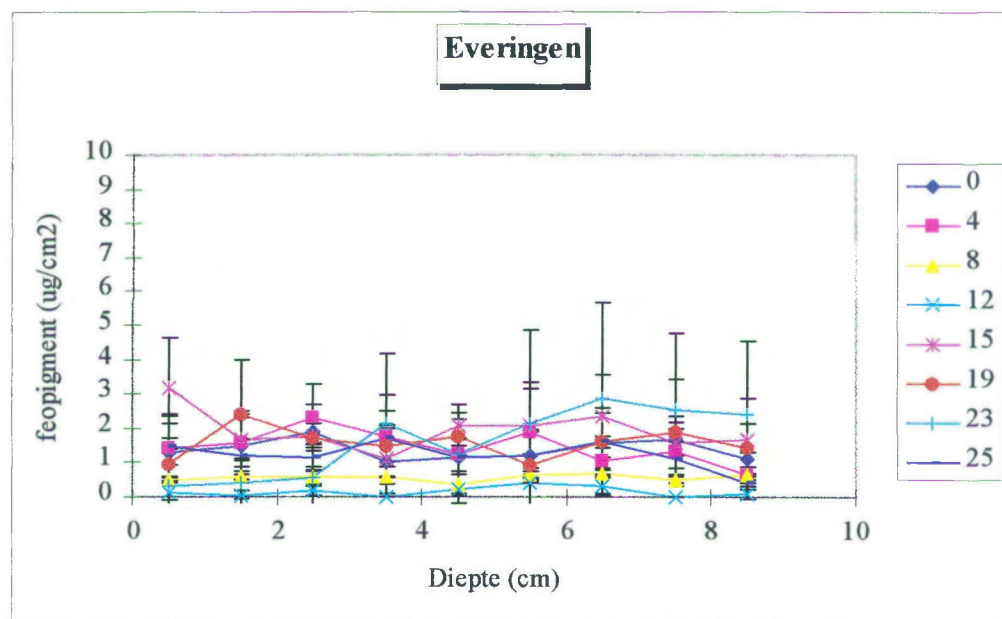
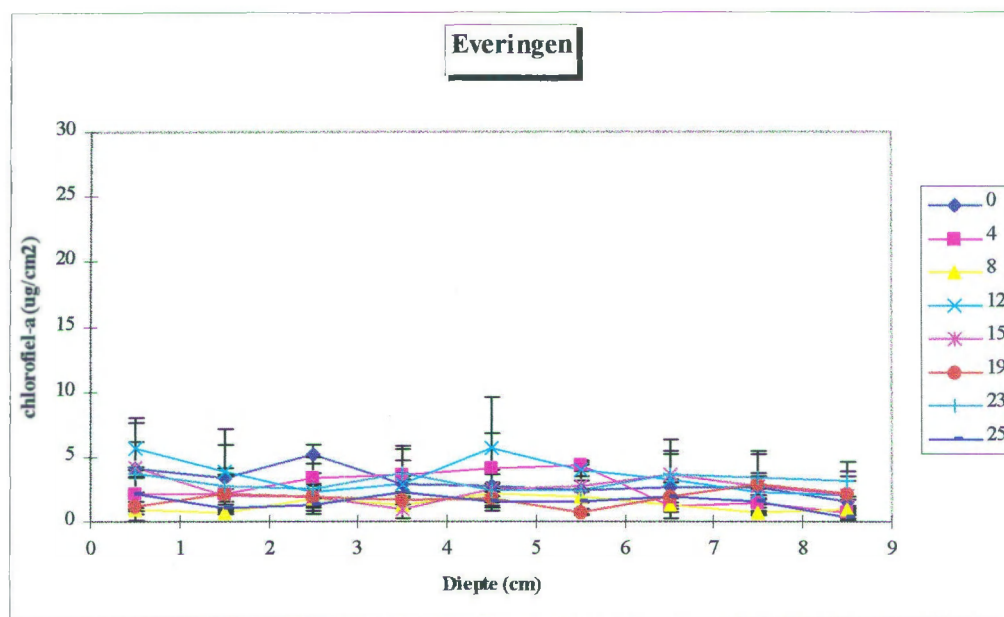


Bijlage VI resultaten pvc-pijpen-experimentuitgezet tegen de maximale windsnelheid (m/s)

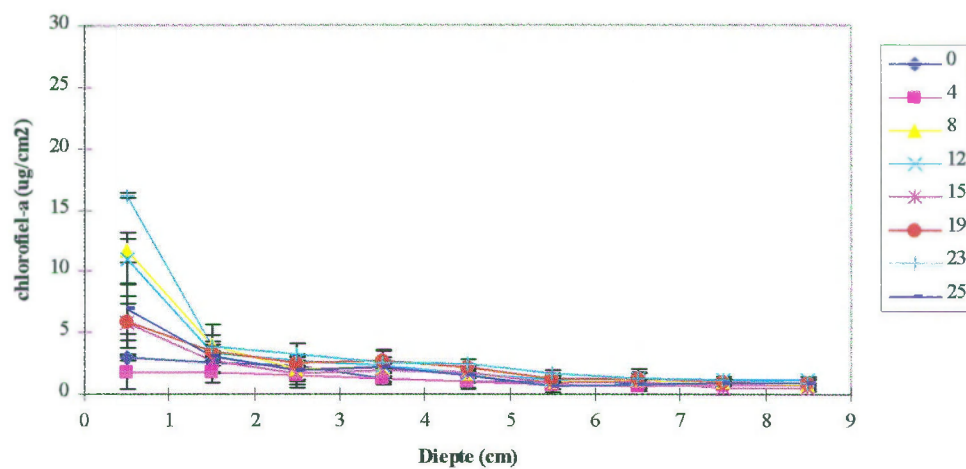




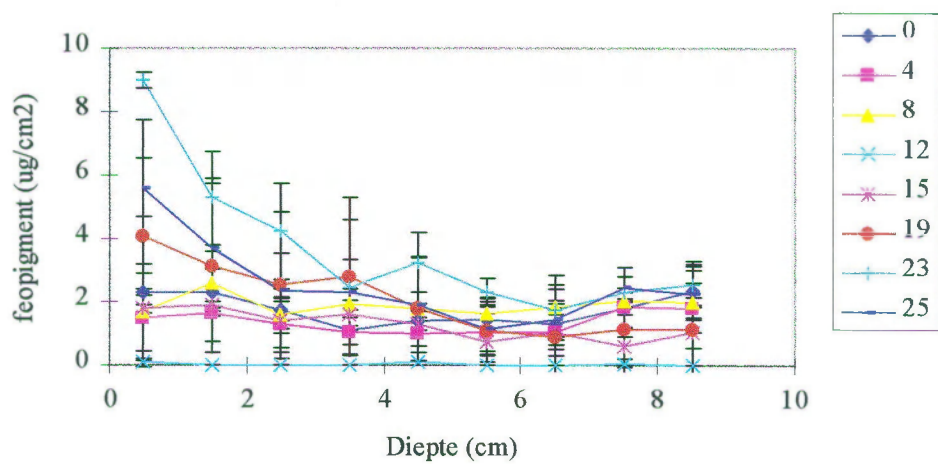
Bijlage VII chlorofyl-a en feofytine-a gegevens per locatie

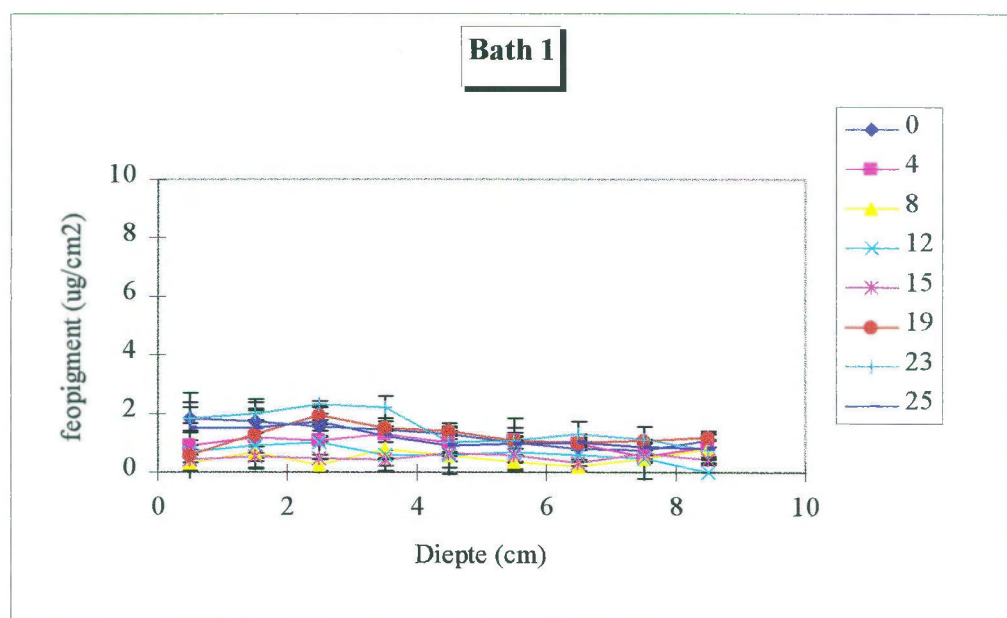
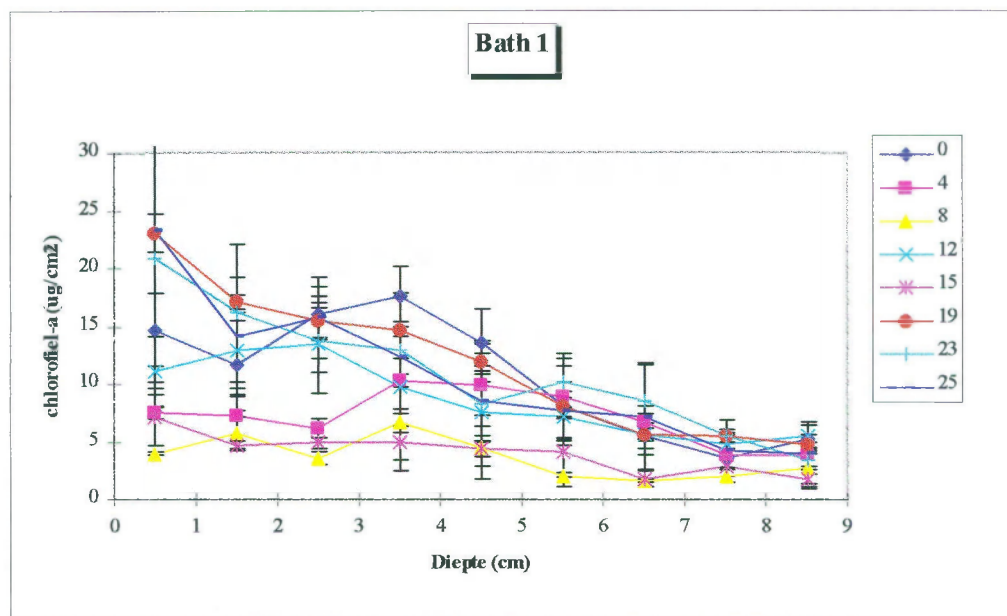


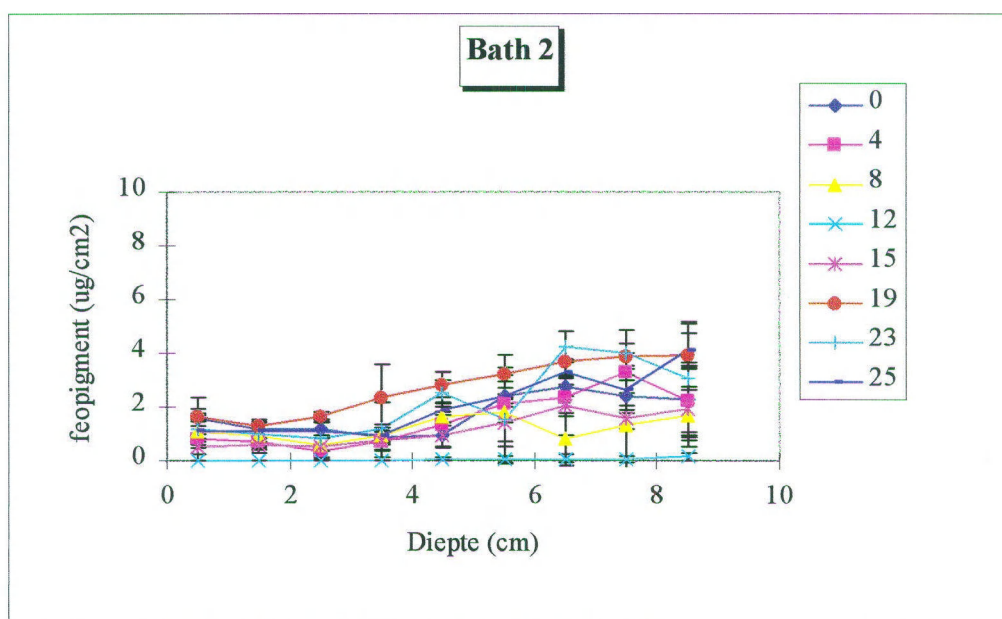
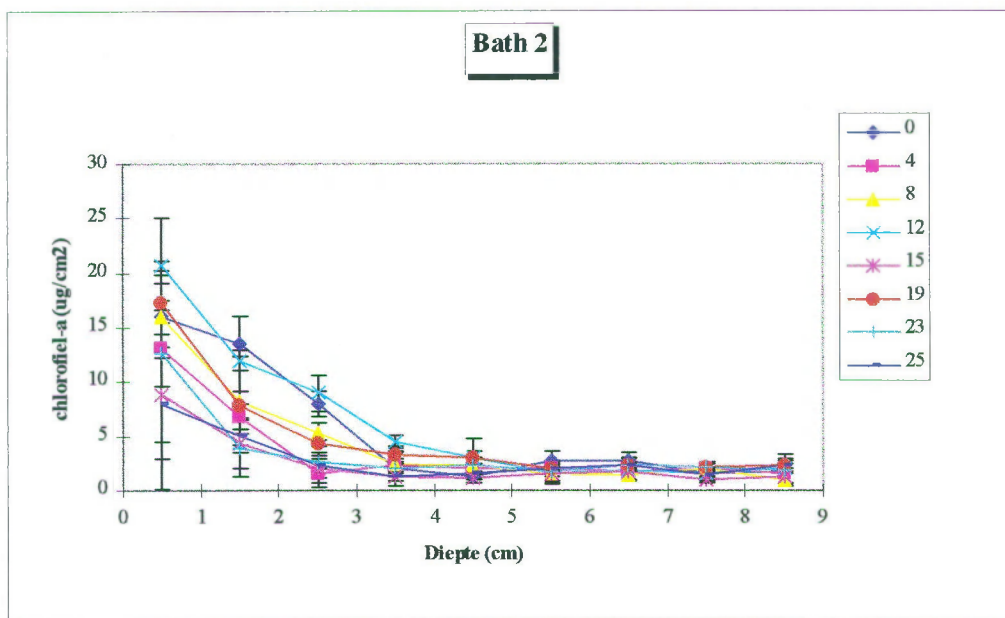
Appelzak



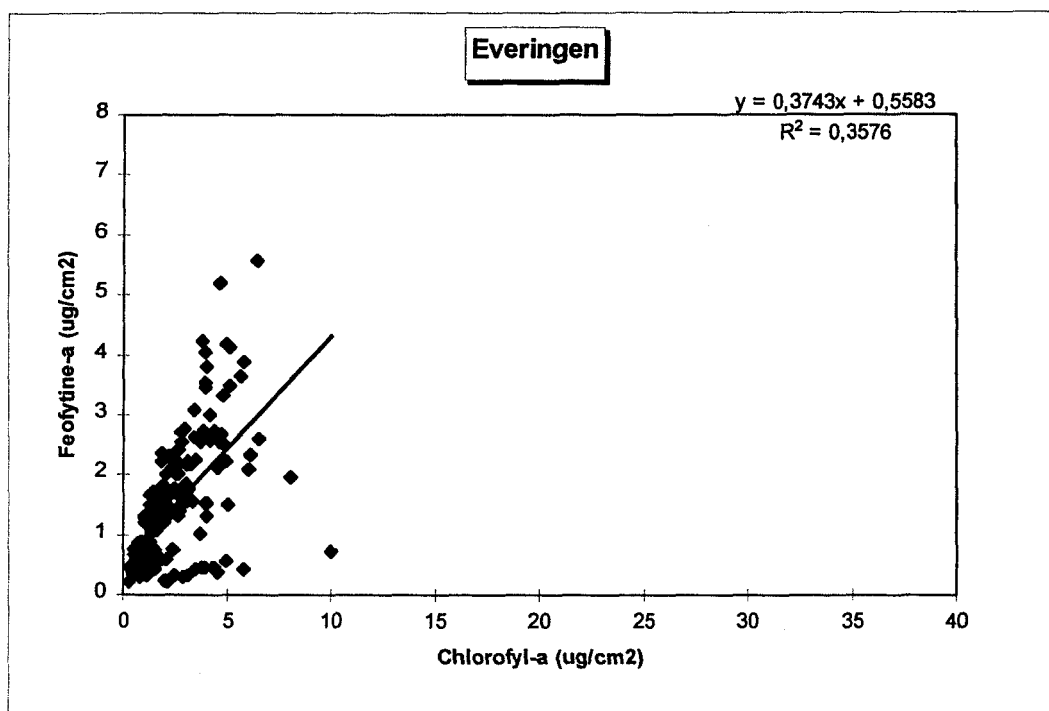
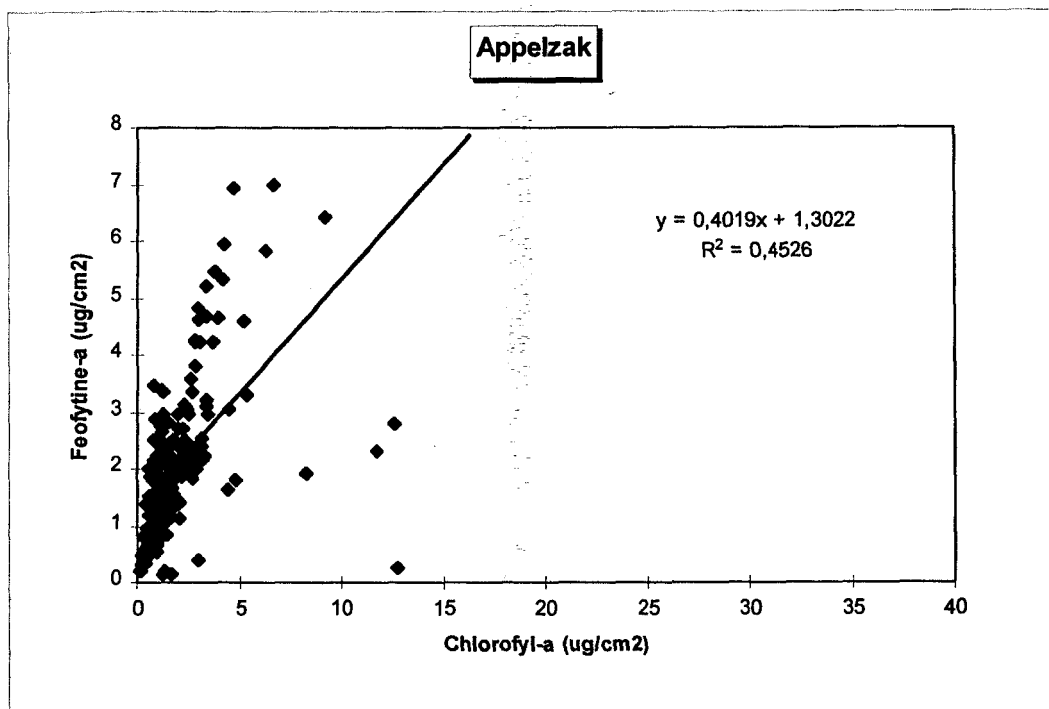
Appelzak





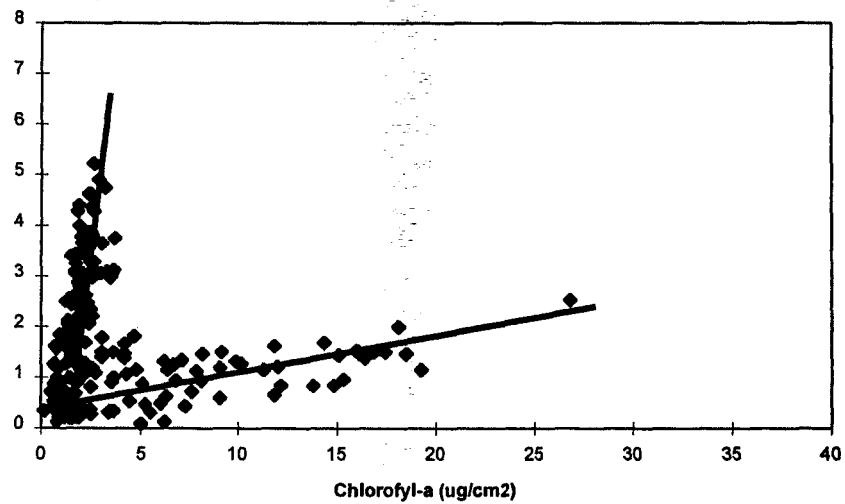


Bijlage VIII correlatie tussen chlorofyl-a en feofytine-a per locatie

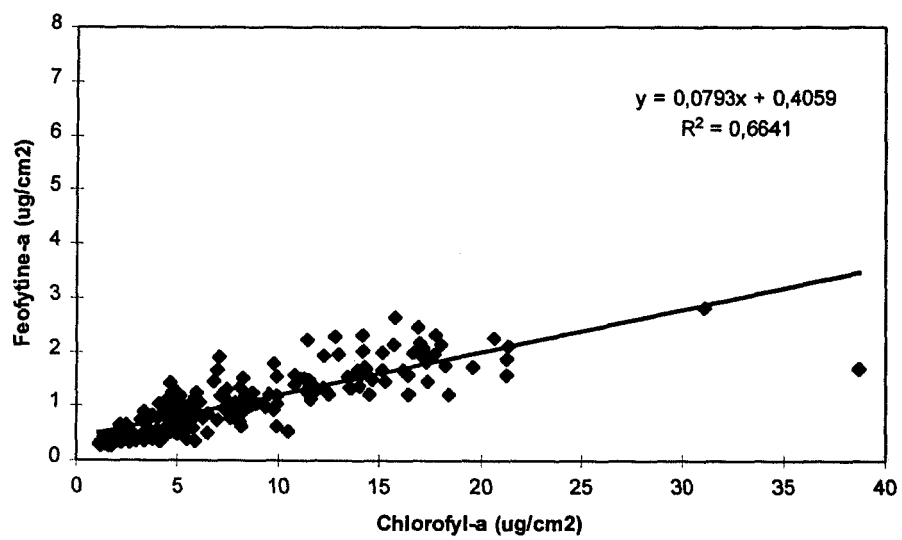


Bath 2

Feofytine-a (ug/cm2)



Bath 1



Bijlage IX verklarende woordenlijst

Anaërobe stikstof fixatie	Het vastleggen van stikstof zonder gebruikmaking van zuurstof
Benthisch	Op en in de bodem levende fractie
Benthos	Bodem
Bodemtracers	Gekleurd zand, dat door middel van in water oplosbare lijm tot staafjes van 0,5 x 1,5 x 10 cm is verlijmd
Chlorofyl-a	Bladgroen; in deze studie een maat voor de biomassa aan benthische diatomeeën
Diatomeeënplots	Zie meetplot
Depositfeeders	Organismen die leven van het organisch materiaal in of op de bodem
Detritus	deeltjes dood organisch materiaal (o.a. dood plantaardig materiaal)
Dynamiek	Zie geomorfologische dynamiek
Eb	Het proces van het zakken van het water ook wel afgaand water genoemd
Effectieve windsnelheid	De gemiddelde windsnelheid over 3 hoogwater perioden
Feofytine-a	Een afbraakprodukt van chlorofyl-a; in deze studie gebruikt als maat voor de dode diatomeeën

Filterfeeders	Organismen die leven van het organisch materiaal dat zij uit de waterkolom filteren (b.v. kokkel en mossel)
Flora / fauna	Totaal aantal soorten dat in een bepaald gebied kan leven
Fotische zone	Zone van de bodem waar licht in doordringt en dus fotosynthese mogelijk is.
Geomorfologische dynamiek	De snelheid van bodemverandering in een bepaald gebied
Geulen	Deel van het getijde gebied dat niet droog valt met laagwater en voor de aan- en afvoer van water zorgen
Grazers	Fauna dat voor zijn voedselvoorziening afhankelijk is van planten (in de Westerschelde vooral ééncellige algen)
Habitat	De plaats in een gebied waar een bepaald organisme op basis van abiotische parameters zou kunnen leven
Hoogwater	Hoogste waterstand tussen vloed en eb
Intergetijdengebied	Het gedeelte van een estuarium dat bij hoogwater onder water staat en bij laagwater droogvalt
Kombergendvermogen	De hoeveelheid water die in een gebied geborgen kan worden, ofwel het maximale volume aan water in een gebied
Laagwater	laagste waterstand tussen eb en vloed
Limitatie	Beperking; b.v. van een organisme in zijn groei

Macrozoöbenthos.....	(Ook wel afgekort tot zoöbenthos) bodemdieren die met het blote oog goed te zien zijn zoals schelpen, pieren etc. (> 1mm)
Meetplot.....	Een gemarkeerd punt op een plaat of slik, dat met een bepaalde regelmaat (vaak over meerdere jaren) bemonsterd wordt.
Meiobenthos.....	Diertjes die op en in de bodemleven met een grootte tussen de 100 µm en 1 mm.
Microdynamiek.....	Dynamiek op kleine schaal, de zogenaamde wind - en stroomribbels
Microfytobenthos.....	Verzamelnaam voor op de bodem levende microscopisch kleine plantaardige organisme
Planktonisch.....	In het water zwevend
Platen	Bij laagwater droogvallend gebied dat aan alle zijden is omgeven door water
Plots	Zie meetplot
Predators	Dieren die voor hun voedselvoorziening afhankelijk zijn van andere dieren
Primaire producenten.....	Organisme die anorganisch materiaal omzetten in organische stof
Primaire produktie	De aanmaak van plantaardig materiaal door het vastleggen van anorganische koolstof
Respiratie	De afbraak van door de plant zelf gemaakt organisch materiaal ter verkrijging van energie voor de eigen groei
Resuspensie.....	Het terug in de waterkolom gaan van bezonken materiaal

Saliniteit.....	Het gehalte aan in het water opgeloste ionen
Schorren	Buitendijkse gebieden die zo hoog zijn opgeslibd dat ze alleen met springvloed of storm onder water lopen; ze zijn begroeid met hogere planten
Slib	Bodemdeeltjes kleiner dan 63 μm
Slikken	Bij laagwater droogvallend gebied dat aan minstens één zijde door land wordt begrensd.
Voedselweb.....	Het onderlinge verband tussen organismen wat de afhankelijkheid wat betreft voeding laat zien
Vloed.....	Het proces van het stijgen van het water ook wel opkomend water genoemd

Bijlage X lijst met figuren en tabellen

FIGUREN

<i>figuur 1 De Noordzee in het Holoceen (Meire et. al., 1995).....</i>	<i>8</i>
<i>figuur 2 De zoutgradiënt in de Westerschelde (Meire et. al., 1995).....</i>	<i>10</i>
<i>figuur 3 Een epipsammische diatomee (Vos, 1986).....</i>	<i>16</i>
<i>figuur 4 Epipelische diatomeeën (Vos, 1986).....</i>	<i>17</i>
<i>figuur 5 Dwarsdoorsnede bodemprofiel Everingen en ligging diatomeeënplots en meetlocatie.....</i>	<i>35</i>
<i>figuur 6 Dwarsdoorsnede bodemprofiel Appenzak en ligging diatomeeënplots en meetlocatie.....</i>	<i>36</i>
<i>figuur 7 Dwarsdoorsnede bodemprofiel Bath en ligging diatomeeënplots en meetlocatie.....</i>	<i>37</i>
<i>figuur 8 Slib intervallen.....</i>	<i>39</i>
<i>figuur 9 De 'meter' (maten in cm's).....</i>	<i>42</i>
<i>figuur 10 Bovenaanzicht tracerraster.....</i>	<i>42</i>
<i>figuur 11 foto van een tracer bij bemonstering en de definitie van LB en LO.....</i>	<i>43</i>
<i>figuur 12 Begripsomschrijving van de gebruikte parameters bij het tracerexperiment.....</i>	<i>45</i>
<i>figuur 13 Begripsomschrijving van de gebruikte parameters bij het pvc-pijpenexperiment.....</i>	<i>46</i>
<i>figuur 14 Het gemiddelde slibgehalte per locatie tot 9 cm diepte (n=9).....</i>	<i>53</i>
<i>figuur 15 Het slibgehalte per locatie tot één meter diepte (n=1).....</i>	<i>53</i>
<i>figuur 16 De 24 uren windsnelheidsgemiddelde.....</i>	<i>56</i>
<i>figuur 17 Dikte van de bewogen bodemlaag (cm/periode).....</i>	<i>57</i>
<i>figuur 18 Bodemhoogtebeweging (cm/periode).....</i>	<i>57</i>
<i>figuur 19 De maximale erosie (cm/periode).....</i>	<i>58</i>
<i>figuur 20 Het chlorofyl-a gehalte in de diepte, gemiddeld over de hele meetperioden.....</i>	<i>60</i>
<i>figuur 21 De relatie tussen de maximale erosie (ME) over een perioden en het chlorofyl-a gehalte aan het eind van die perioden.....</i>	<i>66</i>
<i>figuur 22 Vergelijking van de maximale wind opgetreden in de 3 dagen voor monsternamen met het chlorofyl-a gehalte.....</i>	<i>71</i>

TABELLEN

<i>Tabel 1 Oppervlakte in ha per ecotopen (Meire et. al., 1995).....</i>	<i>11</i>
<i>Tabel 2 Het AFDW in g/m² van de belangrijkste soorten.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabel 3 Gemiddelde en maximale windsnelheden per week.....</i>	<i>55</i>
<i>Tabel 4 Het percentage chlorofyl-a van het totaal gebaseerd op het gemiddelde van T0 t/m T25.....</i>	<i>61</i>