

INTEGRATIE VAN ECOLOGIE EN WATER- BOUWKUNDE IN DE ZEESCHELDE: AANLEIDING TOT EN SITUERING VAN HET ONDERZOEK MILIEU- EFFECTEN SIGMAPLAN (OMES)

P. MEIRE¹, M. STARINK² en
M. HOFFMANN¹

¹ Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap,
Instituut voor Natuurbehoud

² Nederlands Instituut voor Oecologisch Onderzoek,
Centrum voor Estuariene en Mariene Oecologie

INTEGRATION OF ECOLOGY AND WATER MANAGEMENT IN THE RIVER SCHELDT

The ideas of integrated water management form the basis for the water policy in Flanders. This requires however a thorough understanding of how the watersystem is working. This allows then to work out these management options which fulfil the aims of several functions.

The Schelde estuary is a very important river in Flanders. It is the entrance to the port of Antwerp but also a very important ecosystem. Especially the brackish and freshwater tidal mudflats and marshes are, on a European scale, very rare habitats. However, due to increasing high water levels, the execution of the Sigmaphan is very urgent in order to protect the land from being flooded. The Sigmaphan consists of heighthening and stengthening the dikes and the creation of inundation areas.

For the further execution of the Sigmaphan several alternatives are available: dikes can be build so as to enhance vegetation growth, dikes can be moved more inland to create new intertidal areas and finally the controlled inundation areas can be managed in such a way that they area flooded very regularly. As the execution of this plan clearly influences the estuarine ecosystem the Flemish government decided to carry out a large scale research project to build an ecosystem model of the estuary. Based on the results of this research and the ecosystem model the impact of alternatives of the Sigmaphan on the system should be estimated. This will be a very effective tool for the integrated management of the estuary. To achieve this goal the OMES project aims at building an ecosystem model of the Schelde estuary, especially of the Zee-schelde, to predict the impact of different alternative construction and management options for the Sigmaphan. This model will focus on the processes occurring in the pelagic and benthic phase and especially on the benthic pelagic coupling. What is the role of the intertidal areas in the flux of C and N? Therefore the research task consists of measuring water quality parameters, phyto- and zoo-plankton composition and production along the estuarine gradient,

the composition of the organic matter in the water column, the source and the fate of this organic matter. Within the benthic compartment detailed studies on the benthic fauna and on denitrification rates of the sediment are included. From the marshes the parameters influencing the occurrence of different vegetation types are studied as well as the production of several dominating vegetation species (Reed, *Phragmites australis*; Willows, *Salix* sp.). Sediment transport within the river as well as sedimentation and erosion on marshes and mudflats are studied, coupled with the hydraulics of the estuary. Finally the results of these studies and the ecosystem model will be used to answer the questions what will be the impact on the ecosystem of increasing or decreasing the surface of intertidal areas (by e.g. building new dikes further from the river) or of different management options of the controlled inundation areas. Do the freshwater tidal marshes play a significant role in nitrate removal and nutrient turnover? What is the impact of a larger tidal area on waterheights? Are marshes sources or sinks of organic matter? These are just a few of the questions adressed by the project.

The project is financed and coordinated by the Ministry of the Flemish Community. The overall coordination is done by the Institute of Nature Conservation in cooperation with the Administration of Waterways and Waterinfrastructure which is responsible for the execution of the Sigmaphan. The project lasts for three years and started mid-1995. Several research tasks are carried out by the Institute of Nature Conservation and the Hydraulic laboratory of the Flemish Ministry, others are contracted out to several laboratories of the Flemish Universities (3 at the University of Gent; 2 at the University of Brussel; 1 at the University of Leuven), the Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen (Brus-sel) and the Netherlands Institute of Ecological Research, Centre for estuarine and marine ecology (Yerseke, NL).

1. INLEIDING

Het niet erkennen van de multifunctionaliteit van onze waterlopen en het daaruit voort-vloeiende zeer versnipperde beheer ervan hebben ertoe geleid dat in de voorbije de-cennia de ecologische kwaliteit van onze waterlopen sterk degradeerde. Zowel de waterkwaliteit als de morfologische kwali-teit (oeverstructuren etc.) is vaak zeer slecht

(bv. Nagels et al., 1993 a, b). Dit resulteerde in een verarming van de aquatische levens-gemeenschappen. Momenteel worden zelfs de economische functies van de waterlopen hierdoor negatief beïnvloed; denk bv. aan de problemen van vervuilde waterbodems, drinkwaterwinning, visserij enz. De degra-datie enerzijds en het groeiend inzicht in de samenhang van alle facetten van het water-systeem anderzijds hebben geleid tot het

concept integraal waterbeheer. Immers, een watersysteem is het samenhangend en functioneel geheel van oppervlaktewater, grondwater, onderwaterbodems, oevers en technische infrastructuur met inbegrip van de voorkomende levensgemeenschappen en alle bijhorende fysische, chemische en biologische kenmerken en processen. In-tegraal waterbeheer is een methodiek om het watersysteem zodanig te beheren en te

ontwikkelen tot het voldoet aan de doelstellingen van de ecologische functies en van de gebruiksfuncties. Dit impliceert een belangenafweging en de erkenning van de samenhang en de wisselwerking binnen en tussen de verschillende componenten van het watersysteem. Dit vereist evenwel ook een samenwerking tussen de verschillende beleidsinstanties en beheerders.

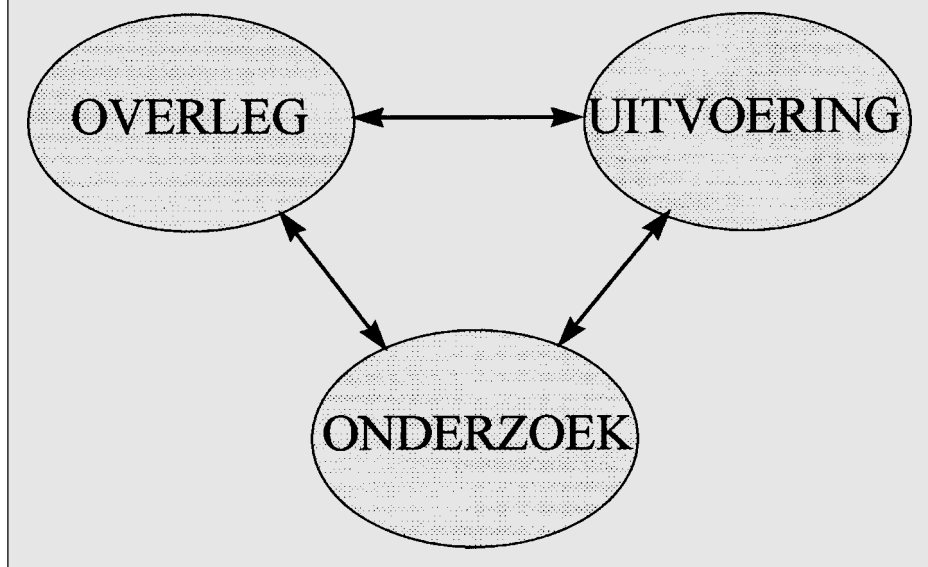
Het toepassen van integraal waterbeheer houdt dan ook in dat maatregelen en/of ingrepen zo worden gepland dat ze aan meer dan één doelstelling voldoen en dit op een duurzame manier met een minimum aan onderhoud en effecten op andere functies. Bovendien moet het behoud en herstel van ecologische waarden en het optimaal ecologisch functioneren van het systeem eveneens als harde randvoorwaarde gelden bij afwegingen net als veiligheid en economische imperatieven. Dit hoeft niet negatief te zijn, dit kan integendeel leiden tot elkaar versterkende projecten (bv. verhoogde veiligheid gekoppeld aan verminderde baggerwerken en beter functioneren van een estuarium), maar zal soms ook leiden tot compromissen wat betreft de gestelde doelstellingen.

Integraal waterbeheer vormt momenteel de basis van het beleid ten aanzien van water in Vlaanderen. Hierbij kunnen we o.a. verwijzen naar de totstandkoming van de bekkencomités en de oprichting van een Vlaams Integraal Wateroverleg Comité (VIWC). Hierin zijn de Vlaamse administraties, belast met het kwantitatief en het kwalitatief waterbeheer, de vijf provincies, de gemeenten, de polders en wateringen als ook de drinkwatervoorzieningsmaatschappijen vertegenwoordigd. Dit comité staat onder leiding van de secretaris-generaal van het Departement Leefmilieu en Infrastructuur van het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap.

De uitvoering van integraal waterbeheer berust op drie pijlers en de interacties ertussen (Fig. 1): overleg, uitvoering en onderzoek. Diverse structuren zoals de genoemde bekkencomités en het VIWC vormen de forums waarbinnen het overleg kan plaatsvinden. Dit overleg moet leiden tot besluitvorming waarna de bevoegde diensten de verschillende projecten kunnen uitvoeren. Essentieel is dat overleg en besluitvorming zoveel mogelijk kan steunen op resultaten van wetenschappelijk onderzoek. Anderzijds moeten de uitgevoerde werken nauwkeurig worden gevolgd teneinde de resultaten wetenschappelijk vast te leggen en na te gaan of de doelstellingen al dan niet werden behaald.

In de Zeeschelde, één van Vlaanderens grootste rivieren, wordt momenteel zeer veel geïnvesteerd, o.a. voor de afwerking van het Sigmaplan. Teneinde deze werken te begeleiden en een wetenschappelijke basis te geven voor het uitwerken van een integraal waterbeheer voor de Zeeschelde, werd door

Figuur 1: De drie pijlers van integraal waterbeheer.



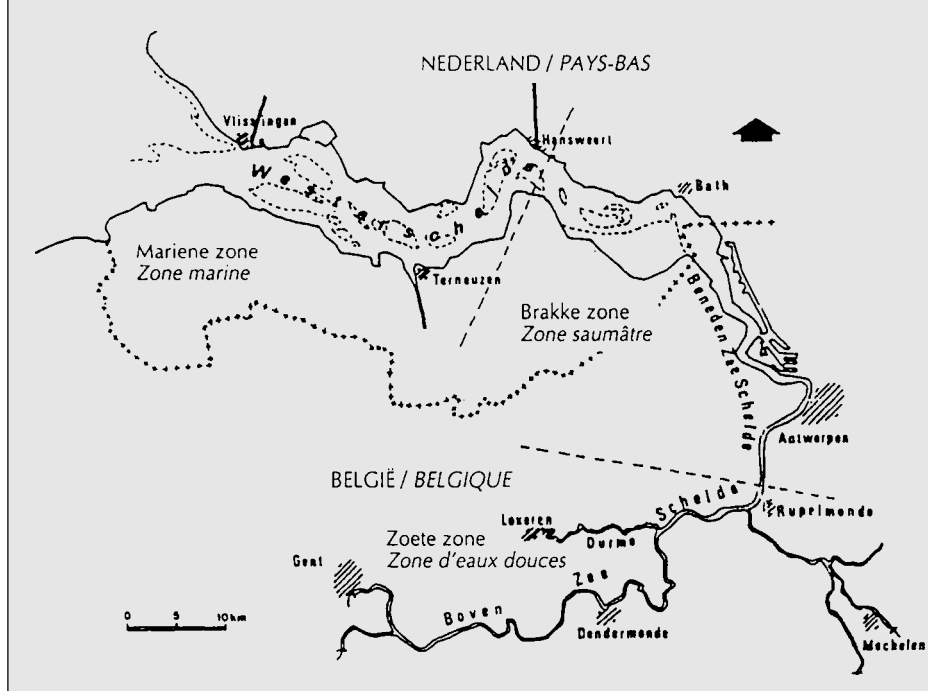
de Vlaamse Regering beslist tot de uitvoering van het project OMES (Onderzoek Milieu-Effecten Sigmaplan). In dit artikel gaan we hier dieper op in. Dit artikel is niet bedoeld om de details en resultaten van het OMES onderzoek te beschrijven, maar om enerzijds de totstandkoming van het onderzoeksproject, in het kader van het toenemend belang van integraal waterbeheer, en anderzijds de gedachtengang en de krachtlijnen van het onderzoek, te situeren. De onderzoeksresultaten zullen ten gepaste tijde worden gepubliceerd. Voor meer details betreffende het onderzoeksproject wordt verwezen naar Meire et al. (1995).

2. HET SCHELDE-ESTUARIUM

2.1 Korte situering van de Zeeschelde

Het Schelde-estuarium, het deel van de Schelderivier dat aan de tijwerking onderhevig is, strekt zich uit over een lengte van 160 km en loopt van Gent (B) tot Vlissingen (NL) (Fig. 2). Het Nederlands deel van het estuarium wordt de Westerschelde, het Belgisch deel de Zeeschelde genoemd. De getij-invloed is eveneens merkbaar op de zijrivieren van de Schelde, nl. de Durme, de Rupel, de Zenne, de Dijle en de Nete (Claessens, 1988). Dit is evenwel niet altijd

Figuur 2: Situering van het Schelde-estuarium



zo geweest. Wat het hydraulisch regime betreft kunnen voor de Zeeschelde drie periodes onderscheiden worden: een fluviale, met seizoengebonden afvoer, die te Antwerpen eindigt rond de 5^e-6^e eeuw; een overgangsperiode naar tijregime tussen de 6^e en de 10^e eeuw; een periode van tijregime vanaf de 10^e eeuw. Tegen de wisselende waterstanden der tijwerking en tegen de uitzonderlijke hoogwaters bij stormvloed en grote bovenafvoer heeft men zich doorheen de eeuwen gaandeweg beter beschermd door steeds meer en hogere dijken te bouwen (Coen, 1988). In de loop der eeuwen zijn tijdens stormen vaak grotere of kleinere dijkdoorbraken ontstaan, in tijden van oorlog soms zelfs opzettelijk. De meeste van die doorbraken werden steeds hersteld (zie bv. Coen, 1988; Guns, 1972, 1975).

2.2 Het Sigmaplan

De stormvloed van 1.2.1953 heeft vooral in Zeeland desastreus gevolgen gehad (zie bv. Duursma et al., 1982) en leidde tot de uitwerking en uitvoering van het Deltaplan dat sinds kort voltooid is. Langs de Scheldebekken in Vlaanderen was de schade beperkt maar er werd ook reeds begonnen met de verbetering van de dijken en waterkeringen. Het was echter na de stormvloed van 3.1.1976 en de daaropvolgende grote overstromingen in het Scheldebekken dat door de Ministerraad werd beslist tot de uitvoering van een algemeen plan tot bescherming van het ganse Zeescheldebekken tegen overstromingen: het Sigmaplan. Hierbij wordt dezelfde veiligheidsgraad nagestreefd als op de Westerschelde in het Deltaplan, wat betekent dat het maatgevende stormtij een kans van voorkomen heeft van 1/100 per 100 jaar, wat te Antwerpen een waterstand van 9,05 m TAW zou geven. Rekening houdende met de evolutie in de getijwerking, met golfoploop en dijkinklinking dienden veilige gronddijken een kruinhoogte van 11 m TAW te krijgen. Gezien de aanleg van dergelijke dijken niet overal mogelijk is werd een combinatie van drie opties uitgewerkt: i) de verhoging van de dijken en de waterkeringen tot peil (+11 m TAW) op de Zeeschelde vanaf de Nederlandse grens tot Oosterweel; tot peil (+8,35 m TAW) op de Zeeschelde vanaf Oosterweel tot Temse; tot peil (+8 m TAW) op de Zeeschelde vanaf Temse tot Gentbrugge en verder op de zijrivieren onderhevig aan het tij; ii) de aanleg van gecontroleerde overstromingsgebieden (gog's) en iii) het bouwen van een stormvloedkering te Antwerpen (Oosterweel) (Casteleyn & Kerstens, 1988; Kerstens, 1996). Momenteel moeten nog 30,5% van de in totaal 512 km dijken worden aangepast en werden reeds 13 gecontroleerde overstromingsgebieden aangelegd goed voor 571 ha. Het (voorlopig) laatste nog aan te leggen gecontroleerd overstromingsgebied, Kruibeke-Bazel-Rupelmonde beslaat nogmaals een kleine 600 ha. Over de stormvloedkering is nog geen beslissing genomen (Kerstens, 1996).

2.3 De impact van het Sigmaplan op het Schelde-ecosysteem

Binnen Europa is het Schelde-estuarium één van de weinige overgebleven estuaria met een omvangrijk zout-, brak- en zoetwatergetijdensysteem. Vooral het zoetwatergetijdengebied is op Europese schaal een bijzonder zeldzaam habitat (Meire et al., 1992). Niettegenstaande de goede juridische bescherming van dit gebied (Meire et al., 1992; 1996) wordt de ecologische waarde sterk negatief beïnvloed door de slechte waterkwaliteit van de Zeeschelde (Van Damme et al., 1995; De Bruijckere et al., 1996). Het is duidelijk dat de uitvoering van het Sigmaplan de ecologische waarde en het functioneren van het estuariene ecosysteem verder negatief kan beïnvloeden via het verlies van waardevolle biotopen. De verbreding van enkele honderden kilometers dijk betekent een enorme grondinname. Stel dat we ervan uitgaan dat er 400 km dijken met 10 meter verbreed worden dan gaat het hier om een oppervlakte van 400 ha! Inname aan rivierzijde betekent verlies van zeer waardevolle slikken en schorren, inname aan landzijde betekent vaak ook verlies van waardevolle biotopen (bv. oude wielen) of landbouwgrond. Daar bovenop komt nog de aanleg van de gecontroleerde overstromingsgebieden en mogelijks de stormvloedkering. Het is dan ook niet verwonderlijk dat reeds van bij het begin van de uitvoering van het Sigmaplan rekening gehouden werd met de ecologische gevolgen. Binnen de ecologische commissie van het toenmalige Ministerie van Openbare Werken werd de opdracht gegeven aan de Groep Toegepaste Ecologie vzw. om voor verschillende dijkwerken de ecologische effecten te beschrijven. Hoewel voor die tijd (1980-1990) vooruitstrevend, lag er geen coherente visie op het gehele estuarium voor en dienden de rapporten vaak gemaakt te worden wanneer de plannen reeds klaar waren. Toch heeft deze samenwerking tussen waterbouwers en ecologen het verlies van waardevolle biotopen kunnen beperken.

Een volgende stap was de totstandkoming van de MER-plicht in Vlaanderen door het besluit van de Vlaamse Regering van 23 maart 1989 houdende bepaling voor het Vlaamse Gewest van de categorieën van werken en handelingen, andere dan hinderlijke inrichtingen, waarvoor een milieu-effectrapport is vereist voor de volledigheid van de aanvraag om bouwvergunning (B.S. 17/05/1989). Hierdoor werd de uitvoering van veel dijkwerken onderhevig aan de MER-wetgeving. Gezien het zeer gelijkwaardig karakter van vele dijkwerken en dus hun effecten, werd in overleg tussen verschillende administraties bepaald dat er per dijktraject een milieunota zou opgemaakt worden.

2.4 De Algemene Milieu-Impactstudie van het Sigmaplan (AMIS)

Een volgende stap werd gezet naar aanleiding van de wateroverlast waarvan belangrijke delen van het Vlaamse Gewest het slachtoffer zijn geweest in de periode november 1993 - januari 1994. Hoewel de overstromingen langs de rivieren met een variabel bovendebiet tengevolge van overvloedige regenval de meeste aandacht kregen werd, na een korte storm in november 1993 waarbij de hoogste waterstanden ooit genoteerd werden in de Zeeschelde, ook voor deze getijdenrivier de alarmbel geluid. De Vlaamse Minister van Openbare Werken, Ruimtelijke Ordening en Binnenlandse Aangelegenheden bracht bij nota nr. VR/94/1201/DOC/0014 en nr. VR/94/0202/DOC/0062 verslag uit aan de Vlaamse Regering. Hierbij werd de uitvoering van een nood- en urgentieprogramma waterbeheersing goedgekeurd. De Vlaamse Regering heeft evenwel geoordeeld dat de uitvoering van deze programma's dient te passen binnen een integrale visie op het beheer van de waterlopen en heeft, wat betreft het Sigmaplan, beslist tot uitvoering van een algemene milieu-impactstudie door alle betrokken administraties met ondersteuning van het Instituut voor Natuurbehoud (VR/PV/1994/1 -punt 19). Dit heeft geresulteerd in de nota "A.M.I.S., Algemene Milieu-Impact Studie voor het eerste deel van het Sigmaplan, Algemene beginselen en algemeen kader" (Anonymus, 1994). Hierin werd een overzicht gegeven van de potentiële milieu-impact van de nog uit te voeren dijkwerken in het kader van het Sigmaplan. Eveneens werd aangegeven welke mogelijkheden er zijn om die milieu-effecten te milderen of zelfs de projecten zo aan te passen dat ze in een netto milieuwinst resulteren. Dit werd gekaderd binnen een visie op het integraal waterbeheer van het estuarium. Doel van de algemene milieu-impactstudie was om aan de hand van een globale beoordeling de 74 resterende projecten in het kader van het Sigmaplan op te delen in drie groepen:

groep1: projecten waarvan kan gesteld worden dat ofwel geen ofwel zeer beperkte relevante milieu-effecten verwacht worden. De finalisatie t.b.v. het vergunningsdossier zou hier dan ook een milieu-effectennota zijn, op te stellen door een erkende MER-deskundige. Een milieu-effectennota is een openbaar document van beperkte omvang, opgesteld door een erkend deskundige, dat een volledige beschrijving van de activiteit omvat, aangevuld met de verantwoording van het project. Het situeert de activiteit met de mogelijke en redelijkerwijs in beschouwing te nemen alternatieven binnen het kader van o.m. de wettelijke bepalingen inzake vergunningsregime, beleidslijnen van de overheid en reeds genomen beslissingen; het geeft aan welke effecten en gevolgen voor het leefmilieu kunnen optreden en duidt de mogelijke milderende maatregelen aan. Tot die groep behoren oa. geïntegreerde

waterkeringen ter hoogte van bedrijven, enz.

groep 2: projecten met te verwachten aanzienlijke milieu-effecten die kunnen gecompenseerd of gemilderd worden door locatiealternatieven. De finalisatie t.b.v. het vergunningsdossier is een MER op te stellen door een college van deskundigen. Tot groep 2 behoren bv. dijken waarbij de verzanding landwaarts kan worden uitgevoerd i.p.v. rivierwaarts of waarbij de gehele dijk een eind landwaarts wordt verlegd.

groep 3: projecten met te verwachten aanzienlijke milieu-effecten die kunnen gecompenseerd of gemilderd worden door uitvoeringsalternatieven. Finalisatie t.b.v. het vergunningsdossier is een MER op te stellen door een college van deskundigen. Tot groep 3 behoren projecten waarbij de dijk niet landwaarts kan uitgevoerd worden (bv. door de aanwezigheid van bebouwing) maar waar bv. door de aanleg van terrassen (zie Hoffmann et al. 1997) de oevervegetatie zo goed mogelijk kan behouden dan wel verbeterd worden.

Uiteindelijk werd toch beslist om voor alle nog resterende Sigma-projecten een volwaardig MER te maken. Wel wordt de mogelijkheid geboden om in één MER verschillende dijkwerken samen te behandelen (bv. opeenvolgende trajecten, beide oevers van eenzelfde traject enz.). Door de projectsgewijze benadering van de Afdeling Zeeschelde en praktische problemen bij de planning en de uitvoering van werken blijkt dit laatste evenwel niet echt haalbaar. Ideaal ware geweest om een MER op beleidsniveau te maken voor het volledige resterende deel van het Sigmaplan. Door het ontbreken van de wetgeving terzake was dit evenwel niet mogelijk.

Hoewel de AMIS-procedure uiteindelijk niet heeft geleid tot een verlichting van de procedure t.a.v. de MER-wetgeving is toch een belangrijke samenwerking tussen diensten ontstaan waardoor de procedure soepeler verloopt dan tot nu toe het geval was. Dit komt omdat alle betrokken diensten op voorhand worden ingelicht over de projecten en hun adviezen of bedenkingen aan de Afdeling Zeeschelde kunnen overmaken waarna de definitieve plannen opgemaakt worden en de MER-procedure start.

In de nota werd ook een overzicht gegeven van een aantal onderzoeksprojecten die zouden moeten worden uitgevoerd om eventuele alternatieven qua uitvoering en locatie van de nog uit te voeren dijkwerken van het Sigmaplan te onderbouwen. De Vlaamse regering heeft op 20.07.94 akte genomen van dit rapport en heeft de in voornoemd rapport voorgestelde benadering voor de verdere studie en onderzoeken voor de projecten van het Sigmaplan, die als vertrekbasis van de MER dient aangevend te worden, bekrachtigd (VR PV 1994 32-punt 27) en de administratie opgedragen het onderzoeksprogramma uit te wer-

ken. In de nota aan de Vlaamse Regering (VR/94/2112/DOC/1012) werden de verschillende onderzoeksprojecten gesitueerd samen met hun budgettaire implicaties. De Vlaamse regering heeft op 21.05.95 beslist haar goedkeuring te hechten aan voornoemd onderzoeksprogramma en de Vlaamse minister bevoegd voor Leefmilieu en de Vlaamse minister bevoegd voor Openbare Werken te belasten met de uitvoering van het onderzoeksprogramma en de Minister van Leefmilieu te machtigen het volledige programma uit te voeren. Dit onderzoeksprogramma (OMES) wordt hieronder nader toegelicht.

3 ONDERZOEK MILIEU-EFFECTEN SIGMAPLAN (OMES)

3.1 Het estuariene ecosysteem

Het Schelde-estuarium dat zich uitstrekt van Gent tot aan Vlissingen, met vertakkingen langs Durme, Rupel, Nete, Dijle en Zenne vormt één aaneengesloten hydrologisch systeem, gedomineerd enerzijds door de getijbeweging die het estuarium binnendringt vanaf de zee en anderzijds door de bovenafvoer die het systeem beïnvloedt van landzijde. Hierdoor ontstaat de volledige zout-zoet gradiënt die zo typerend is voor het Schelde-estuarium. Het estuariene ecosysteem zelf bestaat uit verschillende habitats (de fysische structuur) die afhankelijk zijn van de hydrodynamische en morfologische ontwikkelingen van het estuarium en die op hun beurt gedeeltelijk door de mens worden beïnvloed. Dit samen met de chemische omstandigheden bepaalt welke organismen zich in de diverse habitats zullen vestigen en zo de structuur van het ecosysteem (Fig. 3). De oppervlakte van de belangrijkste habitats, slikken, schorren, en geulen bedraagt respectievelijk 650, 520 en 3000ha (zie verder bv. Meire et al., 1992, 1996).

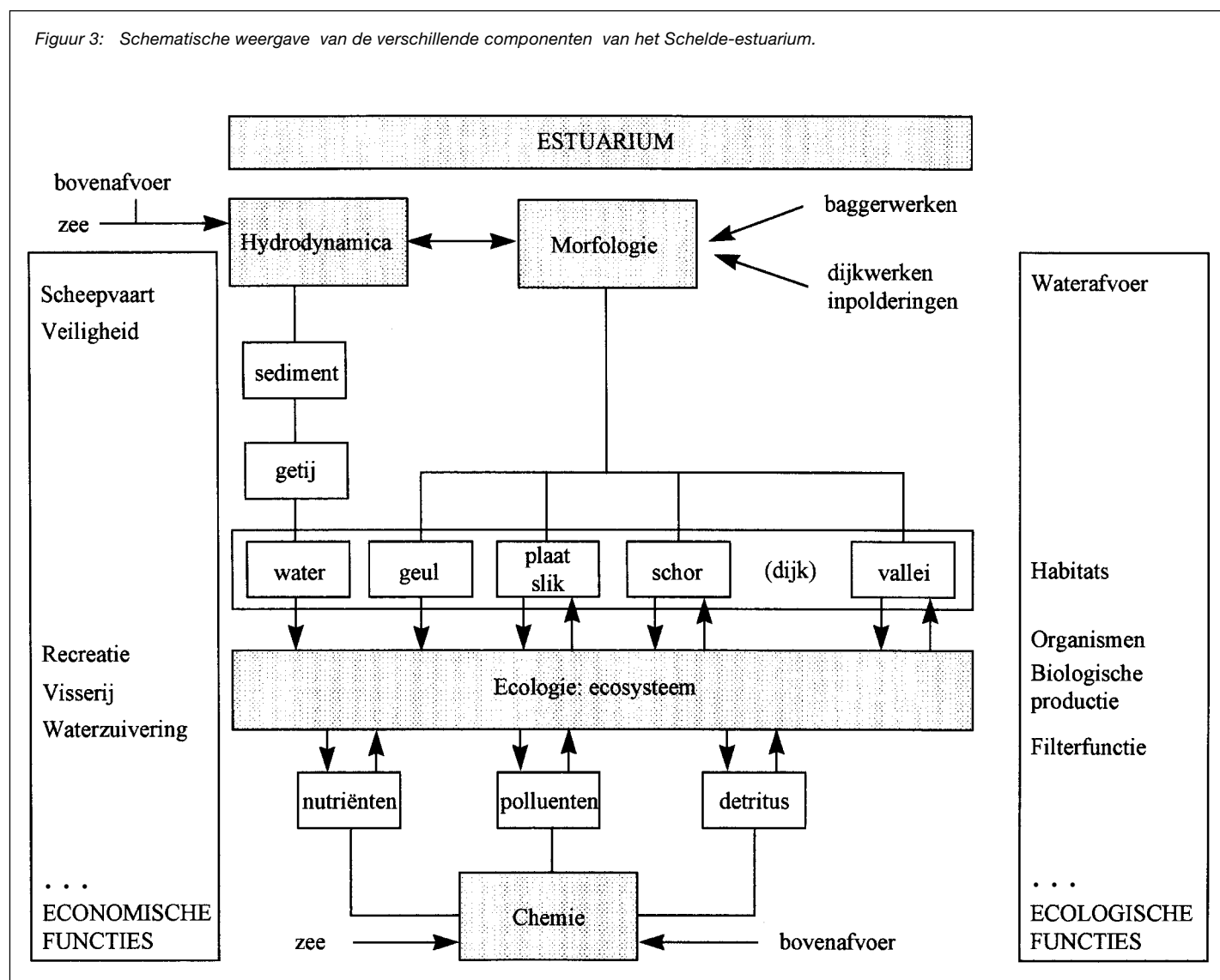
Estuariene ecosystemen zijn niet alleen zeer waardevol vanwege de aanwezige gradiënten en de daaraan gekoppelde specifieke fauna en flora (biodiversiteit) maar ook in belangrijke mate vanwege hun grote biologische productiviteit (equivalent aan die van tropisch regenwoud). Dit is deels te wijten aan het feit dat estuaria zeer open ecosystemen zijn, dwz. er is een grote input van energie en stoffen van buitenaf, zowel vanuit de zee als vanuit de rivier. Estuaria vormen ook belangrijke filters die elementen van terrestrische oorsprong tegenhouden voor ze de zee bereiken. Naast de waarde van biodiversiteit op zich zijn vooral de biologische productie en de filterfunctie van zeer groot belang. Deze moeten dan ook mee in beschouwing worden genomen bij een intergaal waterbeheer van het estuarium.

De filterwerking ontstaat doordat enerzijds bepaalde stoffen kunnen bezinken (bv. afzetting van slib met de daaraan gekoppelde

stoffen) maar anderzijds vooral door transformatie en eliminatie van stoffen. Het aangevoerde organische materiaal wordt gemineraliseerd waardoor de verschillende elementen (C, N, P...) samen met de aangevoerde nutriënten weer kunnen opgenomen worden in de voedselketen of uit het systeem verdwijnen (bv. onder de vorm van CO₂ of N₂ via respiratie of denitrificatie). De aanvoer van organisch materiaal voor de pelagiale voedselketen is enorm belangrijk. Immers, het volledige Westerschelde-estuarium is heterotroof: de koolstof respiratie is gemiddeld 6 maal groter dan de primaire productie (Soetaert & Herman, 1995b). Bijzonder belangrijk voor de biologische productie en de filterfunctie is de wisselwerking, de flux van materiaal tussen de verschillende habitats van het estuarium, een flux die gedreven wordt door de tijwerking en de hydrodynamische condities van het estuarium. Inderdaad, het intertidaal (slikken en schorren; gecontroleerde overstromingsgebieden) kan een zeer belangrijke "sink" zijn voor zwevende stof (seston) uit het water. Anderzijds is het ook zo dat de schorren een belangrijke bron van organisch materiaal voor de waterfase zijn. Begroeide slikken en schorren worden immers gekenmerkt door zeer intense biologische activiteit. Daardoor oefenen deze randsystemen, die meestal een beperkt deel van de oppervlakte van het totale estuarium innemen, een buiten verhouding grote invloed uit op het functioneren van het totale systeem. Als voorbeeld kan de primaire productie worden genomen, die in een rietvegetatie per eenheid van oppervlakte een factor 5 tot 10 keer hoger is dan de primaire productie per oppervlakte-eenheid door het fytoplankton in het water. Niet alleen via een hoge primaire productie spelen schorren een belangrijke rol. Ook de volgende processen hebben een belangrijke impact op de systeem-dynamiek:

- Stabilisatie en invang van sediment, inclusief organisch materiaal (en polluenten). De invang van organisch materiaal veroorzaakt een verhoogde mineralisatie in de bodem. De invang van sediment leidt tot een verhoging van het bodemniveau.
- Verhoogd transport van stoffen uit het sediment naar de waterkolom en/of de atmosfeer. Mechanismen voor deze processen zijn evapotranspiratie (een proces waardoor ook de waterspiegel in het sediment bij laag tij wordt verlaagd, en de aëratie van het sediment dus wordt bevorderd) en diffusie en advectie van gasen in het plantenweefsel.
- Zuurstoftransport naar de bodem. Dit proces is van grote invloed op de redox-omstandigheden in het sediment, en beïnvloedt daardoor de fluxen van P en N van de bodem naar de waterkolom en de atmosfeer.
- Productie van organisch materiaal. Primaire productie door vegetaties is bijzonder hoog. Dit materiaal komt ter beschikking voor mineralisatie in het schor zelf maar wordt gedeeltelijk ook geëxporteerd

Figuur 3: Schematische weergave van de verschillende componenten van het Schelde-estuarium.



naar het aquatische systeem. Een bijzonder proces is bovendien exudatie van organisch materiaal in het sediment via wortelstelsels, waardoor de mineralisatieprocessen in het sediment worden beïnvloed.

3.2 Menselijke ingrepen en het estuariene ecosysteem

Het Schelde-estuarium staat onder sterke menselijke druk. De grote concentratie van bevolking en van agrarische en industriële activiteit in de regio leidt tot een hoge belasting van het systeem met micro-verontreinigingen, maar ook met organisch materiaal en nutriënten. De gemeten concentraties van organische stof en anorganische nutriënten behoren tot de hoogst gekende waarden voor estuariene systemen (zie artikelen in Heip & Herman, 1995). Door de voortdurende investeringen in waterzuivering zal de belasting van het systeem afnemen en kan de aard van het aangevoerde organische materiaal sterk veranderen. Dit kan een impact hebben op de productiviteit van het estuarium. Anderzijds gaat door een betere zuurstofvoorziening

het relatief belang van bepaalde processen sterk veranderen (bv. nitrificatie versus denitrificatie) waardoor bv. de stikstofvracht naar de Noordzee gaat toenemen wat kan bijdragen tot de eutrofiëring van de kustwateren (Billen et al., 1985; Soetaert & Herman, 1995a). Het grote potentiële belang van oevervegetaties in de kringlopen van organisch materiaal en nutriënten in het systeem, is een reden om de interacties tussen deze biotopen en het functioneren van het totale ecosysteem nader te onderzoeken. Immers, het zijn precies die systemen die maximaal in positieve of negatieve zin door het Sigmapijn kunnen worden beïnvloed. Door een vergroting van de relatieve oppervlakte van deze biotopen zullen veranderingen teweeggebracht worden in de interacties tussen de stroom en het intertidaal en kan het zelfreinigend vermogen van het estuarium waarschijnlijk worden versterkt. Deze mogelijke invloed moet nader worden gekwantificeerd.

Het geven van ruimte aan de rivier is niet alleen van belang voor het ecologisch functioneren maar ook voor de veiligheid. Inderdaad kan een toegenomen komberging een

verlaging van de waterstanden met zich meebrengen. Bovendien spelen overstromingsgebieden een rol in de slibhuishouding van de rivier.

Op basis van deze overwegingen werd er in het kader van AMIS dan ook van uitgegaan dat vooreerst het huidige areaal aan slikken en schorren moet behouden blijven en werd er vervolgens nagegaan op welke manieren dit areaal binnen het estuarium kan uitgebreid worden. Dit kan in principe op 3 manieren: (1) waar mogelijk wordt de dijk landinwaarts gelegd waardoor aan rivierwinning gedaan wordt, maw dijkherlocatie. Dit verhoogt de komberging en dus de veiligheid en zorgt ook voor het ontstaan van nieuwe slikken en schorren. (2) Is dit niet mogelijk en ligt geen slik of schor voor de dijk dan kunnen in het dijktaal langs rivierzijde terrassen voorzien worden, op die hoogtes waar overspoelingsduur en -frequentie, slik- of schorvorming mogelijk maakt. Een dergelijk terras kan zeer smal zijn maar wanneer dit over een grote lengte wordt uitgevoerd, vormt het toch een behoorlijk oppervlak. Bovendien kunnen deze lange smalle stroken een belangrijke

verbindingzone (ecologische infrastructuur) vormen voor veel organismen. Het gaat hier dus om dijkuitvoeringsalternatieven (zie Hoffmann et al., 1997).

(3) Uiteindelijk zijn er de gecontroleerde overstromingsgebieden (gog's). Een ander beheer waarbij die polders niet alleen tijdens stormtij onder water komen maar op een regelmatige basis bevoeid worden zou de flux van materiaal tussen deze gebieden en het estuarium herstellen. Dit concept wordt momenteel uitgewerkt voor het aan te leggen gecontroleerde overstromingsgebied van Kruikebeke-Bazel-Rupelmonde.

Op basis van het voorgaande moet duidelijk zijn dat de impact van de Sigmawerken op het ecosysteem veel verder reikt dan op het eerste zicht zou lijken. Bovendien moet het ook duidelijk zijn dat het verlies of de winst van een stuk intergetijdengebied een veel groter effect kan hebben op het ecologisch functioneren dan uit zijn oppervlakte zou blijken gezien de proportioneel zeer hoge biologische activiteit in die gebieden. De uitdaging van integraal waterbeheer, is die ingrepen en beheersmaatregelen te zoeken die niet alleen aan de doelstellingen van één functie voldoen, maar de doelstellingen van verschillende functies optimaliseren. Daarom is het belangrijk om voor de resterende dijkwerken alle mogelijke alternatieven, zoals hierboven geschetst, te beschouwen en hun effecten op het volledige systeem na te gaan. Gezien de complexiteit van dit alles was bijkomend onderzoek absoluut noodzakelijk. Het onderzoek dat momenteel daartoe in uitvoering is wordt hieronder besproken.

3.3 OMES

Het onderzoeksprogramma OMES (Onderzoek Milieu-Effecten Sigmaplan) is een multidisciplinaire studie van het estuariene milieu van de Zeeschelde. Het onderzoeksproject moet resulteren in een database en modellen van het Schelde-estuarium. De beschikbare wetenschappelijke gegevens en modellen zullen dan operationeel blijven binnen de onderzoeksinstellingen en diensten van het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. Op deze manier beschikt de Vlaamse Gemeenschap over een wetenschappelijk instrumentarium dat kan gebruikt worden als beleidsonderbouwing bij het uitwerken van een integraal waterbeheer voor het estuarium. Op basis van het globale onderzoekspakket moet het mogelijk zijn om een grondige multidisciplinaire afweging te maken van verschillende mogelijke inrichtings- en locatie-alternatieven van nog uit te voeren dijkwerken in het kader van het Sigmaplan evenals het formuleren van beheersmaatregelen voor het estuarium in het kader van diverse andere projecten. De resultaten van het onderzoek zullen ook ter beschikking worden gesteld voor de MER studies die in het kader van het Sigmaplan moeten worden uitgevoerd.

De kernvragen voor het onderzoeksproject zijn:

I) wat is de rol van het intertidaal (slikken en schorren) in het volledige estuariene functioneren (C en N cycli enz.)

II) welke beheersmaatregelen dragen maximaal bij tot het bereiken van een grotere veiligheid tegen overstromingen en het optimaal functioneren van het estuariene ecosysteem, met bijzondere aandacht voor de mogelijke rol van gecontroleerde overstromingsgebieden.

Om deze vragen te beantwoorden werd gekozen om een ecosysteemmodel te ontwikkelen dat het mogelijk maakt om het belang van processen in het intertidaal voor de dynamiek van het aquatische estuariene systeem te onderzoeken. Immers, wiskundige ecologische modellen bieden de mogelijkheid zeer verschillende facetten van het functioneren van een ecologisch systeem te integreren in een beschrijving van de belangrijke factoren die de flux van koolstof en nutriënten beïnvloeden. Deze integratie maakt het mogelijk een gefundeerde schatting te maken van het relatief belang van specifieke factoren, zoals de uitbreiding van zoetwatergetijdenzones of het zuiveren van de huishoudelijke en industriële afvallozingen. Modellen bieden, binnen de marges van onzekerheid die binnen het model kunnen worden gekwantificeerd, de mogelijkheid effecten van beheersmaatregelen door te rekenen.

Het opstellen van een dergelijk model vereist evenwel veel gegevens en een goede kennis van het ecosysteem. Dit wordt in het project, naast de opbouw van het ecosysteemmodel, voorzien in drie grote luiken: 1) inventarisatie en monitoring; 2) opstellen van structuurmodellen; 3) procesonderzoek.

Het luik inventarisatie en monitoring is van essentieel belang om: i) de uitgangssituatie te beschrijven; ii) de effecten van vroegere en geplande ingrepen te beschrijven; iii) de input te leveren voor de modellen.

Het voorspellen met het model van de effecten van verschillende alternatieve beheers- en/of inrichtingsvarianten voor het Sigmaplan vereist een input van de verwachte ontwikkelingen van de verschillende habitats, maw een simulatie van het abiotisch milieu en op zijn minst de verwachte vegetatieontwikkelingen. Om dit te realiseren zijn modellen nodig die we hier om de gedachten te vestigen "structuurmodellen" noemen, ze voorspellen de structuur van het ecosysteem. Op basis van de beschikbare abiotische gegevens (sediment en hydrodynamica) dienen voorspellingen te worden gemaakt van de sedimentatie, bodemtextuur en overspoelingsregime voor de verschillende ter studie zijnde alternatieven. De hydrodynamische modellen leveren de gegevens ivm te verwachten waterhoogtes, stroomsnelheden, slibtransport enz. De

mogelijke vegetatieontwikkelingen worden voorspeld op basis van statistische modellen die als input de belangrijkste abiotische parameters hebben en als output de probabiliteit van voorkomen van een vegetatietype. Dit kan dan op zijn beurt worden vertaald in een volledige levensgemeenschap.

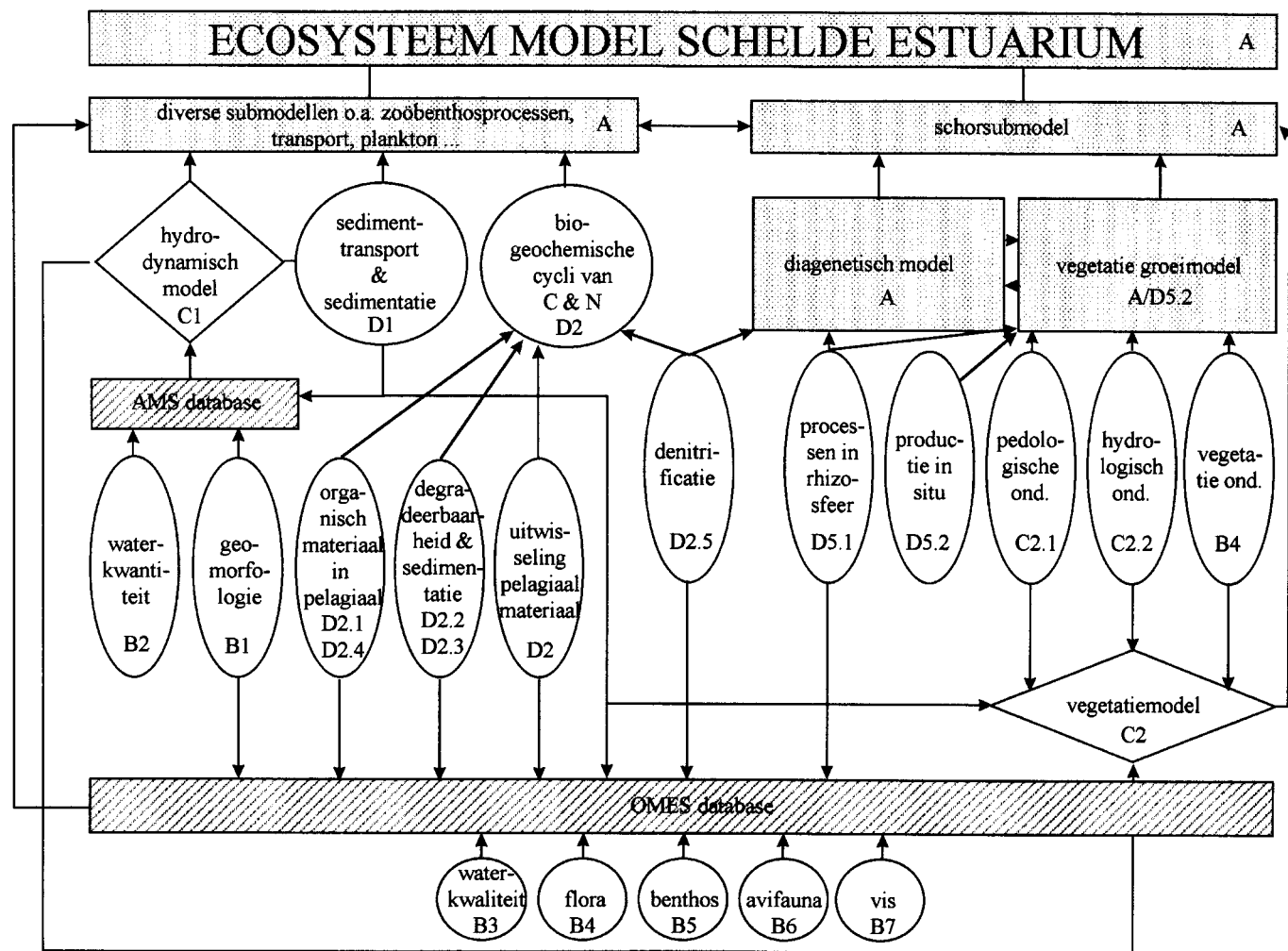
Het procesonderzoek is gericht op het analyseren van verschillende onderdelen van de biogeochemische cycli van C en N en in het bijzonder over de rol van de oevervegetatie als bron van organische stof naar het pelagiaal toe en de impact op de flux en omzettingen van materiaal in de bodem. Een overzicht van de verschillende onderdelen van onderzoek en hun onderlinge samenhang is gegeven in Fig. 4.

3.4 Situering van de verschillende deelprojecten van OMES

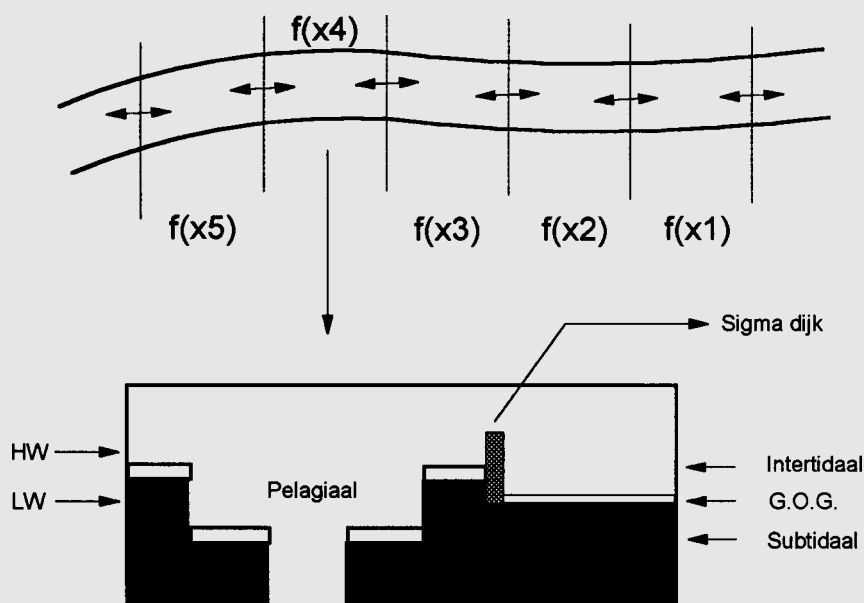
A. LUIK ECOSYSTEEMMODEL ZEE-SCHELDE

De voorbije jaren werden reeds verschillende modellen van het Schelde-estuarium gemaakt. Voor dit onderzoek werd gekozen voor de uitbreiding van het model MOSES (MODEL of the Schelde EcoSystem) (Soetaert & Herman, 1993). Dit model werd ontwikkeld op het Nederlands Instituut voor Oecologisch Onderzoek -Centrum voor Estuariene en Mariene Oecologie (NIOO-CEMO) te Yerseke. Het model bevat formuleringen voor transport van water, opgeloste en gesuspendeerde stoffen, voor primaire productie (pelagische en bentische algen, autotrofe bacteriën), bacteriële mineralisatie (aëroob en anaëroob), graas door zoöplankton en bentische filtreerders, mineralisatie in de bodem, afbraak door bentische deposit feeders. Het beschrijft de belangrijkste stromen van koolstof, stikstof en silicium in het estuarium. Ruimtelijk is het model begrensd in de zone tussen de monding (Vlissingen-Breskens) en Rupelmonde. In het kader van het OMES-project zal het ecosysteemmodel MOSES ruimtelijk worden uitgebreid tot de gehele getijdenzone van de rivier. Ten behoeve van het model is de Schelde opgedeeld in negentien compartimenten, waarvan 11 tussen de Belgisch-Nederlandse grens en Gent (zie figuur 1 in Hoffmann & Meire, 1997). In ieder compartiment zullen mathematische formuleringen ecologische processen beschrijven die zich voltrekken in het pelagiaal, intertidaal en subtidaal van de rivier (Fig. 5). Tevens zullen ecologisch relevante processen beschreven worden die zich in de gog's (gecontroleerde overstromingsgebieden) langs de Schelde afspelen. Bij het modelleren van processen die zich afspelen in de intergetijdenzone van de rivier en in de gog's zal met name aandacht besteed worden aan het beschrijven van interacties tussen de bentische bacteriële gemeenschap en de aanwezige vegetatie. De mathematische formuleringen die nodig zijn om deze interacties te beschrijven zullen worden opge-

Figuur 4: Schematische weergave van het OMES project. De nummers verwijzen naar de beschrijving van de onderdelen in de tekst. Het ecosysteemmodel is weergegeven in rechthoeken, de verschillende onderzoeksprojecten in ovals, modellen die geen deel uitmaken van het ecosysteemmodel maar er wel data aan leveren in een rijt. Databases zijn gearceerd.



Figuur 5. Schematische weergave van de te modelleren eenheden (dwarssectie en verschillende compartimenten). LW = laagwaterlijn. HW = Hoogwaterlijn. G.O.G. = Gecontroleerd overstromingsgebied.



nomen in een subroutine (schorrensub-model) die geïntegreerd zal worden in MOSES.

Door de aanwezigheid van vegetatie in het litoraal kan de metabolische activiteit van bepaalde groepen bacteriën in de directe omgeving van de wortels (de rhizosfeer) gestimuleerd worden. Het resultaat is dat bepaalde biochemische processen zich kunnen voltrekken die doorgaans afwezig zijn in vergelijkbare maar onbegroeide litorale sedimenten. Om dergelijke processen en interacties te kunnen modelleren is het niet alleen noodzakelijk om een goed inzicht te hebben in de bacteriële processen die zich in de rhizosfeer afspelen, maar is het ook noodzakelijk dat de sturende variabelen bekend zijn die de interacties tussen specifieke bacteriële groepen en de vegetatie beïnvloeden. Over deze sturende variabelen is, ondanks de toegenomen belangstelling voor het bestuderen van bacteriële processen in de rhizosfeer van litorale vegetaties, relatief nog weinig bekend. Modelleurs die processen in de rhizosfeer beschrijven beschouwen plantenwortels vaak als statische eenheden die onafhankelijk functione-

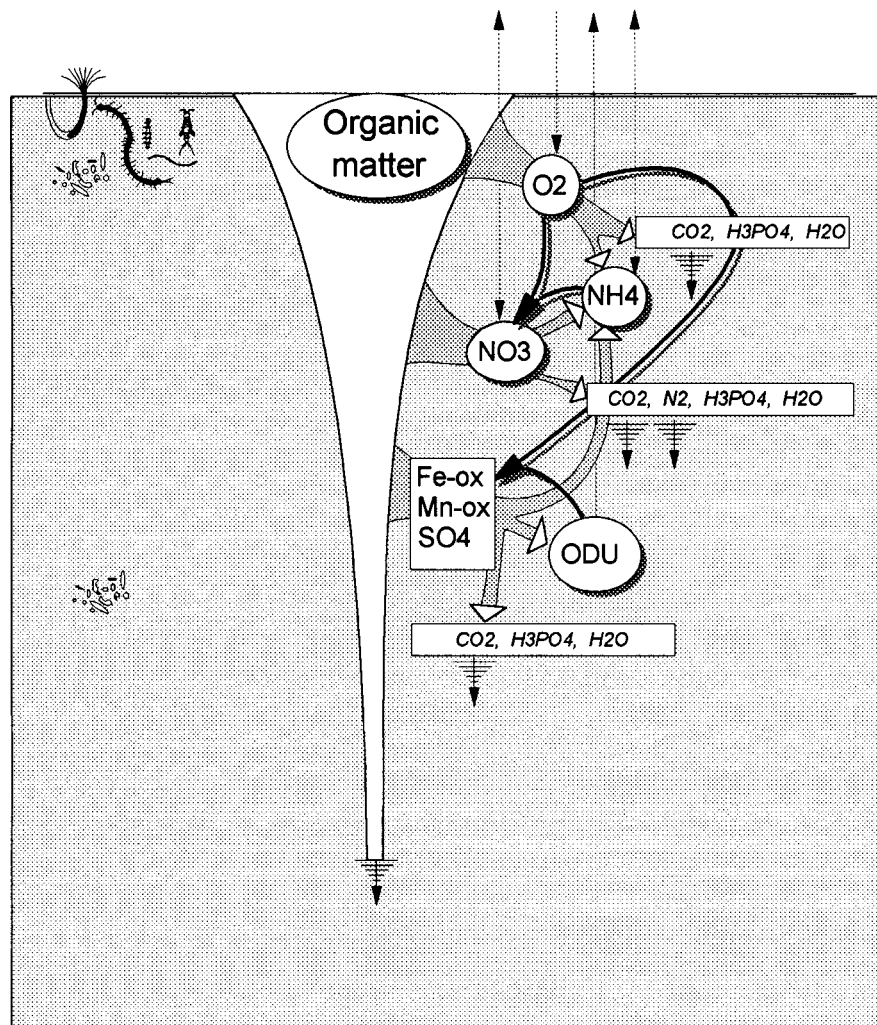
ren van de fenologische toestand van de plant. Uit literatuuronderzoek (Starink et al., 1997) moet geconcludeerd worden dat dergelijke simplificaties aanvaardbaar zijn. In het binnen het OMES-project te ontwikkelen ecosysteemmodel zal de invloed van planten op de microbiële gemeenschap dan ook afhankelijk zijn van de fenologische toestand van de plant. Hiervoor zal de groei en ontwikkeling van planten gemodelleerd worden als functie van de fotosynthetische activiteit die o.a. afhankelijk is van meteorologische omstandigheden. Voor zover ons bekend is dit de eerste poging om een plantengroei-model te koppelen aan een model dat bentisch microbiële processen beschrijft in de litorale zone van een rivier. Hoewel er verschillende soorten planten langs de oevers van de Schelde voorkomen zal er in eerste instantie binnen het OMES-project slechts aan een beperkte groep van planten aandacht besteed worden. Er is gekozen om Riet en Bies in het onderzoek te betrekken. Beide planten zijn helofyten waarvan bekend is dat ze de microbiële gemeenschap in de rhizosfeer kunnen beïnvloeden. In een later stadium wordt ook de invloed van wilgen op de microbiële gemeenschap bestudeerd omdat wilgen dominant aanwezig zijn langs de oevers van de Schelde.

Het ecosysteemmodel zal niet alleen ruimtelijk uitgebreid worden maar ook worden geactualiseerd. Bentisch microbiële processen zullen nu worden beschreven met het diagenetisch model ontwikkeld door Soetaert et al. (1996). Dit model beschrijft oxische en anoxische mineralisatie in bodems waar bioturbatie door bentische organismen een rol kan spelen (fig. 6). De organische koolstof is gemodelleerd als twee afbreekbare fracties met verschillende eerste orde snelheden en N/C ratio's. Op deze wijze kan er rekening gehouden worden met de afnemende afbreekbaarheid en N/C ratio van het organisch materiaal met toenemende diepte. De consumptie van zuurstof en nitraat als elektronen-acceptor zijn in het model opgenomen en de mineralisatie is zowel koolstof (eerste orde) als elektronen-acceptor gelimiteerd (Michaelis-Menten kinetiek). In de niet begroeide sedimenten zal zuurstof alleen via de toplaag het sediment binnendringen. Om de bentische microbiologische processen in de begroeide litorale zone en in de gog's te modelleren zal er een koppeling tussen het diagenetisch model en het plantengroei-model gerealiseerd worden zodat zuurstof input en ammonium opname door de planten van invloed zullen zijn op de microbiologische processen in de bodem.

Het schorrensubmodel

Zoals eerder vermeld zullen in het te ontwikkelen schorrensubmodel bacteriële processen in de bodem beschreven worden. Speciale aandacht zal besteed worden aan het modelleren van de interacties tussen de verschillende bacteriële processen en

Figuur 6. Schematisch overzicht van het diagenetisch model (Soetaert et al., 1996). In het model worden de concentraties gemodelleerd van de omcirkelde verbindingen. De zwarte pijlen geven reoxidatie processen weer, de gestreepte pijlen de sediment-water uitwisseling en de gestreepte zwarte pijlen geven de verliesposten weer (ventilatie van gassen of permanente begraving van materiaal).



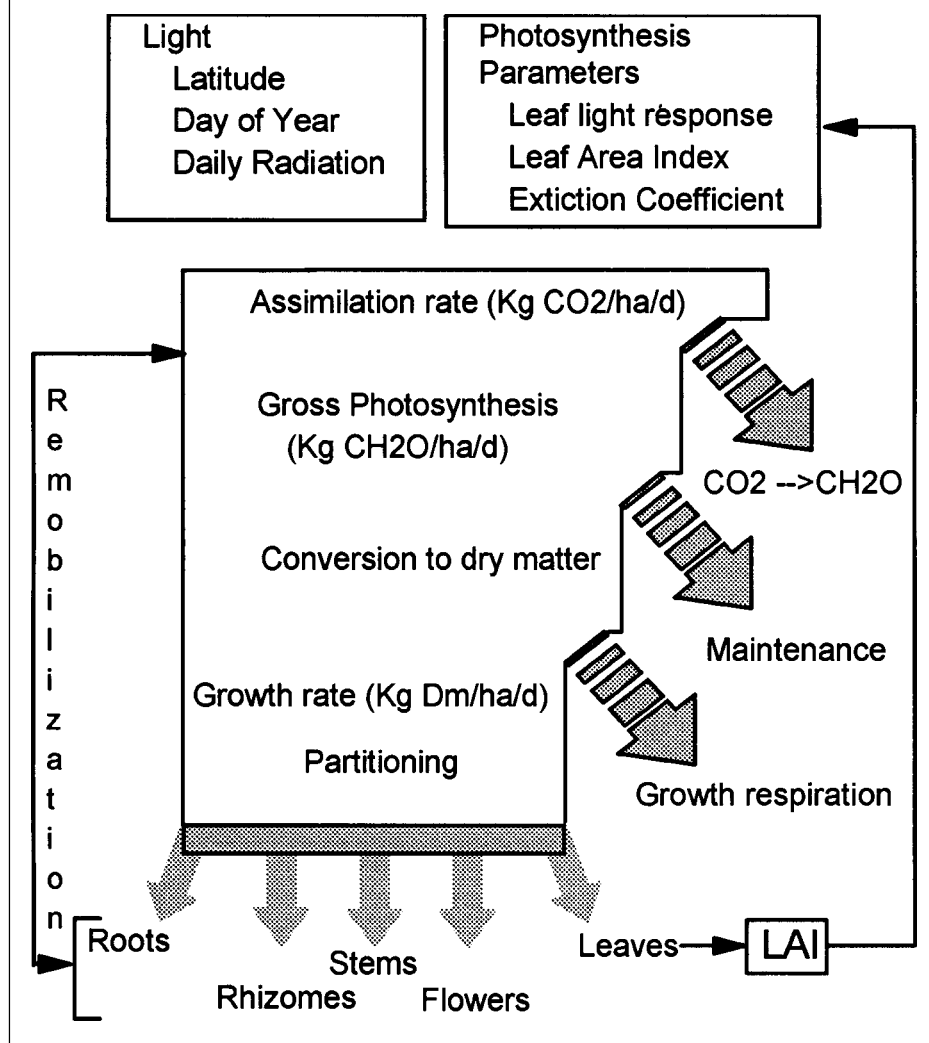
helofyten. Om deze interacties goed te beschrijven is de groei van helofyten op de schorren gemodelleerd. Dit helofyten-groei-model is gebaseerd op het model SUCREED (Mayus, 1990) dat een modificatie is van het model SUCROS (Penning de Vries en Van Laar, 1982). De groeifase en/of de fotosynthetische activiteit van de helofyten, die in het model zijn geïncorporeerd, zijn de belangrijkste sturende variabelen voor de aard en de activiteit van de microbiologische processen die plaatsvinden in de rhizosfeer van de helofyten die langs de Schelde groeien. Het plantengroei-model zal een onderdeel vormen van het schorrensubmodel.

In het plantengroei-model is de totale groeisnelheid afhankelijk van de dagelijkse instraling, luchttemperatuur en plant-karakteristieken zoals o.a. de Leaf Area Index (figuur 7). De groeisnelheden van de organen van de plant (bladeren, stengels,

bloemen en ondergrondse organen) worden met behulp van verdelingsratios berekend uit de totale groeisnelheid. De opname van nutriënten en de afgifte van zuurstof door de wortels zullen eveneens gemodelleerd worden. De grootte van de zuurstofflux van de wortel naar de rhizosfeer zal een belangrijke sturende parameter zijn voor de activiteit van ammonium- en methaanoxideerders in de rhizosfeer.

De modulaire opbouw van het helofyten-groei-model maakt het mogelijk om verschillende submodellen aan de hoofdmodule te koppelen. Deze opbouw maakt het mogelijk om b.v. evapotranspiratie-, dimensionerings- en zoutstressmodules aan het groei-model te koppelen. De noodzaak om deze modules te integreren in het te ontwikkelen model zal afhangen van de veld-waarnemingen (ruimtelijke en temporele biomassa ontwikkeling en waterpeilgege-

Figuur 7. Schematisch overzicht van het helofyten-groei-model. De drie gestreepte peilen geven de verliesposten weer: het omzetten van CO_2 naar suikers, onderhoud en groei. LAI = Leaf area index.



vens). Na kalibratie zal het plantengroei-model gekoppeld worden aan het dia-genetische model van Soetaert et al. (1996). De opbouw, kalibratie en implementatie van dit model vergt uiteraard heel wat gegevens. In het OMES-project wordt via verschillende deelstudies hierin voorzien.

B. LUIK INVENTARISATIE EN MONITORING

B1. Geomorfologie

Voor het opstellen van een hydrodynamisch model moeten de afmetingen van de rivierbodems opgemeten worden. Dit gebeurt regelmatig voor het gedeelte dat toeganke-lijk is voor de zeescheepvaart. Verder stroomopwaarts gebeuren de opmetingen slechts naargelang de noodzaak zich voor-doet. Recente gegevens zullen in het kader van dit project worden verzameld.

Gegevens over i) de hoogteligging van slik-ken en vooral van schorren; ii) de erosie van schorranden; iii) de sedimentatie/erosiesnel-heden op slikken en schorren ontbreken

evenwel volledig. Toch zijn dit essentiële gegevens die nodig zijn voor het ecologisch onderzoek (bv. modellering van de vege-tatieontwikkeling en analyse van benthos-populaties) maar ook voor het plannen van dijk- en onderhoudswerken. Het al dan niet vastleggen van een schoroever en de ma-nier waarop is bv. afhankelijk van de snel-heid waarmee het schor wordt geërodeerd. Teneinde die gegevens te verzamelen wor-den in het kader van dit project jaarlijkse peilingen van een aantal vaste raaien op enkele geselecteerde schorren en slikken uitgevoerd en worden regelmatige metingen (14daags) op sedimentatie/erosie plots ver-spreid op enkele karaktersiteke plaatsen in het getijdengebied (in combinatie met benthosbemonsteringen) uitgevoerd. Spe-cifiek in de schorren worden elk seizoen me-tingen van sedimentatie/erosie verricht d.m.v. kaolienveldjes en dit in combinatie met het vegetatieonderzoek (zie verder).

B2 Waterkwantiteit

Gegevens over waterhoogtes, debieten en stroomsnelheden zijn essentiële basis-

parameters voor elk onderzoek. Wat betreft waterhoogtes en debieten kunnen we terug-vallen op het meetnet van de Afdeling Mari-tieme Schelde. Op 32 tijmeters langsheen de Zeeschelde en zijn bijrivieren worden de waterhoogtes permanent gemeten (Claessens & Meyvis, 1994). De debieten worden eveneens bepaald op 6 punten (zie bv. Taverniers, 1996).

B3 Waterkwaliteitsparameters

Om het model te kunnen kalibreren en te valideren is het noodzakelijk dat er in de verschillende compartimenten van de rivier biotische en abiotische parameters bepaald worden. Tevens zijn er locaties aangewezen waar de "grenscondities" van het model bepaald worden. Dankzij de inzet van het meetschip de Veremans van de afde-ling Maritieme Schelde en Scaldis I van de afdeling Zeeschelde worden maandelijks stalen genomen op 17 punten tussen de Belgisch Nederlandse grens en Gent, ver-deeld over de verschillende compartimen-ten van het model. Additioneel worden sta-len genomen op de Bovenschelde, de Durme, de Dender en de Rupel waar deze uitmonden in de Zeeschelde en dit om de "boundary-conditions" te kunnen bepalen. Op alle meetpunten worden volgende pa-rameters standaard bepaald: temperatuur, pH, conductiviteit, chloriniteit, zuurstof-gehalte, BZV (Biologisch Zuurstof Verbruik), DTC (Dissolved Total Carbon), DIC (Dissolved Inorganic Carbon), DOC (Dissolved Organic Carbon), NO_3^- -N, NO_2^- -N, NH_4^+ -N, Kjeld-N, PO_4^{3-} -P, tot-P, SO_4^{2-} , SiO_2 , turbiditeit en Eh (redoxpotentiaal). Daarnaast worden op deze vaartochten ook verschillende andere stalen genomen voor andere deelstudies. Deze metingen startten eind 1995 en gaan zeker 2 jaar door. Deze meetcampagnes verlopen simultaan met de metingen van het NIOO-CEMO en Rijkswa-terstaat in de Westerschelde. Aanvullend kunnen de metingen van de Afdeling Mari-tieme Schelde worden gebruikt.

Naast deze maandelijks metingen is nabij Kruikeke een permanent meetstation opge-steld dat temperatuur, conductiviteit, opge-loste zuurstof, turbiditeit, pH en diepte om de 15 minuten bepaalt. Het toestel is opge-hangen aan een ponton waardoor steeds op 1 meter onder het wateroppervlak wordt ge-meten.

B4 flora en vegetatie

Teneinde de uitgangssituatie qua vegetatie vast te leggen is gekozen voor een uitge-brede kartering. Van die delen van het valleigebied van de Zeeschelde (grosso modo het gebied gelegen onder de 5m TAW) die on-der invloed staan van de rivier (de gecon-troleerde overstromingsgebieden) of zouden kunnen staan of die biologisch zeer belang-rijk zijn wordt een actualisatie van de Biolo-gische Waarderings Kaart (BWK) dmv vegetatieopnames op perceelsniveau en luchtfoto-interpretatie uitgevoerd. Voor alle

schorren wordt de vegetatiekartering van 1992 (Hoffmann, 1993) geactualiseerd eveneens via luchtfoto-interpretatie en vegetatie-opnames. Het detail van deze kartering (zowel de ruimtelijke resolutie als de gebruikte vegetatietypes) is veel groter dan in het valleigebied.

Naast het karteren van de vegetaties is ook gekozen voor het opvolgen van enkele specifieke soorten. Jaarlijks worden bv. alle biezenpopulaties in kaart gebracht (Hoffmann et al., 1996) om beter inzicht te krijgen in de factoren die het voorkomen van biezen bepalen en in de mogelijkheden van aanplant of natuurlijke uitbreiding van biezen met het oog op de mogelijkheid van het gebruik van biezen bij het voorkomen van schorerosie (zie ook Hoffmann et al., 1997).

B5 benthos

Benthos vormt een zeer belangrijke schakel in de estuariene voedselketen. De biomassa depositfeeders en suspension-feeders zijn dan ook twee toestandsvariabelen van het ecosysteemmodel. Door het vrijwel ontbreken van data over benthos in het zoetwatergetijdengebied wordt binnen OMES de ruimtelijke verspreiding van het macrozoöbenthos in de Zeeschelde bepaald. Dit omvat het meten van de soorten-samenstelling, diversiteit, densiteit en biomassa langsheen de longitudinale gradiënt (grens-Gent) en de verticale gradiënt. Voor de ruimtelijke spreiding werd éénmalig bemonsterd in het najaar 1996 in drie dieptezones in het sublitoraal en drie dieptezones in het intertidaal en dit in alle modelcompartmenten.

Naast deze éénmalige grootschalige kartering loopt in het brakke deel van de Zeeschelde een uitgebreid monitoringprogramma van de benthische fauna op zowel de slikken als sublitoraal.

B6 avifauna

De avifauna wordt vaak gebruikt als een indicator van de ecologische kwaliteit en ligt dan ook aan de basis van veel criteria voor het aanwijzen van beschermde gebieden. Zo werden delen van de Zeeschelde opgenomen als speciale beschermingszone in het kader van de RAMSAR-conventie en/of de Europese Vogelrichtlijn (Meire et al., 1996). Vogels kunnen bovendien als predatoren een belangrijke rol spelen in zowel het structureren als het functioneren van het ecosysteem. Teneinde de basisgegevens te verzamelen over voorkomen werd een monitoringnet opgezet voor zowel de broedende als de overwinterende soorten. Na een uitgebreide inventarisatie in 1993 via de karteringsmethode (Van Waeyenberge, 1994) werd nu een netwerk van punt transect tellingen opgezet (Anselin et al., 1997). Niet broedende watervogels worden gevolgd via maandelijkse tellingen langsheen de volledige Zeeschelde (bv. Ysebaert & Meire, 1997).

B7 Visfauna

Sinds kort wordt weer vis waargenomen in de rivier. Nabij de Belgisch-Nederlandse grens komen nagenoeg alle soorten vis die vroeger aanwezig waren terug voor, een aantal soorten in grote aantallen. Meer stroomopwaarts blijft soortenaantal en dichtheid nog beperkt (Maes et al., 1996). Door een combinatie van verschillende vangstmethoden wordt de dichtheid en soortensamenstelling van de visfauna langsheen de Zeeschelde gevolgd. Speciale aandacht wordt daarbij ook gegeven aan de visfauna in de gecontroleerde overstromingsgebieden.

C LUIK STRUCTUURMODELLEN

C1 Hydrodynamica

De basis voor elke verdere modellering en voor de waterbouwkundige aspecten van het Sigmaplan is een goed hydrodynamisch model. Het moet in eerste instantie de weerslag van de voorgestelde uitvoeringsvarianten op de hoogwaterstanden, op de komberging en op de stroomsnelheden langsheen het onderzochte rivierenstelsel voorspellen. Een verlaging van de hoogwaterstanden vermindert het gevaar op dijkdoorbraken en op overstromingen. Een verhoging van de stroomsnelheden heeft invloed op de aanval en de afslag van de rivieroeveren en op de veiligheid voor de scheepvaart. Vanuit ecologisch oogpunt hebben de stroomsnelheden invloed op de sedimentatie en erosie van de verschillende habitats en op de leefbaarheid van het gebied voor verschillende soorten.

Voor dit onderzoek zal door een gespecialiseerd Laboratorium een tweedimensionaal wiskundig hydrodynamisch-numeriek model van de Schelde en bijrivieren ontwikkeld worden. Voor specifieke situaties kan hieraan een 3D model gekoppeld worden. Voor dit model moeten de afmetingen van de rivierbodems opgemeten worden.

C2 Vegetatie

Teneinde de impact te kennen van de vegetaties in buitendijkse schorren en in gecontroleerde overstromingsgebieden op de processen die zich op het ecosysteemniveau afspelen is het essentieel te weten hoe deze vegetaties samengesteld zijn, hoe hun onderlinge oppervlakteverhoudingen zijn en hoe ze eruit zullen zien bij gewijzigde hydrodynamische, morfodynamische, gebruiksdynamische en/of zoutdynamische omstandigheden. Deze parameters zijn sterk vegetatiebepalend en kunnen door een veranderend waterbeheer substantieel wijzigen. Dat de vegetatiesamenstelling belangrijk is blijkt uit het feit dat bijvoorbeeld Riet een andere impact heeft op de C- N- en P-huishouding en anders bijdraagt tot de O₂-huishouding in de rhizosfeer dan Wilg of Bies.

In een inventariserend luik wordt de huidige toestand van de vegetatie in landwaarts (binnendijs) gelegen alluviale gebieden en in rivierwaarts (buitendijs) gelegen schorren geanalyseerd en wordt buitendijs door middel van permanente kwadraten (pq's) de successie op korte termijn gevolgd. Om de impact van voormelde parameters te kennen worden ter hoogte van (een selectie van) pq's enerzijds een gedetailleerd pedologisch en anderzijds een hydrologisch onderzoek uitgevoerd.

C2.1 Pedologisch onderzoek.

De bodem kan zeker beschouwd worden als een ecologisch differentiërende factor die zijn invloed laat gelden op de vegetatie en zijn evolutie. Het doel van deze studie is dan ook om een beschrijving te maken van de bodems en de bodemvorming van de schorren en alluviale gebieden en de verwachte processen wanneer bepaalde gebieden terug aan een getijdenregime zouden onderworpen worden. Daartoe wordt een beschrijvende en kwantitatieve bodemkundige karakterisatie uitgevoerd naar morfologische bodemkenmerken en klassieke analytische bodemparameters. Het is de bedoeling de bodem zodanig te karakteriseren dat de gegevens als invoer kunnen gebruikt worden voor het ecologisch vegetatiemodel. Dit houdt in dat d.m.v. bodemboringen van de toplaag de volgende parameters in het veld opgenomen worden: opeenvolging, diepte en dikte van de verschillende strata; weerstandsmeting van de verschillende strata m.b.v. penetrograaf; diepte van de reductielaag; diepte van eventueel storende lagen; diepte van de beworteling; klasse van vervening en afbraak van organisch materiaal; klasse van bodemrijping. Op elk beschreven proefvlak worden d.m.v. kopeckyringen ongestoorde stalen genomen waarvan de textuurfracties, koolstofgehalte, CaCO₃, pH, elektrische geleidbaarheid, bulkdensiteit en poriënvolume en verzadigde hydraulische conductiviteit worden bepaald.

C2.2 Hydrologisch onderzoek

Ter hoogte van een selectie van pq's (zowel binnen- als buitendijs) wordt verder onderzoek verricht naar een aantal hydrologische parameters. Vooreerst wordt de infiltratiecapaciteit van de bodem bepaald door middel van infiltrometrie. Vervolgens worden op verschillende dieptes tensiometers geplaatst om het verloop van de matrixpotentiaal van de bodem in functie van de tijd te volgen. Bij dezelfde pq's werden peilbuizen geïnstalleerd waarmee de grondwaterfluctuaties worden gemeten en waaruit grondwaterstalen worden genomen voor chemische analyse. Met name buitendijs bleek bij een eerste screening van de meetresultaten dat de getijbeweging een grote invloed heeft op de grondwaterstanden. Daarom werd een detailonderzoek opgestart waarbij gedurende een getijcyclus op eenzelfde locatie maar in verschillende peil-

buizen c.q. vegetatietypes de grondwaterstand vrijwel continu (elke 5 minuten) gemeten wordt. Per getijcyclus wordt een andere locatie gekozen, zodat een totaalbeeld ontstaat van de relatie tussen grondwaterstanden en getij-amplitudo's. Deze combinatie van metingen zullen, geïntegreerd met neerslaggegevens en overstromingsgegevens, een vrij volledig beeld verschaffen van de waterhuishouding in de binnendijkse alluviale gebieden en de buitendijkse schorren.

Naast de geciteerde bodemkenmerken (morfologie, textuur, chemie, infiltratiesnelheid) en hydrologische parameters (grondwaterfluctuaties, grondwatersamenstelling) worden verder nog verschillende ecologische determinanten onderzocht, zoals overstromingsdynamiek (overstromingsfrequentie, -hoogte en -duur), isolatiegraad ten opzichte van de rivier en sedimentatiesnelheid (voor de buitendijkse gebieden d.m.v. kaolienveldjes). Daarnaast worden de huidige en in het verleden toegepaste beheersvormen geregistreerd.

Met deze gegevens als verklarende variabelen wordt verder gewerkt aan het opstellen van een vegetatiemodel dat de kans van voorkomen bepaalt van een vegetatietype onder de gegeven omstandigheden. Aan gezien de schorvegetaties in het algemeen gedomineerd worden door één of enkele soorten wordt hier vertrokken van de dominantiegraad van deze soorten als te

verklaren variabele. Als dominantiegraad wordt de bedekking van de soort genomen, waarbij deze factor afhankelijk gesteld wordt van de voormelde ecologische determinanten. De binnendijkse vegetaties zijn meestal geen dominantiegemeenschappen, waardoor de afhankelijke variabele hier het vegetatietype zal zijn. Er werden inmiddels een aantal modellen met gelijkaardige doelstellingen gerealiseerd (o.m. EMOE, ITORS-ICHORS, CML-ecotopensysteem,...). De eerste stap naar een vegetatie-ontwikkelingsmodel voor de Zeeschelde zal er dan ook in bestaan na te gaan in hoeverre de structuur van deze bestaande modellen bruikbaar is voor de Zeeschelde. Op basis van deze screening zal een keuze gemaakt worden van het te hanteren modeltype.

D PROCESSTUDIES

Verschillende deelstudies hebben tot doel een aantal fundamentele processen meer in detail te onderzoeken. Het gaat om erosie/sedimentatieprocessen, de biogeochemische cycli van C en N, de waterbalans, de rol van helofyten en de populatiedynamiek van enkele plantensoorten en het macrobenthos. De resultaten dienen ofwel direct als basis voor submodellen (bv. groei-model) of voor de formulering en/of kwantificering van diverse processen in het model.

Het estuarium is, zoals hoger reeds aangegeven, te beschouwen als een soort filter.

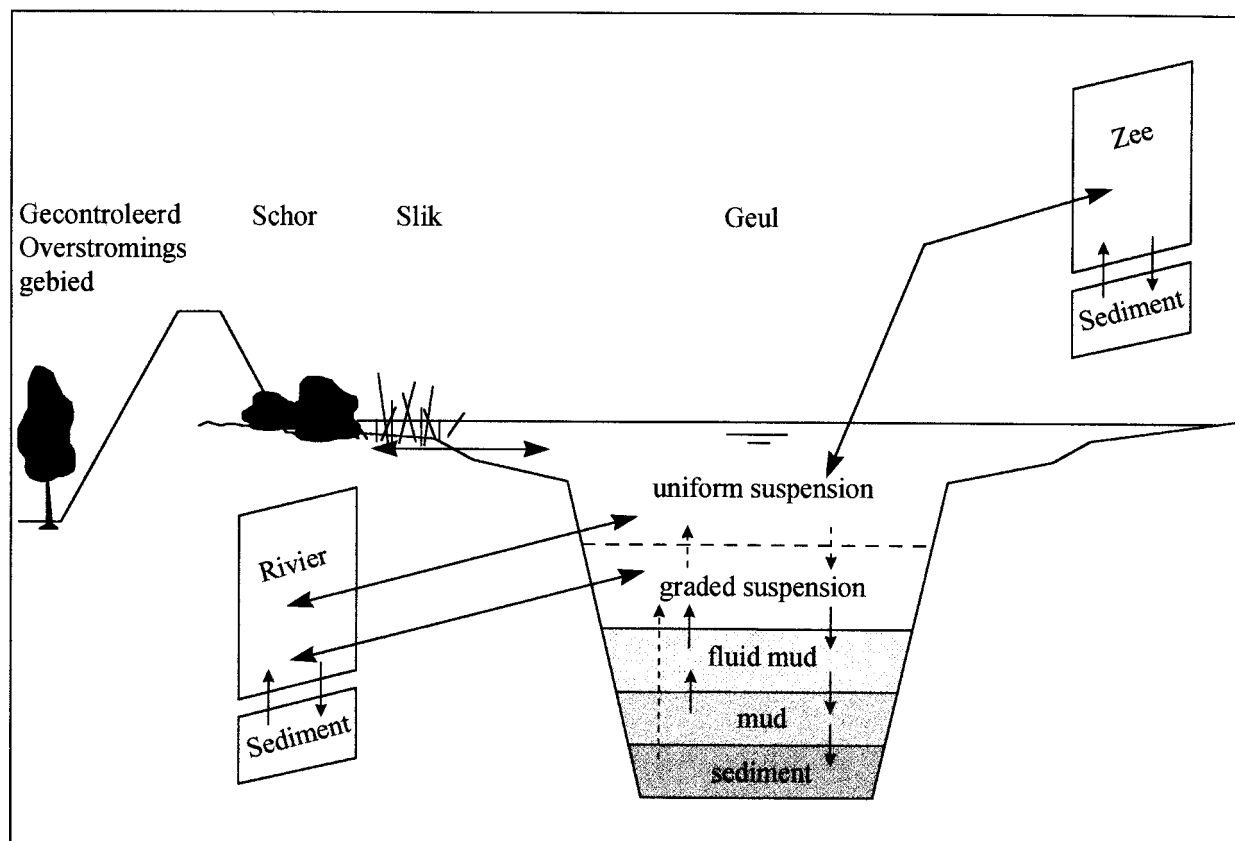
Materiaal wordt aangevoerd vanuit de rivier en gaat ofwel verwerkt worden in de waterkolom, ofwel sedimenteren in de getijdenzone of de geulen ofwel afgevoerd worden naar zee. De processtudies binnen OMES zijn gericht op het analyseren en kwantificeren van deze processen. Om de gedachten te vestigen wordt eerst kort de flux van sedimenten en de C en N cyclus van het estuarium geschetst waarna zal worden aangegeven op welke manier het onderzoek wordt uitgevoerd.

Het sedimenttransport

De aanwezigheid van de verschillende habitats binnen het estuarium is de resultante van sedimentatie- en erosieprocessen die bepaald worden door de hydrodynamiek en de hoeveelheid aangevoerd slib. De slibvracht van de Zeeschelde is zeer groot en dit heeft een duidelijke impact op het ecosysteem. In de waterfase gaat het gesuspendeerd materiaal de troebelheid van het water verhogen wat de plaatselijke primaire productie negatief kan beïnvloeden en op de slikken en schorren kan de sedimentatie (zowel de hoeveelheid als de aard van het materiaal) de ontwikkeling van de levensgemeenschappen bepalen.

Het slib in suspensie is afkomstig van twee verschillende bronnen (Fig. 8). In de waterkolom kan onderscheid gemaakt worden tussen enerzijds een "graded suspension" en anderzijds een "uniform suspension" (fig.

Figuur 8. Schematische weergave van de suspensietransporten (Naar Wartel & Francken, 1996)



8). De "graded suspension" komt voor in de onderste waterlagen van de waterkolom en wordt in belangrijke mate bepaald door de morfologie en de samenstelling (korrelgrootte, dichtheid) van de bodem en is sterk afhankelijk van de stroomsnelheid en de turbulentie van het water. De concentraties en korrelverdeling evolueren in functie van het tij en kunnen op één punt ook verschillen vertonen tussen eb en vloed. De "uniform suspension", of "wash load", is veel homogener en stabiel en komt voor in de bovenste waterlagen. Variaties in concentratie zijn vooral te wijten aan veranderingen in de rivierlading, en als dusdanig afhankelijk van seizoenale verschillen in het bovendebiet, en veranderingen in de lading van het vloedwater wat dan weer bepaald wordt door de tijamplitudo en veel meer nog door de golfwerking tijdens stormperiodes op zee en in de monding van de rivier. Het is de interactie tussen deze sedimenten en de hydrodynamiek die de opbouw of afbraak van de estuariene habitats bepaalt. Het kwantificeren van het transport van sedimenten van de waterkolom naar de getijdengebieden en gecontroleerde overstromingsgebieden is dan ook één van de kernvragen van het sedimentologisch onderzoek. De tweede vraag is het sedimentatieproces zelf. Zullen de sedimenten die met hoogwater in suspensie boven de getijdengebieden of overstromingsgebieden voorkomen wel sedimenteren?

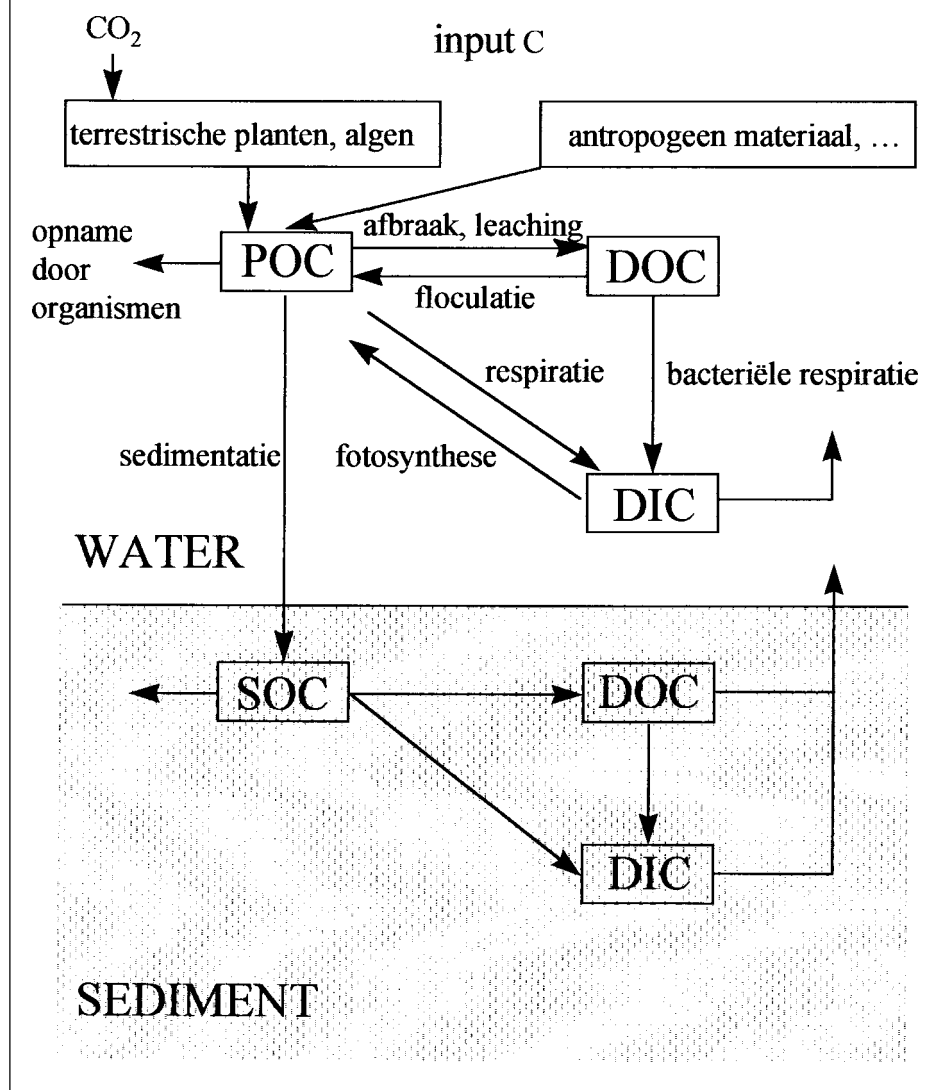
Het sedimentologisch onderzoek is gericht op een detailanalyse van de factoren die de sedimentatie beïnvloeden. Dit, samen met de hydrodynamica, is de basis om morfologische ontwikkelingen in de diverse habitats te voorspellen.

De C-cyclus (Fig. 9)

Waar een intense uitwisseling tussen het aquatisch en het terrestrisch milieu plaatsvindt, zoals in de Zeeschelde, verloopt dit voor een belangrijk deel via het particulier materiaal. Particulair materiaal (deeltjes $>1 \mu\text{m}$ en $<1000 \text{ mm}$ die in het water zweven) vormt in aquatische milieus een centrale en essentiële component in de ecologische kringloop en bestaat naast een levende component (fyto- en zoöplankton) uit een grote hoeveelheid detritus en geërodeerde sedimenten.

De fluxen van organisch materiaal worden in de eerste plaats beïnvloed door de biologische koolstoffixatie te wijten aan primaire productie van schorvegetaties, fyto-benthos en fytoplankton. Deze stroom wordt aangevuld met detritisch materiaal (terrestrisch en aquatisch plantaardig materiaal, maar vooral antropogeen organisch detritus) door de Schelde aangevoerd uit de bovenlopen. Bij het overstromen van slik, schor of overstromingsgebied blijft een deel van dit particulier materiaal achter. De hoeveelheid die achterblijft hangt af van de aard van het gesuspendeerd materiaal (sedimentatiesnelheid), in combinatie met de omgevingscondities (waterafvoer, weersomstandighe-

Figuur 9. Schematische weergave van de koolstofcyclus (POC, Particulair Organisch Materiaal; DOC, Opgelost Organisch Materiaal; DIC, Opgelost Anorganisch Koolstof; SOC, Sedimentair Organisch Koolstof) (naar Hellings et al., 1996)



den enz.). Omgekeerd kan bij afgaand tij resuspensie optreden waardoor materiaal terug meegevoerd wordt door het water. Dit particulier materiaal kan opgenomen worden in de estuariene voedselketen door zoöplankton en bodemdieren ofwel omgezet worden in CO₂ door bacteriële respiratie. Voor de waterkolom zal naast deze heterotrofe respiratie ook de CO₂-gasuitwisseling tussen water en atmosfeer en de uitwisseling tussen grondwater en bodempartikels hun stempel drukken op de carbonatenchemie. Onder anaërobe omstandigheden kan ook methanogenese optreden.

De mate waarin het particulier materiaal wordt opgenomen in de voedselketen (rechtstreeks door het zoöplankton of via de bacteriën die op hun beurt door microzoöplankton worden opgenomen) is in grote mate bepalend voor de kwaliteit van het water. Het zoöplankton, dat zich met particulier materiaal voedt, heeft een minimum hoeveelheid aan levende componenten nodig om te ontwikkelen. Het zoöplankton is op zijn beurt een onmisbare voedsel-

bron voor hogere organismen, zoals vislarven. Te hoge concentraties aan organisch materiaal, of slecht opneembaar materiaal, leiden tot anaërobie, waarbij het (organisch) particulier materiaal een belasting vormt die niet meer doorstroomt naar levende (hogere) organismen.

Zowel op de oever als in het water zal het ecologisch lot van het uitgewisselde materiaal echter variëren met de samenstelling en grootte van de partikels. De hoeveelheid materiaal, de afbreekbaarheid ervan, en de mate waarin het rechtstreeks of onrechtstreeks in de voedselketen van het systeem kan worden opgenomen, zijn belangrijke factoren in het evalueren van de ecologische impact van bepaalde beheersopties. Bovendien kunnen in de komende jaren, t.g.v. de waterkwaliteitsverbetering in het Scheldebekken, aanzienlijke veranderingen in de samenstelling van het particulier materiaal worden verwacht. Zo bv. behoort een verhoogde concentratie aan levende organismen, zowel fytoplankton als zoöplankton, tot de reële verwachtingen. Deze ver-

anderingen kunnen een belangrijke wisselwerking hebben met de boven beschreven ecologische rol van het particulier materiaal.

De N-cyclus (Fig. 10)

Het is duidelijk dat de koolstofstroom niet los kan beschouwd worden van de stikstofstroom. Massabalansen van koolstof dienen aangevuld te worden met informatie over de dynamiek van de stikstoftransformaties in de sedimenten en in de waterkolom. Daarom is het noodzakelijk een beter inzicht te verwerven in de stofstromen van opgeloste stikstofhoudende verbindingen (nitraat, nitriet, ammonium en ureum) en eventueel van andere anorganische voedingsstoffen (fosfaat en silicaat), die noodzakelijk zijn voor primaire productie van ééncellige en hogere planten.

Nitraat, nitriet, ammonium en ureum zijn de voornaamste opgeloste stikstofbronnen voor primaire productie en hun concentratie in het water is zowel door verbruik als door productie en aanvoer bepaald. Bij hoog water kan een belangrijk deel van deze nutriënten via diffusie, adsorptie en sedimentatie in de bodem terechtkomen.

Van hieruit kan het ook opgenomen worden in de biota maar gezien de anaërobe toestand van de meeste sedimenten, de grote hoeveelheid aanwezig organisch materiaal en de lage saliniteit zijn de condities ideaal voor denitrificatie waardoor een substantieel deel van de N-vracht uit het systeem kan verwijderd worden.

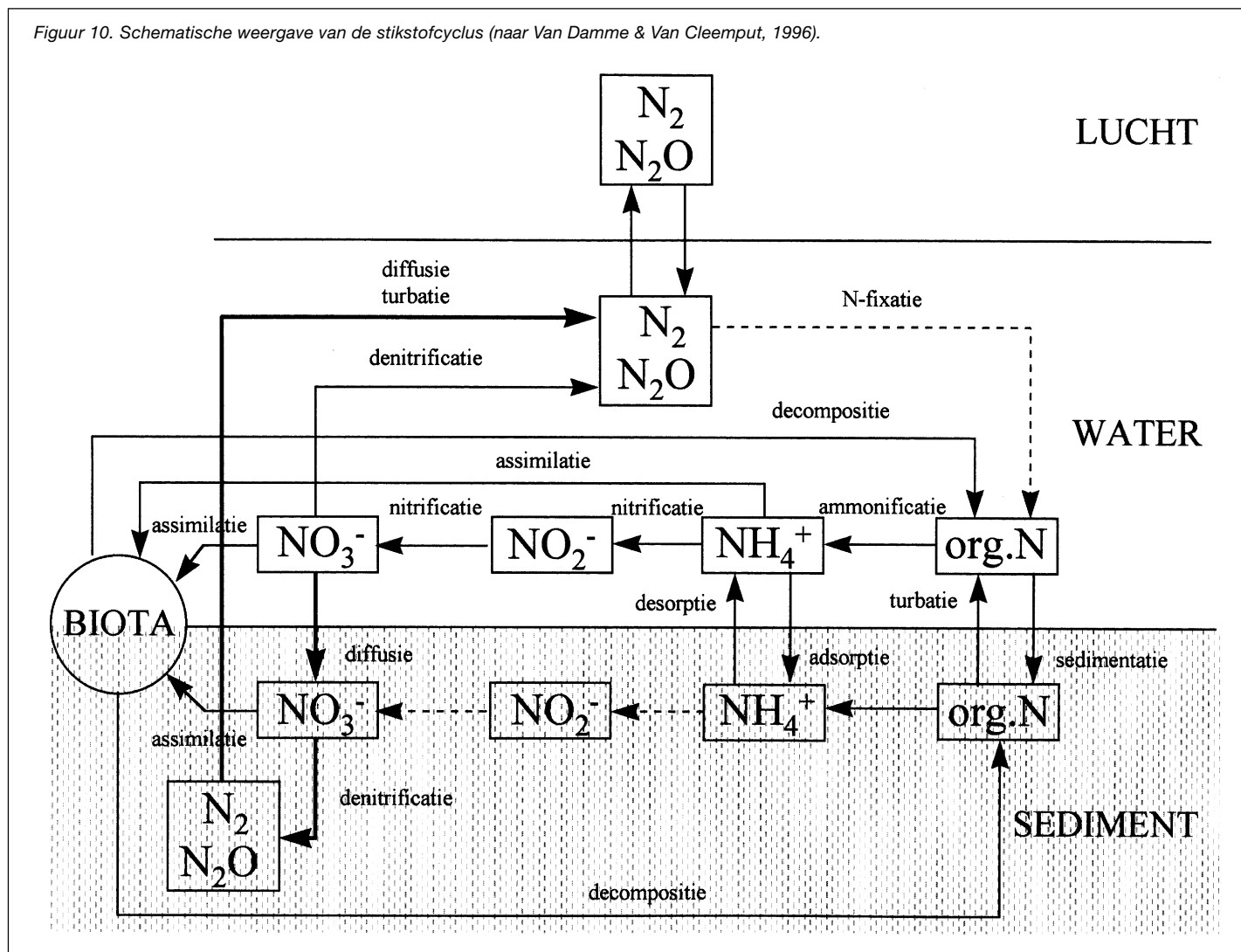
Bemonsteringsstrategie

Teneinde een optimale afstemming te hebben tussen de onderlinge deelstudies en de bruikbaarheid van de gegevens voor het ecosysteemmodel te garanderen worden een aantal geïntegreerde meetcampagnes georganiseerd. Teneinde de ruimtelijke en temporele patronen vast te stellen worden door verschillende onderzoeksploegen stalen genomen op de maandelijkse vaartochten (zie B2 waterkwaliteitsparameters). Daarnaast worden dertienuursmetingen georganiseerd ter hoogte van het schor aan de Durmemonding. Teneinde de uitwisseling tussen schor en slik te kwantificeren worden door alle ploegen simultaan stalen genomen in de dwarssectie van de geul waarlangs alle water het schor in- en uitvloeit. Tegelijkertijd worden ook metingen uitgevoerd in de Schelde voor het schor.

Deze metingen worden in verschillende seizoenen en tijdens verschillende tijdstippen uitgevoerd. Door de Afdeling Zeeschelde werd een brug aangelegd over de schorgeul vanwaar alle stalen kunnen genomen worden.

Geïntegreerde metingen vinden ook plaats op het schor en slik van Appels St.-Onolfsdijk. De constructie van een loopbrug door de Afdeling Zeeschelde maakt het mogelijk om stalen te nemen op verschillende plaatsen zonder het sediment grondig te verstoren. Op verschillende hoogtes werden peilbuizen aangebracht waarin waterstalen kunnen genomen worden. Materiaal voor poriënwateranalyse, denitrificatiemetingen en redoxpotentiaalmetingen werden opgesteld. Naast deze locaties waar in principe door alle ploegen wordt gemeten, werden, uiteraard afhankelijk van het onderwerp, nog veel bijkomende punten bemonsterd. Maar ook hier wordt gestreefd naar het steeds zoveel mogelijk simultaan meten.

Figuur 10. Schematische weergave van de stikstofcyclus (naar Van Damme & Van Cleemput, 1996).



D1 Sedimenttransport en sedimentatieprocessen in de Zeeschelde

D1.1 ruimtelijke en temporele patronen en karakterisatie van gesuspendeerde sedimenten.

Welke hoeveelheden sedimenten in de rivier aanwezig zijn, de karakterisatie en de sedimentatiesnelheid van die sedimenten in buiten- en binnendijkse gebieden en wat eventuele veranderingen in de hydraulica van de rivier door bv. dijkherlocatie-alternatieven als gevolg hebben voor de sedimentatie en de concentraties zwevende stoffen zijn de belangrijkste vraagstellingen in het procesmatig georiënteerde sedimentonderzoek.

Een inzicht in de concentraties van gesuspendeerd materiaal en in de laterale sedimentbewegingen kan slechts bekomen worden door simultaan metingen uit te voeren in een dwarssectie van de rivier, op de slikken en in de schorgeulen. Daartoe worden dertienuursmetingen verricht op 6 raaien waarbij telkens simultaan aan beide oevers wordt gemeten. Hierbij worden met een STD-sonde saliniteits-, temperatuurs- en troebelheidsprofielen gemaakt en worden eveneens stroomsnelheden gemeten. Om de troebelheidsmetingen te kalibreren wordt om het uur een staal voor analyse genomen op elke diepte. Deze metingen gebeuren vanaf de Belgica en schepen van de Afdeling Maritieme Schelde.

Van alle stalen wordt het korrelgroottespectrum bekomen met de "SEDIGRAPH 5100". Deze techniek bepaalt de korrelgrootteverdeling van de zuivere individuele mineraalkorrels die het sediment opbouwen. In werkelijkheid komen deze korrels niet noodzakelijk als dusdanig voor. In de natuur vormen zij, in combinatie met organisch materiaal en water, veelal complexe vlokvormige structuren die een eigen dynamisch bestaan leiden in die zin dat de vlokken gevormd en afgebroken worden tijdens het sedimenttransport. De vlokvorming wordt bepaald door het korrelgroottespectrum (differentiële bezinking, Brownse beweging) en door de hoeveelheid en de aard van het aanwezige organisch materiaal (Eisma et al., 1991) dat als bindingsagent optreedt. Veranderingen in de aard van het organisch materiaal aan de grens van zoet en zout water en een verlies aan organisch materiaal uit het gesuspendeerde sediment in hetzelfde gebied beïnvloeden uiteraard de graad van vlokvorming. De grootte van de vlokken is eveneens afhankelijk van de turbulentie van het water en vooral van de microturbulentie. Ook uitwisseling met de bodem door bezinking en resuspensie is een niet verwaarloosbare factor en speelt een belangrijke rol bij de eventuele afbraak van de vlokken. Het is dus noodzakelijk om zowel de absolute korrelgrootteverdeling als de in situ vlok-grootte te kennen wil men zich een beeld van het sedimentatieproces vormen. De in situ vlok-grootte wordt bestu-

deerd met behulp van een speciaal daarvoor ontwikkelde "Benthos Plankton Camera" (Eisma et al., 1990).

Om meer inzicht te verkrijgen in de mogelijke sedimentatie in de getijdengebieden worden door middel van sifonsamplers, geplaatst op verschillende plaatsen langsheen de rivier en op verschillende hoogtes over langere perioden (2 à 3 weken) suspensiestalen genomen. Ook wordt intensief bemonsterd tijdens de metingen ter hoogte van het schor aan de Durmemonding om de uitwisseling van sedimenten tussen schor en pelagiaal te bepalen.

D1.2. Bodemsedimenten en sedimentatieprocessen

Bij de bespreking van het gesuspendeerde sediment werd reeds gewezen op het verband dat er bestaat met het bodemsediment. Niet alleen is er een voortdurende uitwisseling door sedimentatie en resuspensie, maar wordt ook de aard van de "graded suspension" door het bodemsediment bepaald.

De studie van bodemsedimenten omvat enerzijds analyse (hoeveelheid organische stof, granulometrie) van 20cm diepe boorkernen die genomen zijn op de monsterpunten van het benthos. Anderzijds worden op verschillende punten éénmalig 1 à 2 meter diepe boorkernen genomen voor analyse van fysische sedimenteigenschappen (globale densiteit, radiografie, granulometrie, gamma-densitometrie). De accumulatiesnelheid wordt met behulp van radioisotopen (^{210}Pb , ^{226}Ra , ^{137}Cs , ^{241}Am) gemeten.

Aanvullend worden ook in situ sedimentatiesnelheden bepaald via experimenten met een sedimentatiekolom. Dit is gekoppeld met het onderzoek naar het organisch materiaal (zie verder).

D2 Biochemische Cycli C en N en water

Het ontrafelen van de cycli van koolstof en nutriënten binnen het ecosysteem is van fundamenteel belang. Met het oog op het ecosysteemmodel is het nodig om i) de interacties (grootte en richting) tussen rivier enerzijds en schor- en overstromingsgebieden anderzijds te kwantificeren voor wat koolstof- en stikstofuitwisselingen betreft; ii) de omzettingen van materiaal in het pelagiaal te bepalen en iii) de omzettingen in slikken en schorren te meten.

Het onderzoek van het organisch materiaal in het estuarium wordt uitgevoerd op twee complementaire manieren. De eerste gaat uit van een biologische identificatie van zowel levend als dood materiaal, de tweede gaat uit van een chemische benadering gebaseerd op verschillen in isotopensamenstelling van de verschillende componenten. De verschillende onderdelen van deze studies worden hier besproken.

D2.1 analyse van particulier organisch materiaal in de waterkolom.

De concentratie aan particulier materiaal en het aandeel van verscheidene componenten hierin wordt bepaald via verschillende staalnametechnieken. Hierbij wordt in eerste instantie onderscheid gemaakt tussen fijn en grof particulier materiaal, gezien voor beide aparte staalnamemethodes gebruikt worden.

Van de stalen voor fijn particulier organisch materiaal wordt de hoeveelheid koolstof (totaal, organisch en inorganisch) bepaald via chemische analyse. Via microscopische beeldanalyse wordt de concentratie aan particulier materiaal, de compactheid, de grootteverdeling en globale samenstelling van detritus en microplankton (= fytoplankton + microzoöplankton) gekwantificeerd. Het microplankton wordt verder in detail geanalyseerd en vormt onderdeel van een aparte studie aan de RUG (lab. Plantkunde).

Verder wordt de concentratie van geselecteerde componenten van verschillende oorsprong (bv. wilgen- riet -en biesnecromassa) met beeldanalyse gekwantificeerd en worden metingen van het drooggewicht en koolstofgehalte van die dominante componenten (bv. wilgen-, riet -en biesnecromassa) uitgevoerd.

De ruimtelijke en temporele verspreiding van deze componenten over het traject Nederlandse grens-Gent wordt gevolgd evenals de uitwisseling tussen schor en slik tijdens de metingen aan het schor aan de Durmemonding.

Naast het particulier materiaal wordt ook in detail de soortensamenstelling (diversiteit) en abundantie van het zoöplankton gevolgd, zowel tijdens de seizoenale trajecten als tijdens de getijdenmetingen. De ontwikkeling van de zoöplanktonpopulaties in de Zeeschelde is een aangewezen indicator voor de evolutie van de waterkwaliteit, gezien de sleutelpositie van het zoöplankton tussen het particulier materiaal en de hogere organismen.

D2.2 Degradeerbaarheid van het organisch materiaal.

Om beter inzicht te krijgen in het lot van organisch materiaal in het systeem wordt de degradeerbaarheid ervan getest in litterbag experimenten. Hiertoe worden verscheidene componenten (bv. wilgen- biesnecromassa) in zo natuurlijk mogelijke omstandigheden geïncubeerd waarna het verdwijnen van particulier materiaal (in drooggewicht en koolstof) over de tijd (dagen tot weken) wordt gemeten. De opneembaarheid van dit materiaal in de natuurlijke voedselketen wordt getest via totaal enzymextracten van suspensie-etende organismen (zoöplankton, benthische suspensie-eters).

D2.3 Sedimentatie van organisch materiaal

Gekoppeld aan het sedimentonderzoek wordt ook de sedimentatiesnelheid van het organisch materiaal gemeten in een sedimentatiekolom. Hierbij worden regelmatig op verschillende dieptes stalen genomen voor analyse. Op basis hiervan kan, gekoppeld met gegevens over overspoelingsduur, een inschatting worden gemaakt van welke fractie aan welke snelheid bezinkt.

D2.4 Studie van biogeochemisch cycli van C en N op basis van stabiele isotopen-verhoudingen

Dit deelonderzoek is gericht op de identificatie van de voornaamste koolstof- en stikstofbronnen en het inschatten van hun relatieve belang in de materiaalstromen tussen rivier en schor- en gecontroleerde overstromingsgebieden, voornamelijk gebaseerd op onderzoek van stabiele kool- en stikstofisotopen. Dit gaat uit van verschillende verhoudingen van de isotopen in de C en N bronnen van verschillende oorsprong. De analyse der verhoudingen van natuurlijke stabiele koolstof- en stikstofisotopen in de verschillende substraten van het ecosysteem alsook van hun seizoensale en regionale variabiliteit maakt het mogelijk deze interacties tussen de stroom en het intertidaal te bestuderen. In de mate dat lokaal en aangevoerd detritisch materiaal een verschillende $\delta^{13}\text{C}$ en $\delta^{15}\text{N}$ waarde hebben, is het mogelijk de relatieve bijdrage van beide bronnen in te schatten. De lokale bron (schorgebied) zal aan een sterke seizoensgebonden variabiliteit onderhevig zijn en het effect hiervan op de riviersamenstelling ($\delta^{13}\text{C}$ in organisch suspensiemateriaal en in DIC) zal dan vermoedelijk ook seizoenaal fluctueren. Deze isotopenstudie dient echter aangevuld te worden met metingen van de transformatiedynamiek van organisch materiaal. Massabalansen van koolstof dienen bovendien aangevuld te worden met informatie over de dynamiek van de stikstoftransformaties in de sedimenten en in de waterkolom. Daarom is het noodzakelijk een beter inzicht te verwerven in de stofstromen van opgeloste stikstofhoudende verbindingen (nitraat, nitriet, ammonium en ureum) en eventueel van andere anorganische voedingsstoffen (fosfaat en silicaat), die noodzakelijk zijn voor primaire productie van éencellige en hogere planten.

Deze studie vereist een tweevoudige aanpak. Enerzijds moeten veelvoudige bepalingen van de verschillende fracties van het organisch materiaal en de nutriëntenconcentraties uitsluitend geven over het belang van de verschillende verbindingen in de totale koolstof- en stikstofbalans van de rivier en anderzijds moeten de voornaamste biogeochemische overgangen worden bepaald.

Via de maandelijkse boottochten worden stalen genomen voor de bepaling van $\delta^{13}\text{C}$

in suspensiemateriaal en in DIC; bepaling van nitraat-, nitriet-, ammonium- en ureumconcentraties, pH en alkaliniteit van het water. Dit gebeurt ook tijdens de dertienuursmetingen aan het schor aan de Durmemonding. Additioneel worden ook nutriëntenanalyses (ammonium; nitraat; nitriet en ureum) uitgevoerd in poriewater o.a. op Appels St.-Onolfsdijk.

Interpretatie van de isotopenverhoudingen vereist ook het bepalen van $\delta^{13}\text{C}$ en $\delta^{15}\text{N}$ in de vegetatiesoorten in en om het schorreggebied. Hiertoe werden de belangrijkste soorten (riet, wilgen en biezengrassen) bemonsterd.

De volgende biogeochemische overgangen werden bepaald: het stikstofmineralisatieproces (omzetting van organisch stikstof in anorganisch stikstof); bepaling van het nitrificatieproces (oxidatie van ammonium tot nitraat); tijdsevolutie van $\delta^{13}\text{C}$ en $\delta^{15}\text{N}$ in afbraakexperimenten op plantenmateriaal ("litterbag" experimenten gekoppeld aan studie D2.3); bepaling van de fytoplanktonproductie aan de hand van ^{15}N -nitraat- en ammoniumopname experimenten.

D2.5 Denitrificatie

Door de potentiële impact op de N-vracht is denitrificatie een uitermate belangrijk proces waaraan binnen OMES een aparte deelstudie is gewijd. De onderzoeksobjectieven zijn dan ook een antwoord te formuleren op volgende vragen: Hoe intens gebeurt denitrificatie in zoetwatergetijdengebieden van de Schelde? Wat is de ruimtelijke en temporele variatie van denitrificatie in zoetwatergetijdengebieden, zowel in slikken als in schorren en welke factoren verklaren de variatie? Hoe gedragen zich de verschillende processen die van belang zijn voor denitrificatie onder getijomstandigheden en welk overspoelingsregime is optimaal voor denitrificatie?

Deze vragen worden beantwoord door een combinatie van veld- en laboratorium onderzoek. Denitrificatie wordt in situ bepaald met de acetyleen inhibitie techniek. De metingen worden volgens de getijgradiënt, en op verschillende sedimenttypes uitgevoerd. De gasmonsters worden geanalyseerd in een gaschromatograaf. N_2O wordt eveneens in situ bepaald, wat tevens toelaat de negatieve aspecten van denitrificatie voor het milieu (ozondestructie en broeikas effect) in te schatten. Per meetpunt worden ook alle relevante fysische, chemische en biologische parameters bepaald. Op plaatsen waar bij laag water denitrificatie wordt gemeten wordt bij hoog water de sediment-water flux van NO_3^- -N en NH_4^+ -N bepaald.

Sedimentstalen worden in het labo onderworpen aan een gamma van behandelingen zoals overspoelingsregimes en uiteenlopende concentraties van stikstof, koolstof of zuurstof in het overspoelende water. Ter oriëntatie worden dergelijke proeven eerst uitgevoerd zonder tracer. In het tweede sta-

dium zal toevoeging van een tracer (^{15}N) informatie opleveren over nitrificatie, immobilisatie en stikstof fluxen. Denitrificatie kan onder enig voorbehoud worden geschat als de fractie ^{15}N die niet teruggevonden wordt.

D3 De watermassabalans

Het water in het ecosysteem kan van verschillende oorsprong zijn. Deze deelstudie beoogt een beter inzicht te bekomen in de waterhuishouding tussen meteorisch water, grondwater, rivierwater en in de retentiecapaciteit van de schorren door een studie van de stabiele zuurstofisotopen ($\delta^{18}\text{O}$) van het water zelf.

Inderdaad, er kan verwacht worden dat de $\delta^{18}\text{O}$ van het meteorisch water in de tijd sterk varieert. Daarentegen vertoont het grondwater lokaal een vrij stabiel signaal, terwijl die van het rivierwater een variatie vertoont die kort is in de tijd en functie is van het mengen van ingevoerde watermassa's (rechtstreeks aflopend meteorisch water, grondwater en invoer vanuit het schorreservoir). Hierop steunend kan men een beter inzicht bekomen in het relatieve belang van de verschillende oorsprongen van het water, wat een vereiste is voor het opstellen van een watermassabalans.

Met deze doelstelling voor ogen wordt om de twee maanden rivier-, porie-, percolatie- en regenwater voor de $\delta^{18}\text{O}$ -isotopenanalyse bemonsterd. Bovendien gebeurt dit 2 à 3 keer per seizoen voor rivierwater gedurende een getijcyclus. In periodes van belangrijke regenval wordt bovendien de wateruitwisselingsdynamiek tussen rivier en schor bestudeerd door de bepaling van $\delta^{18}\text{O}$ -signatuur van de mogelijke waterbronnen, met name regenwater, stroomopwaarts rivierwater en schor-grondwater en verder van het rivier- en sijpelwater ter hoogte van het schor.

D4 benthos

Het voorkomen van het benthos is doorgaans onderhevig aan relatief grote seizoensale schommelingen, die samengaan met o.a. veranderingen in omgevingsfactoren (vb. verandering van zoutgehalte), maar ook met de populatiedynamiek (reproductiecyclus) van de macrobenthossoorten zelf. Om inzicht te krijgen in de temporele variabiliteit van het macrobenthos worden een aantal geselecteerde bemonsteringslocaties 4-12x per jaar bemonsterd waardoor een idee verkregen wordt over densiteiten en biomassa's van het benthos in de verschillende seizoenen. Dit moet ons in staat stellen om de productie van het benthos te berekenen waardoor een beter inzicht in de rol van het benthos in de C-cyclus kan bekomen worden.

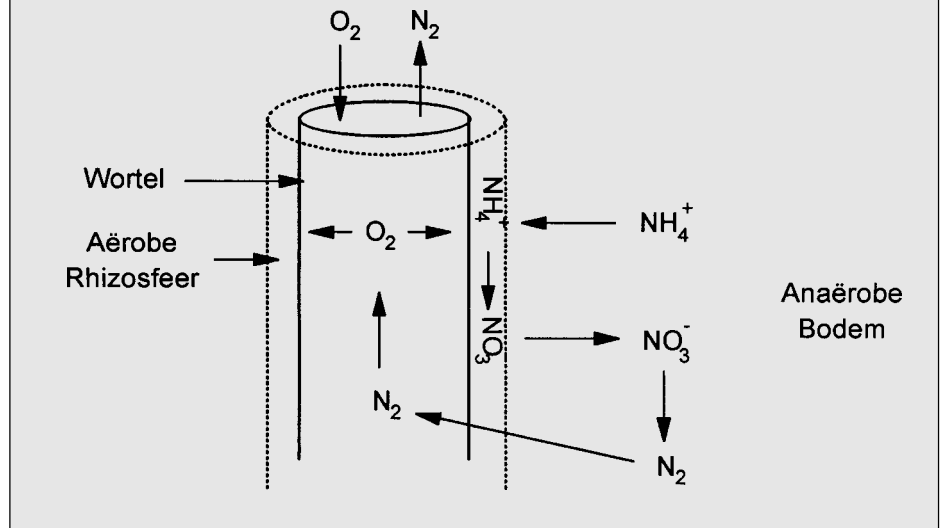
D5 Rol van helofyten

D5.1 Processen in de rhizosfeer

De wortels van helofyten nemen nutriënten op uit de bodem en leggen die vast in biomassa. Stikstof wordt voornamelijk opgenomen in de vorm van ammonium en nitraat zoals aanwezig in het poriewater van de bodem. Aangezien helofyten doorgaans wortelen in gereduceerde sedimenten wordt zuurstof bovengronds opgenomen en via het aërenchym naar de wortels getransporteerd waar het gebruikt wordt voor de wortelrespiratie. Rietplanten (*Phragmites australis*) nemen de zuurstof op uit de lucht via huidmondjes in de bladeren of via de bijwortels die aan de waterstengel bevestigd zijn. Bies (*Schoenoplectus* sp.) neemt de zuurstof alleen via de huidmondjes op. Een gedeelte van het getransporteerde zuurstof "lekt" uit de wortels van de helofyten weg en komt in de rhizosfeer terecht. Hier worden gereduceerde, voor de plant toxische stoffen, geoxideerd. Daarnaast beïnvloedt het in de rhizosfeer gediffundeerde zuurstof verschillende bacteriële processen. Hierbij dient te worden opgemerkt dat ook organische koolstof uit de wortels in de rhizosfeer "lekt" en door heterotrofe bacteriën wordt opgenomen. Deze koolstof input stimuleert de bacteriële activiteit. In de aërobe rhizosfeer kan ammonium, dat via mineralisatie is vrijgemaakt of van uit het bovenstaande water in de rhizosfeer is gediffundeerd, geoxideerd worden tot nitraat (fig. 11). In anaërobe "spots" in de rhizosfeer of in het omliggende anaërobe sediment kan het nitraat door facultatief anaërobe bacteriën gedenitrificeerd worden (Reddy et al., 1989). Het aldus gevormde stikstofgas diffundeert uit het sediment (dit kan direct of via het aërenchym van de helofyten) naar de atmosfeer. Helofyten, wortelend in gereduceerde sedimenten, zouden dus een bijdrage kunnen leveren aan verwijdering van stikstof uit litorale systemen (Christensen & Sørensen, 1986; Iizumi et al., 1980).

In anaërobe bodems kan door bacteriële activiteit ook methaan gevormd worden. Via diffusie of opstijgende gasbellen komt dit methaan in de atmosfeer terecht en levert een bijdrage aan het broeikas effect. Onder aërobe omstandigheden, zoals aanwezig in de toplaag van sedimenten of in de rhizosfeer van wortelende waterplanten, kan methaan geoxideerd worden door methaan-oxiderende bacteriën. Echter, de wortel-exudaten (labiele organische koolstofverbindingen) van helofyten stimuleren de activiteit van heterotrofe bacteriën in de rhizosfeer waarbij zuurstof verbruikt wordt. Dit kan tot gevolg hebben dat de beschikbaarheid van zuurstof voor methanotrofe bacteriën rond de wortels afneemt met als gevolg een toename in de methaanemissie (Schütz et al., 1991; Holzapfel-Pschorn et al., 1986). Verwacht mag worden dat in litorale systemen, begroeid met helofyten, de uitstoot van het broeikasgas methaan o.a. zal afhangen van de invloed die helo-

Figuur 11. Nitrificatie en denitrificatie in de rhizosfeer van een helofyt. (Vrij naar Reddy et al. 1989).



fyten uitoefenen op de zuurstof/koolstof ratio in de rhizosfeer.

Voor het schorrensubmodel is het van groot belang inzicht te hebben in de factoren die de grootte van de zuurstofafgifte door plantenwortels naar de rhizosfeer bepalen. Daartoe wordt onder experimentele omstandigheden de totale zuurstofflux uit de wortels gemeten.

Planten "lekken" niet alleen zuurstof maar ook organische koolstofverbindingen die door heterotrofe en/of methanotrofe bacteriën gebruikt kunnen worden. Behalve dat planten dus indirect verantwoordelijk zijn voor de chemische samenstellingen van het poriënwater kunnen zij ook direct nutriënten uit het milieu halen. Aangezien de fysiologie van de plant gedurende het groeiseizoen verandert kan verwacht worden dat de invloed die de vegetatie op de bodemprocessen heeft afhankelijk is van het seizoen. Om hierin nader inzicht te krijgen werden poriënwatermonsters op het schor van Appels St.-Onolfsdijk verzameld met een *in-situ* dialyse apparaat geplaatst zowel in de vegetatie als op onbegroeid slik. Het in MOSES geïncorporeerde diagnostisch model van Soetaert et al. (1996) zal gekalibreerd en gevalideerd worden met die gegevens.

D5.2 Productie, C-, N- en P- gehalte en LA van riet en bies *in situ*

Teneinde een beter inzicht te krijgen in de C-, N- en P-fluxen van schorvegetaties en een kalibratie toe te laten van de experimentele benadering die ten grondslag ligt aan het helofyten-groeimodel, wordt een detailstudie uitgevoerd van de seizoensale patronen van bovengrondse biomassa-productie, bladoppervlak (LA), C-, N- en P-gehalte van levende en dode plantendelen van *Phragmites australis* en *Schoenoplectus taber-*

naemontani. Dit onderzoek werd reeds opgestart in 1995 met een globale morfologisch-ecologische screening van riet-vegetaties langsheen de volledige zoutgradiënt waar Riet voorkomt langsheen het Schelde-estuarium en werd in 1996 vervolgd met een detailstudie van boven- en ondergrondse plantendelen van Riet in een aantal permanente kwadraten (pq's). De verticale verdeling van de wortelbiomassa zal gebruikt worden om de grootte van de rhizosfeer van rietvegetatie te kunnen inschatten. Vanaf 1997 worden dezelfde parameters (echter uitsluitend bovengronds) in enkele riet- en biesvegetaties verder gevolgd, waarbij de invloed van beheersmaatregelen mede geëvalueerd worden. Gegevens uit deze verschillende deelonderzoeken moeten ons in staat stellen globale uitspraken te doen over de export van organisch materiaal uit de schorvegetaties naar het pelagiaal toe.

De verkregen data zullen gebruikt worden om het helofyten-groeimodel te kalibreren.

3.5 Uitvoering en organisatie

Dit onderzoeksproject wordt uitgevoerd door verschillende diensten en laboratoria. In tabel 1 is een overzicht gegeven van welke studies door welke instanties worden uitgevoerd. De verschillende deelstudies worden door verschillende instanties gefinancierd. Die zijn eveneens opgenomen in tabel 1. Het project heeft een looptijd van 3 jaar. De coördinatie van het volledige project wordt waargenomen door een coördinatiegroep onder voorzitterschap van het Instituut voor Natuurbehoud. Vertegenwoordigd zijn AWZ- afdeling Maritieme Schelde, afdeling Zeeschelde en afdeling hydrologisch onderzoek en waterbouwkundig laboratorium, de VMM, AMINAL en het IN.

Tabel 1: Overzicht van de verschillende uitvoerders van het onderzoeksproject OMES. Opgenomen zijn de uitvoerende instelling, de uitvoerders zelf, de deelprojecten (de nummers verwijzen naar de beschrijving in de tekst) en de financierende instantie.
(* deze studies vormen deel van het OMES-project maar zijn voor hun financiering hiervan onafhankelijk)(AWZ, Administratie Waterwegen en Zeewezen; AMINAL Administratie Milieu, Natuur, Land en Waterbeheer, VMM Vlaamse Milieumaatschappij)

INSTELLING	UITVOERDERS	DEELPROJECTEN	FINANCIER
NIOO-CEMO,	M. Starink. o.l.v. P. Herman & C. Heip	ecosysteemmodel (A/D5.2)	Instituut voor Natuurbehoud
RUG, Vakgroep Morfologie Systematiek & Ecologie Sectie Mariene Biologie	J. Seys o.l.v. M. Vincx	benthos (B5/D4)	AMINAL
KUL, Labo voor Ecologie en Aquacultuur	J. Maes o.l.v. F. Ollevier	visfauna (B7)	*
RUG, Vakgroep Morfologie Systematiek & Ecologie, Lab Plantkunde ism Instituut voor Natuurbehoud	W. Muylaert, A. Van Kenhove, E. Van den Balck o.l.v. M. Hoffmann & P. Meire	vegetatie (B4/C2/C2.2/D5.2)	AMINAL
KUL, Instituut voor Land- en Waterbeheer	R. Van de Moortel o.l.v. S. Dekkers	pedologie (C2.1/C2.2)	AMINAL/AWZ
Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen	F. Francken & P. Schotte o.l.v. S. Wartel	sedimentologie (D1)	AWZ
VUB, Labo voor Ecologie en Systematiek	M. Tackx & R. Billones o.l.v. N. Daro	particulair materiaal (D2.1/D2.2/D2.3)	AMINAL
VUB, Labo voor Analytische Chemie	L. Hellings, J. Piraux o.l.v. L. Goeyens & F. Dehairs	biogeochemie van C en N (D2.4)	AMINAL
RUG, Vakgroep Morfologie Systematiek & Ecologie, Lab Plantkunde	K. Muylaert o.l.v. W. Vyverman	microplankton (D2.1)	*
RUG, Labo voor Toegepaste Analytische en Fysische Chemie	S. Van Damme o.l.v. O. Van Cleemput	denitrificatie (D2.5) & waterkwaliteitsparameters (B3)	VMM
VUB, Labo voor stabiele isotopenchemie	K. Van Den Driessche o.l.v. E. Keppens	waterbalans (D3)	AMINAL
AWZ-Afdeling Hydrologisch onderzoek en waterbouwkundig Labo	K. Maeghe, P. De Laet o.l.v. F. Wens	hydrodynamica (C1)	
AWZ-Afdeling Zeeschelde	S. Nolet o.l.v. W. Graré	geomorfologie (B1) en logistieke ondersteuning	
AWZ- Afdeling Maritieme Schelde	o.l.v. E. Taverniers	waterkwantiteit (B2) en logistieke ondersteuning	
Instituut voor Natuurbehoud	E. Van den Balck, M. Hoffmann, A. Anselin, T. Ysebaert, P. Geers o.l.v. P. Meire	waterkwaliteitsparameters (B3); flora & vegetatie (B4); benthos (B5/D4); a vifauna (B7)	

4 BESLUIT

Het OMES-project is in eerste instantie bedoeld om de impact van waterbouwkundige werken op het Schelde-ecosysteem na te gaan. Hoewel de verontreiniging van zowel water als bodem een belangrijke impact heeft op het ecosysteem ligt het niet in de bedoeling om in dit project specifiek onderzoek naar oorzaken en effecten van verontreiniging uit te voeren. Uiteraard zal gestreefd worden naar een maximale integratie van de resultaten van het lopend onder-

zoek inzake verontreiniging in de Schelde in voorliggend onderzoek. Afstemming met andere onderzoeksprojecten waarin het Schelde-estuarium betrokken is wordt eveneens voorzien.

Het uitvoeren van een dergelijk onderzoeksproject op zich kan wetenschappelijk een grote waarde hebben maar de uitdaging is uiteraard de koppeling met het effectief uitvoeren van maatregelen in het veld. Een aantal eerste realisaties in het kader van het Sigmaphan worden beschreven door

Hoffmann et al. (1997). In de verdere nog uit te voeren Sigmaphanprojecten zijn reeds verschillende alternatieven voorzien die een uitbreiding van het estuariene milieu met zich meebrengen. De grootste uitdaging is evenwel de realisatie van het gecontroleerd overstromingsgebied Kruibeke-Bazel-Rupelmonde en dit op zo'n manier dat én de veiligheid én het milieu gunstig beïnvloed worden. Voor dit laatste is het zo maximaal mogelijk herstellen van de uitwisseling tussen polder en rivier essentieel. Het invoeren van een gecontroleerd en gereduceerd

getij is een mogelijkheid hiertoe die momenteel onderzocht wordt. Het opdoen van praktijkervaring is evenwel van groot belang. Daartoe is, naast de geciteerde sigma-projecten, het project MARS (Marsh Amelioration along the River Schelde) opgestart. Dit project (een samenwerking tussen AMINAL, afdeling Natuur, AWZ, Afdeling Zeeschelde en Rijkswaterstaat, Directie Zeeland) wordt gesteund door het Life fonds van de Europese commissie en omvat de uitvoering van 4 verschillende projecten van schorherstel. Dit moet gezien worden als het uitvoeren van verschillende wetenschappelijke experimenten. De drie projecten die op Belgisch grondgebied worden uitgevoerd omvatten:

- het afgraven van een hoog opgeslibd schor om schorverjonging na te gaan
- het afgraven van een artificieel verhoogd schor om het herstel van schorvegetaties na te gaan

- het aanleggen van een schor met een gecontroleerd en gereduceerd getij in een voormalig poldergebied om de mogelijkheden van schorontwikkeling in binnenlandse gebieden te bestuderen.

Met name dit laatste project moet als een pilootproject voor het overstromingsgebied van Kruibeke gezien worden en biedt een ideale gelegenheid om het hier beschreven onderzoek te valideren.

Met dit project is een nieuwe stap gezet in de integratie van ecologie in de waterbouwkunde en dus een stap op weg naar integraal waterbeheer. Het is duidelijk dat hiermee het eindpunt nog niet bereikt is. Steeds meer facetten van het watersysteem zullen moeten geïntegreerd worden om de nieuwe uitdagingen, zoals de verdieping van de Westerschelde, op een zo integraal mogelijke manier te benaderen.

DANKWOORD

Het globale OMES project zou nooit tot stand gekomen zijn zonder de medewerking en de inzet van velen. De inhoud van het project is het resultaat van vele gesprekken met de diverse medewerkers. Speciale dank gaat hiervoor naar Peter Herman. Eens de inhoud van het project rond, was het niet tot stand gekomen zonder de inzet van Toon Tessier. Maar ook binnen de verschillende administraties betrokken bij het project was de bijdrage van velen onmisbaar. Graag danken wij Willy Graré van AWZ, Henk Maeckelberghe van VMM en Herman Dewel van AMINAL.

P. MEIRE¹, M. STARINK² en
M. HOFFMANN¹

¹ Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap,
Instituut voor Natuurbehoud
Kliniekstraat 25, B1070 Brussel

² Nederlands Instituut voor Oecologisch
Onderzoek, Centrum voor Estuariene en
Mariene Oecologie
Korringaweg 7, 4401 NT Yerseke, Nederland;
postadres Postbus 140 4400 AC Yerseke.

REFERENTIES

Anonymus., 1994. Algemene milieu-impactstudie voor het eerste deel van het Sigmaplan: algemene beginselen en algemeen kader. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, nota AMIS 045, Brussel.

Anselin, A., P. Geers & P. Meire, 1997. Broedvogelmonitoring langs de Zeeschelde: resultaten, evaluatie en toekomstperspectieven van drie jaar punt-transect-tellingen. Rapport IN 97.09., Brussel.

Billen, G., M. Somville, E. de Becker & P. Servais, 1985. A nitrogen budget of the Scheldt hydrographical basin. *Neth. J. Sea Res.* 19: 223-230.

Casteleyn, E & P. Kerstens, 1988. Het Sigmaplan: beveiliging van het Zeescheldebekken tegen stormvloed op de Noordzee. *Water* 43/1: 170-175.

Christensen, P. B. en J. Sørensen, 1986. Temporal variation of denitrification activity in plant-covered, littoral sediment from lake Hampen, Denmark. *Appl. Environ. Microbiol.* 51: 1174-1179.

Claessens, J., 1988. Het hydraulisch regime van de Schelde. *Water* 43: 163-169.

Claessens, J. & L. Meyvis, 1994. Overzicht van de tijwaarnemingen in het Zeescheldebekken gedurende het decennium 1981-1990. Rapport Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, AWZ-Afdeling Maritieme Schelde, Antwerpen.

Coen, I., 1988. Ontstaan en ontwikkeling van de Westerschelde. *Water* 43/1: 156-162.

De Bruijkere, F.L.G., B. Van Eck, H. Maeckelberghe & G. Pals, 1996. Waterkwaliteit van het Schelde-estaurium. Pp 96-109 in

Referatenboek 3^{de} Internationaal Schelde-Symposium, WEL, Wijnegem.

Duursma, E.K., H. Engel & Th. J. M. Martens (red), 1982. De Nederlandse Delta. Een compromis tussen milieu en techniek in de strijd tegen het water. *Natuur en Techniek*, Maastricht.

Eisma, D., T. Schumacher, H. Boekel, J. Van Heerwaarden, H. Franken, M. Laan, A. Vaars, F. Eijgenraam & J. Kalf, 1990. A camera and image-analysis system for in situ observation of flocs in natural waters. *Neth. J. Sea Res.* 27: 43-56.

Eisma, D., Bernard, C. Cadée, V. Ittekkot, J. Kalf, R. Laane, J.M. Martin, W.G. Mook, A. Van Put & T. Schumacher, 1991. Suspended-matter particle size in some West-European estuaries: Part 2: A review of floc formation and break up. *Neth. J. Sea Res.* 28: 193-214.

Guns, P., 1972. De Antwerpse Noorderpolders in de 16^{de} en 17^{de} eeuw. Ministerie van Openbare Werken, Bestuur der Waterwegen, Waterbouwkundig Laboratorium, Borgerhout.

Guns, P., 1975. Historische evolutie van het polderlandschap langs de Linker Schelde-Oever. Ministerie van Openbare Werken, Bestuur der Waterwegen, Waterbouwkundig Laboratorium, Borgerhout.

Heip, C. & P.M.J. Herman, (eds.) 1995. Major biological processes in European tidal estuaries. *Developments in Hydrobiologia* vol 110, (Hydrobiologia 311: 1-266)

Hellings, L., J. Piroux, L. Goeyens, F. Dehairs, K. Van den Driessche & E. Keppens, 1996. Onderzoek Milieu-Effecten Sigmaplan (OMES) Deelstudie 7: Water-schor interactie, DS 7.3 De biogeochemische cycli van

koolstof en stikstof: Interimrapport, VUB, Brussel.

Hoffmann, M. 1993. Vegetatiekundig-ecologisch onderzoek van de buitendijkse gebieden langs de Zeeschelde met vegetatiekartering. Rapport Universiteit Gent, Gent.

Hoffmann, M., Vanhecke, L. & Zwaenepoel, A (1996). *Bolboschoenus maritimus* (L.) Palla en *Schoenoplectus* (Reichenb) Palla in de getijdenzone van Zeeschelde, Rupel, Dijle en Beneden-Nete. *Dumortiera* 64-65: 2-8.

Hoffmann, M. & P. Meire, 1997. De oevers langs de Zeeschelde: inventarisatie van de huidige oeverstructuren. *Water* 95: 131-137

Hoffmann, M., W. Graré & P. Meire, 1997. De oevers langs de Zeeschelde: van uniformiteit naar structuurdiversiteit. *Water* 95: 138-146

Holzappel-Pschorn A., R. Conrad en W. Seiler, 1986. Effects of vegetation on the emission of methane from submerged paddy soil. *Plant Soil* 92: 223-233.

Iizumi, H., A. Hattori en C. P. McRoy, 1980. Nitrate and nitrite in interstitial waters of eelgrass beds in relation to the rhizosphere. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 47: 191-201.

Kerstens, P., 1996. Sigmaplan voor de beveiliging van het Zeescheldebekken tegen stormvloed op de Noordzee. Rapport Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Dep. LIN, AWZ- Afdeling Zeeschelde, Antwerpen.

Maes, J., A. Taillieu, P. Van Damme & F. Ollevier, 1996. Impact van watercaptatie via het waterpompstation van de Kerncentrale van Doel op de biota van de Beneden-Zeeschelde. Studierapport KUL, Labo voor Ecologie en Aquacultuur, Leuven.

- Mayus, M. M., 1990. Sucreed, growth model of reed. Department of theoretical production-ecology, Agricultural University Wageningen.
- Meire, P., G. Rossaert, N. De Regge, T. Ysebaert & E. Kuijken, 1992. Het Schelde-estuarium: ecologische beschrijving en een visie op de toekomst. Rapport RUG-WWE no 28/IN nr. A 92.57, RUG en Instituut voor Natuurbehoud.
- Meire, P.M., M. Hoffmann, & E. Kuijken (red), 1995. Algemene Milieu Impactstudie Sigmaplan (AMIS): Beschrijving onderzoeksproject "Onderzoek Milieu-effecten Sigmaplan", OMES. Rapport IN 95.
- Meire, P., K. De Smet, L. Hemelaer, H. Quintens & V. Vanden Bil, 1996. Het ecologisch impulsgebied Schelde-Dender-Durme: Natuurbehoud en integraal waterbeheer in het Schelde-estaurium. Pp. 88-95 in Referatenboek 3^{de} Internationaal Schelde-Symposium, WEL, Wijnegem.
- Nagels, A., A. Schneiders, L. Weiss & C. Wils, 1993a. Onderzoek naar de verspreiding en de typologie van ecologische waardevolle waterlopen in het Vlaams Gewest, Boven-Scheldebekken, Universitaire Instelling Antwerpen.
- Nagels, A., A. Schneiders, L. Weiss & C. Wils, 1993b. Onderzoek naar de verspreiding en de typologie van ecologische waardevolle waterlopen in het Vlaams Gewest, Beneden-Scheldebekken, Universitaire Instelling Antwerpen. 87 pp.
- Penning de Vries, F. W. T. en H. H. van Laar, 1982. Simulation of crop growth and plant production. Simulation Monograph, Pudoc, Wageningen
- Reddy, K. R., W. H. Patrick en C. W. Lindau, 1989. Nitrification-Denitrification at the Plant Root-Sediment Interface in Wetlands. Limnol. Oceanogr. **34**: 1004-1013.
- Schütz, H., P. Schröder en H. Rennenberg, 1991. Role of plants in regulating the methane flux to the atmosphere, p. 29-63. In Trace Gas Emissions by Plants, 1st ed., Academic Press, Inc.
- Soetaert, K., P. M. J. Herman, 1993. Model of the Scheldt Estuary Ecosystem model development under SENECA. Ecolmod report EM-3 / JEEP report.
- Soetaert, K. & P.M.J. Herman, 1995a. Nitrogen dynamics in the Westerschelde estuary (SW Netherlands) estimated by means of the ecosystem model MOSES. Hydrobiologia **311**: 225-246.
- Soetaert, K. & P.M.J. Herman, 1995b. Carbon flows in the Westerschelde estuary (The Netherlands) evaluated by means of an ecosystem model (MOSES). Hydrobiologia **311**: 247-266.
- Soetaert, K., P. M. J. Herman en J. J. Middelburg, 1996. A model of early diagenetic processes from the shelf to abyssal depths. Geochim. Cosmochim. Acta. **60**: 1019-1040.
- Starink, M., J.F.W.A.v.d. Nat, P.M.J. Herman, J.B.M. Middelburg, K.E.R. Soetaert, M.A. Hemminga & T.E. Cappenberg, 1997. Interimrapport (II) Onderzoek Milieu-effecten Sigmaplan (OMES). Rapport NIOO-CEMO.
- Taverniers, E., 1996. Zeescheldebekken: de afvoer van de Schelde in 1995. Rapport AMS-96.02, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, AWZ-Afdeling Zeeschelde, Antwerpen.
- Van Damme, S., P. Meire, H. Maeckelberghe, M. Verdriev, L. Bourgoing, E. Taverniers, T. Ysebaert & G. Wattel, 1995. De waterkwaliteit van de Zeeschelde: evolutie in de voorbije dertig jaar. Water **14**: 244-256.
- Van Damme, S. & O. Van Cleemput, 1996. Onderzoek milieu-effecten Sigmaplan (OMES). Deelstudie 7: Water-schor interacties. DS 7.4: Denitrificatie Interimverslag. Universiteit Gent, Gent.
- Van Waeyenberge, J., 1994. Voorkomen en ecologie van de broedvogels in de buitendijkse gebieden langs de Zeeschelde. Scriptie lic. Wetenschappen, groep Biologie RUG.
- Wartel, S. & F. Francken, 1996. Sedimenttransport en sedimentatieprocessen in de Schelde tussen Zandvliet en Gent. Interimrapport OMES, KBIN, Brussel.
- Ysebaert, T. & P. Meire, 1997. Watervogels nemen een hoge vlucht langs het Schelde-estuarium. Rapport IN 97.08, Brussel.

CURSUS

Aanvullende vorming voor Milieucoördinator - niveau A of B

Erkend door Vlaams Minister van Leefmilieu en Tewerkstelling Theo Kelchtermans

Volgens het decreet bedrijfsinterne Milieuzorg moet **sinds 4 juli 1996 een Milieucoördinator worden aangesteld** in inrichtingen die krachtens het VLAREM I in de eerste klasse zijn ingedeeld (behoudens enkele uitzonderingen). **Vanaf 4 juli 1997 zijn nadere eisen van toepassing zijn o.a. met betrekking tot de opleiding en beroepservaring.**

Sinds vorig jaar organiseert het De Nayer instituut (Hogeschool voor Wetenschap en Kunst), de vzw VIK en de vzw WEL samen een postscolaire opleiding voor het behalen van een door de Vlaamse regering erkend getuigschrift "Milieucoördinator A of B".

Het aantal deelnemers wordt beperkt tot 40; de opleiding zal doorgaan op vrijdagmiddag en -avond (voor A en B) en op zaterdagmorgen(enkel voor A). Ze start op 26 september 1997 en eindigt op 26 juni 1998 met de scriptieverdediging.

Een informatiebrochure of meer inlichtingen kan U bekomen bij de:

vzw Water-Energik-vLario:	Marktplaats 16	tel: 03/353.72.53
	B- 2110 Wijnegem	fax: 03/353.89.91