

## Ecologische structuren binnen het Schelde stroomgebied: een essentiële voorwaarde voor het ecologisch herstel en de veerkracht van het systeem

P. MEIRE <sup>(1)</sup>, P. M.J. HERMAN <sup>(2)</sup> & L. L.P.A. SANTBERGEN <sup>(3)</sup>

<sup>1</sup> Instituut voor Natuurbehoud, Kliniekstraat 25, B1070 Brussel, België

<sup>2</sup> Nederlands Instituut voor Oecologisch Onderzoek, Centrum voor Mariene en Estuariene Oecologie, P.O. Box 140, 4400 AC Yerseke, Nederland

<sup>3</sup> Rijkswaterstaat, Directie Zeeland, Afdeling integraal waterbeheer, Postbus 5014, 4330KA Middelburg, Nederland

### INLEIDING

De voorbije jaren is de interesse in het ecologisch herstel van waterlopen zeer sterk toegenomen. Dit is nauw gekoppeld aan de ontwikkeling van het concept integraal waterbeheer. Dit beoogt om een watersysteem zodanig te beheren en te ontwikkelen tot het voldoet aan de doelstellingen van de verschillende gebruiks- en ecosysteemfuncties. Deze ontwikkeling is ook duidelijk merkbaar in de verschillende Schelde symposia. Waar in 1988 op het eerste Schelde symposium het thema nog was: "De Schelde, de toegang tot Antwerpen" evolueerde dit in 1991 naar "De Schelde, perspectieven voor ecologisch herstel" en in 1995 naar "integraal waterbeheer Schelde-estuarium". Het thema van het vierde symposium "De sterke schouders van het Scheldebekken" wil de druk op het systeem vanuit ontwikkelingen in industrie en transport, landbouw, bevolking etc. in kaart brengen. Hiermee wil men verkennen of de Schelde wel die sterke schouders heeft om die druk te trotseren. Gezien het verleden overduidelijk aangetoond heeft dat dit niet het geval is, is de cruciale vraag wat essentiële voorwaarden zijn voor het ecologisch herstel dat gezien wordt als een belangrijk onderdeel van die sterke schouders. Zuivering van afvalwater is een *conditio sine qua non* maar, is het een voldoende voorwaarde? De voorbije jaren blijkt uit onderzoek steeds duidelijker dat dit niet het geval is. Ecologisch herstel vereist eveneens de aanwezigheid van ecologische structuren, van habitats.

In dit artikel worden ecosystemen en hun verschillende functies in een breder kader gesitueerd waarna dieper wordt ingegaan op de rol van habitats in het functioneren van het watersysteem. Op basis hiervan worden dan de mogelijkheden voor herstel van het bekken verkend en worden enkele concrete herstelprojecten voor het estuarium toegelicht.

### ECOSYSTEMEN IN BREDER PERSPECTIEF

De Schelde is sinds eeuwen van zeer groot belang voor de economische ontwikkeling van verschillende steden en gewesten die langs haar oevers liggen. Toch voldeed de natuurlijke rivier onvoldoende aan de steeds toenemende eisen van transport, industrie en landbouw. Het resultaat is het bekende beeld van de huidige, bijna over zijn volledige lengte gekanaliseerde rivier

met een slechte waterkwaliteit. Ook nu nog worden steeds nieuwe ingrepen gepland en uitgevoerd. De verdiepingswerken van de Westerschelde zijn pas begonnen, de boorspecie van de vaste oeververbinding zal in het estuarium worden gestort, de aanleg van een getijdendok ter hoogte van Doel is door de Vlaamse Regering goedgekeurd, er komt een nieuwe sluis te Asper op de Bovenschelde etc.. Al deze ingrepen zijn essentieel om de economische ontwikkeling in stand te houden en worden verantwoord op basis van kosten baten analyses. De milieukosten die een gevolg zijn van een verdere aantasting van het ecosysteem worden niet of nauwelijks in rekening gebracht. Nochtans leveren deze ecosystemen ons veel "goederen en diensten" die noodzakelijk zijn voor het voortbestaan van onze maatschappij. Ecosysteem goederen (bv. voedsel) en diensten (bv. verwerken van afval) omvatten de voordelen die de mens direct of indirect heeft ten gevolge van ecosysteem functies. Ecosysteem functies omvatten zowel de habitats op zichzelf als de biologische of systeemkenmerken en de verschillende ecosysteem processen. Deze kunnen globaal opgedeeld worden in vier grote groepen: i) regulatorische functies; ii) habitat functies; iii) productie functies en iv) informatie functies (naar De Groot, 1997). Regulatorische functies verwijzen naar de mogelijkheid van processen in natuurlijke en half-natuurlijke systemen die bijdragen aan een gezonde omgeving door zuivere lucht water en bodem te leveren. Dit omvat bv. water regulatie door de mogelijkheid van ecosystemen om de waterstromen te bufferen en zo de omgevingsvariaties te verminderen, maar evenzeer nutriënten kringlopen (opslag, transformatie en eliminatie) die bijdragen tot het permanent ter beschikking zijn van essentiële nutriënten, zelfreiniging, biogeochemische cycli, klimaatregulatie en biologische controle via voedselweb interacties etc. Habitat functies omvatten vooral de rol van habitats als refugia en kinderkamers. De productiefuncties zijn vanzelfsprekend en omvatten voedselproductie, ruwe materialen als hout, huiden, diverse stoffen etc.. De informatie functies omvatten de genetische informatie, recreatieve, culturele, wetenschappelijke en educatieve functies.

Constanza et al. (1997) hebben voor het eerst geprobeerd om een coherente en wereldwijde inschatting te maken van de economische waarde van 17 "ecosysteem diensten" voor 16 verschillende ecosystemen. Deze bedraagt  $33 \cdot 10^{12}$  US\$ per jaar, wat bijna het dubbel is van het globaal bruto nationaal product

dat rond de  $18 \cdot 10^{12}$  US\$ per jaar ligt. Niet alle ecosystemen dragen evenveel bij aan dit cijfer. Uit Tabel 1 blijkt de enorme waarde van wetlands en estuaria. Hoewel zowel de methodologie van deze benadering als de beschikbare gegevens voor veel kritiek vatbaar zijn en men zich dus niet op dat ene getal moet vastpinnen, maakt het in ieder geval duidelijk dat ecosysteme diensten een belangrijke bijdrage leveren aan het menselijke welzijn op deze planeet. Immers, wanneer bepaalde ecosystemefuncties, na bv. het verlies van een habitat, niet meer vervuld worden, zullen ze moeten vervangen worden door menselijke activiteiten die effectief geld kosten. Verlies van overstroombare gebieden zal resulteren in een daling van de veiligheid ten aanzien van overstromingen en moet gecompenseerd worden door dure waterbouwkundige werken. Het verlies van het zelfreinigend vermogen van waterlopen resulteert in het verdwijnen van verschillende andere functies (visserij, recreatie etc.) en vereist een hogere investering in waterzuivering. Bovendien kunnen we stellen dat veel ecosysteme diensten niet substitueerbaar zijn en dat er dus uiteindelijk geen menselijke welvaart mogelijk is wanneer ecosystemediensten wegvallen door verlies aan habitats en soorten. Daarom moeten we het natuurlijke kapitaal, de ecosystemen, die deze goederen en diensten levert, het nodige gewicht geven in onze besluitvorming, anders zal de huidige en toekomstige welvaart verminderen. Een duurzame ontwikkeling van het Scheldebekken is dus niet mogelijk zonder het herstel van de ecosysteme diensten en functies. Het is immers de natuur zelf die de sterke schouders van het bekken moet vormen om aan alle druk te weerstaan.

Tabel 1a: Overzicht van de gemiddelde totale waarde van verschillende ecosystemen (naar Constanza et al., 1997).

Habitat	Waarde per ha (\$/ha/j)	totale waarde (\$/j x 10 <sup>9</sup> )
Zee	577	20.949
estuaria	22.832	4.110
Land	804	12.319
bos	969	4.706
wetlands	14.875	4.879
akkerland	92	128
Totaal		33.268

Tabel 1b: Overzicht van de gemiddelde totale waarde (in \$/ha/jaar) van verschillende ecosysteme-diensten voor drie verschillende ecosystemen (naar Constanza et al., 1997).

	gas uit- wisseling	verstoring- regulatie	water- regulatie	water bevoor- rading	nutrient cycling	afval verwerking	Totaal
estuaria	0	567	0	0	21.000		22.832
wetlands	133	4539	15	3800		4177	14.785
rivieren	0	0	5445	2117		665	8498

## HET RIVIER-ESTUARIUM-KUSTZEE CONTINUÛM

In dit verhaal zal de economische valuatie van de verschillende functies en diensten niet verder uitgewerkt worden maar zullen we enkele functies van het aquatisch ecosysteem en van de oeverzones verder analyseren. Daarvoor is het belangrijk om eerst het rivier-estuarium-kustzee continuüm te schetsen. Input vanaf het land van water, sediment en allerlei stoffen, wordt via een fijnmazig netwerk van waterlopen (en riolen) afgevoerd en komt zo uiteindelijk in de grotere rivieren, in de Schelde zelf, het Schelde estuarium en de Noordzee terecht. Recente budget studies tonen aan dat slechts een deel van de geloosde vrachten uiteindelijk de zee bereiken, de rest is vastgelegd of geëlimineerd binnen het systeem zelf (Billen & Garnier, 1997). De hoeveelheid materiaal die naar zee wordt afgevoerd hangt dus niet alleen af van de input vanaf het land maar in belangrijke mate ook van de interne processen langsheen het volledige netwerk van waterlopen in het rivierbekken. Deze processen leiden tot transformatie, immobilisatie of eliminatie van elementen gedurende hun transfer van land naar zee. Rivieren en hun oeverzones kunnen bijgevolg worden gezien als filters die elementen van terrestrische oorsprong tegenhouden voor ze de zee bereiken (Fig. 1). De overgang tussen land en zee speelt zich dus eigenlijk niet alleen af in de kustzones of in de estuaria maar langsheen het volledige waterlopenstelsel waardoor we kunnen spreken van het rivier-estuarium-zee continuüm.

Momenteel zien we een toename van de aanvoer van nutriënten naar de zee wat deels te wijten is aan de toegenomen aanvoer van materialen naar het watersysteem toe en anderzijds aan een verlies van de "transformatie en stokage functie" binnen het rivier-estuarium-zee continuüm.

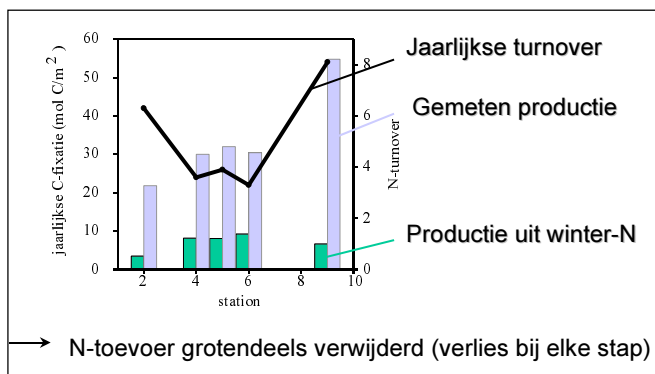
## ECOSYSTEEMFUNCTIES: ENKELE VOORBEELDEN

### Het estuarium

Transformatie, immobilisatie of eliminatie van nutriënten is één van de belangrijke ecosystemefuncties. Voor het Schelde-estuarium werd dit reeds in detail bestudeerd en de resultaten worden kort samengevat. Voor het bekken zelf zijn hieromtrent nauwelijks gegevens voorhanden en zullen we ons dan ook beperken tot een situering van de rol van oevers op basis van literatuurgegevens.



Figuur 4. Jaarlijkse primaire productie in verschillende stations in de Oosterschelde. Zowel de jaarlijkse productie als de voorspelde productie op basis van de in de winter aanwezige N in het water is weergegeven en de turnover rate van N in het systeem. (data J. Kromkamp, NIOO-CEMO)



Deze gegevens wijzen duidelijk op het enorme belang van de transformatieprocessen binnen in het estuarium enerzijds maar anderzijds ook dat, paradoxaal genoeg, een verbetering van de waterkwaliteit resulteert in een nog grotere afvoer van N naar de Noordzee, met eutrofiëring van de kustzee tot gevolg. Inderdaad rivieren voeren grote hoeveelheden nutriënten naar zee. Voor 1990 werd geschat dat zo'n 905.000 ton stikstof via de rivieren in de Noordzee terecht kwam. Dit is ongeveer 4 maal meer dan in de jaren 30 (NSTF, 1993). Die toename van nutriënten resulteert in een hogere primaire productie, vooral in een smalle zone langsheen de kusten en in de pluim van grote rivieren. Deze primaire productie wordt ook gekarakteriseerd in een verschuiving van de fytoplankton gemeenschappen. Een door diatomeën gekarakteriseerde fytoplankton gemeenschap en daarop prederende copepoden worden vervangen door fytoplankton met een dominantie van niet diatomeeën, zijnde vooral flagelaten, blauwwieren etc, met een toenemend belang van het microbiële voedselweb. Dit heeft negatieve consequenties naar de hogere trofische niveaus en kan uiteindelijk ook tot lagere zuurstofconcentraties of zelfs anaërobie leiden met alle gevolgen van dien (Billen & Garnier, 1997).

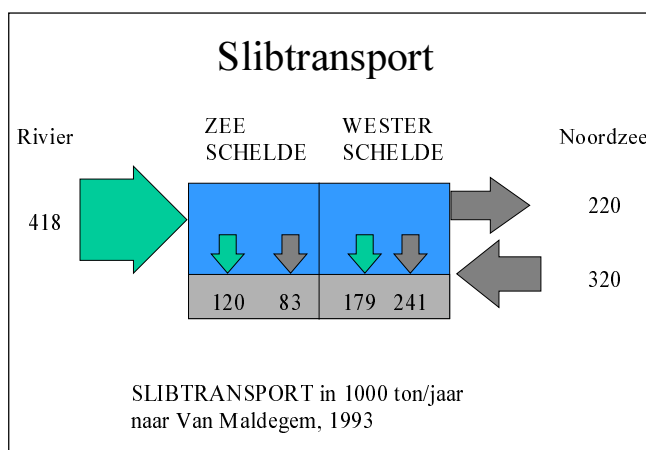
Vanuit de Noordzeeconferentie zijn dan ook duidelijk doelstellingen geformuleerd om de verdere belasting van het systeem tegen te gaan. De verschillende verdragspartijen van de Internationale Commissie ter Bescherming van de Schelde hebben de verklaringen en aanbevelingen van de Ministeriële Conferenties over de Bescherming van de Noordzee onderschreven (m.n. de laatste te ESBJERG DK 8-9 juni 1995) en zullen nu de nodige saneringsmaatregelen moeten nemen.

N transport naar de Noordzee kan beperkt worden door enerzijds de input te reduceren door de zuivering van industrieel en huishoudelijk afvalwater en het reduceren van de verliezen vanuit de landbouw. Het is evenwel vrij waarschijnlijk dat de huidige maatregelen onvoldoende zullen zijn en dat de reducties niet zullen gehaald worden. Bovendien tonen Billen & Garnier (1997) inderdaad aan, via een modelmatige benadering, dat bv. het verwijderen van N via het algemeen toepassen van tertiaire zuivering, geen significante impact zou hebben op de eutrofiëring van de kustzee! Het verwijderen van P vanuit alle puntbronnen, gecombineerd met herstel van natuurlijke oevers zou evenwel

leiden tot een drastische reductie van de algenbloei.

Niet alleen in nutriënten cycli speelt het estuarium een belangrijke rol, maar ook in de sediment dynamiek. Immers grote hoeveelheden slib worden door de rivier en de zee in het estuarium aangevoerd. Door de specifieke condities in het estuarium, met name in de zone van het troebelheidsmaximum, gaat veel van dit slib bezinken (Fig. 5). Dit leidt tot nautische problemen en het slib moet dan ook verwijderd worden uit de toegangsgeulen tot de sluisen van de Antwerpse haven (Claessens & Devroede, 1996). De aanvoer van slib vanuit het bekken is toegenomen door lozingen van afvalwater maar ook door grotere erosie in het bekken door onaangepaste landbouwvoering en toegenomen piekdebieten. Anderzijds is het areaal aan slikken en schorren waar veel van het slib van nature gaat bezinken, de voorbije eeuw met meer dan 30% gereduceerd en de resterende gebieden zijn zeer sterk opgehoogd (bv. het Verdrongen Land van Saeftinge).

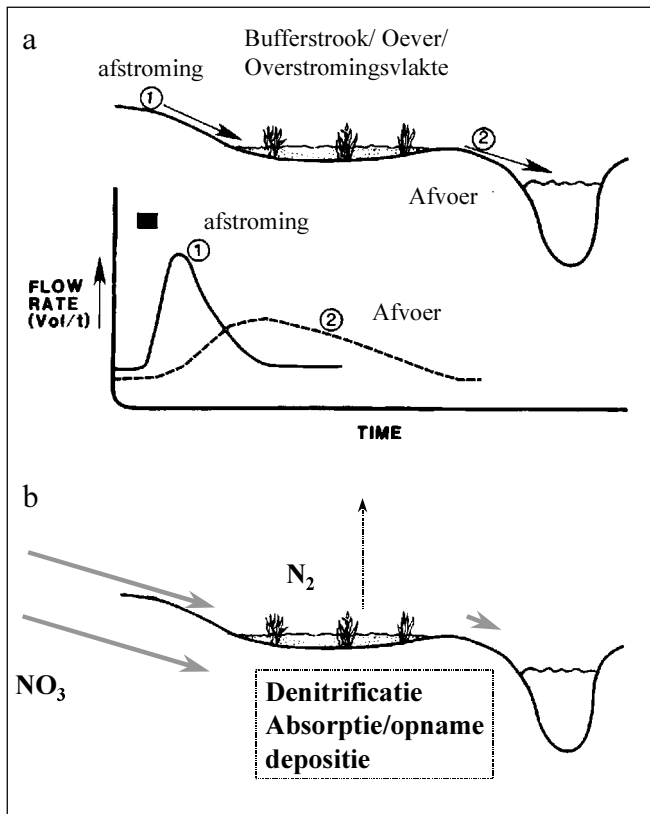
Figuur 5: Slibtransport in het Schelde-estuarium. De aanvoer vanuit het bekken en de zee is weergegeven evenals de hoeveelheden die bezinken in de Beneden-Zeeschelde en de Westerschelde. De kleur van de pijl geeft de oorsprong van het materiaal aan. (naar Van Maldegem, 1993).



### HET BEKKEN

De oevers vormen de overgang tussen water en land en zijn vaak gekarakteriseerd door een specifieke flora en fauna. In het kader van deze bespreking omvatten oevers alle gebieden die permanent of tijdelijk onder invloed van het water staan, dit omvat dus zowel de oever s.s. als bv. grotere overstromingsgebieden of alluviale vlaktes. Die oevers spelen een essentiële rol in het watersysteem. Vooreerst hebben ze een bufferende rol in de watercyclus. Water dat afstroomt kan opgevangen worden vooraleer het in de waterloop terecht komt wat de piek in de waterafvoer onder invloed van een bui sterk gaat verzwakken (Fig. 6a). Daarnaast kunnen ook door het water meegevoerde nutriënten via adsorptie of depositie tijdelijk aan het systeem worden onttrokken of voor stikstof definitief worden verwijderd via denitrificatie (Fig. 6b). De efficiëntie van oeverzones ook wel bufferstroken genoemd is momenteel onderwerp van veel onderzoek. De retentiecapaciteit van bufferstroken is afhankelijk van veel verschillende factoren zoals de lokale hydrologische toestand, geomorfologische kenmerken, aanwezigheid van vegetatie, de belasting zelf etc. Toch blijkt een bufferstrook van

Figuur 6a: Situering van de rol van oevers in de buffering van het afstromende water (a) en in de retentie van nutriënten die afspoelen of doorsijpelen naar de waterloop (b).



Tabel 2. Overzicht van de hoeveelheid materiaal die na een overstroming in de oeverzone van een traject van de Adour (F) achtergebleven is. (SM Suspended Matter; TPN Total Particulate Nitrogen, gem. het gemeten transport in het betrokken riviertraject, sed. De hoeveelheid gesedimenteerd in de oever)(naar Brunet et al., 1994).

Juni vloed			
SM	TPN		
gem.	sed.	gem.	sed.
26684	25%	59.1	14%

hoeveelheden materiaal in Mg =  $10^6$  g  
 lengte rivier traject = 17 km  
 oppervlak oevers = 10 ha

een meter tot enkele meter in staat om het grootste deel van de aanvoer van nutriënten te verwerken (voor een overzicht zie bv. Deweer & Meire, 1997; Orleans et al., 1995). De voorbije decennia zijn door diverse ingrepen oevers verdwenen en binnen landbouwgebieden loopt het drainagewater rechtstreeks vanuit de drainagebuis in de waterloop waardoor hoge concentraties nutriënten worden geloosd.

Oevers vormen niet alleen een buffer voor stoffen die naar de waterloop toestromen maar kunnen ook in belangrijke mate stoffen uit de waterloop halen bv. bij overstromingen. Tabel 2 geeft

een overzicht van de hoeveelheid sediment en particulier stikstof die achterbleef op de oevers van de Adour (F) over een traject van 17 km, met een totale oppervlakte van ongeveer 10 ha (Brunet et al., 1994). Die percentages zijn uiteraard bijzonder significant en betekenen een enorme reductie van de afstroming van materiaal naar de benedenstroomse gedeelten. De retentiecapaciteit van de waterlopen wordt goed gevat in het concept van de nutriëntenspiraal (Newbold, 1992)(Figuur 7). Een gegeven nutriënt atoom kan verschillende keren de nutriëntencyclus doorlopen (opname, afgifte, remineralisatie) terwijl het stroomafwaarts wordt meegevoerd. Dit kan gevisualiseerd worden als een spiraal. De compactheid van de spiraal wordt bepaald door de snelheid waarmee het atoom zich stroomafwaarts beweegt. Dit is afhankelijk van de waterbeweging en van de snelheid van de cyclus zelf. Hieruit blijkt duidelijk dat de interne recycling zeer belangrijk is, dit is de turnover die hierboven reeds werd aangehaald. De nutriënten blijven evenwel niet alleen in de waterkolom maar worden door overstromingen ook op de oevers afgezet. Wanneer een atoom hier opgenomen wordt in bv. struiken of bomen dan wordt de spiraal heel compact. Het duurt zeer lang voor het atoom weer zal afgevoerd worden in de waterkolom.

Figuur 7: Schematische weergave van de nutriënten spiraal in een waterloop (Naar Newbold, 1992).



Het moet duidelijk zijn dat ecosystemen een aantal cruciale functies vervullen maar binnen het Scheldebekken is de efficiëntie van het systeem sterk afgenomen door o.a. het verlies aan habitats en een verminderd functioneren van de overgebleven gebieden. Eén van de meest essentiële gevolgen van het menselijke ingrijpen is het vergroten van de verliezen in de cycli die het systeem karakteriseren. Het zijn precies die grotere verliezen in het systeem die voor problemen gaan zorgen. In de watercyclus zien we dat een groter verlies van water door het versneld afvoeren van water en het verminderen van de buffercapaciteit bovenstrooms, tot overstromingen benedenstrooms gaat leiden en dat er daardoor ook tekorten kunnen zijn in droogteperiodes. De snellere afspoeling kan ook extra erosie met zich mee brengen. Het verlengen van de nutriëntenspiraal door verminderde turnover binnen het aquatisch systeem zelf en door de beperking van de uitwisseling tussen waterloop en oever, gecombineerd met een grotere zijdelingse belasting resulteert in een groot verlies van nutriënten uit het systeem met

het probleem van de eutrofiering als gevolg. Wat betreft de sedimenten resulteert een groter verlies van materiaal uit het bekken in een versnelde sedimentatie in o.a. de benedenloop wat tot nautische en ecologische problemen kan leiden en in extremis zelfs tot problemen met de waterafvoer en dus de veiligheid. Het hoeft geen betoog dat dit alles belangrijke economische consequenties heeft.

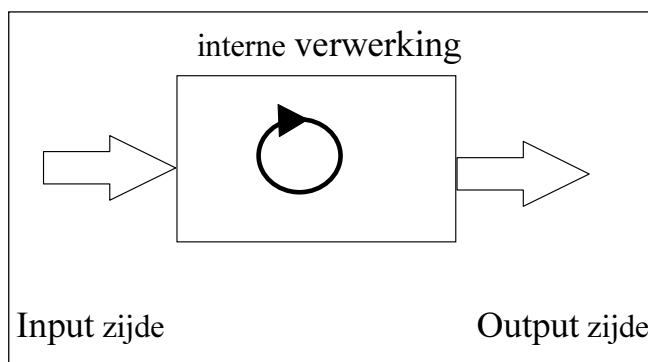
## TOEKOMSTPERSPECTIEVEN

### De basis voor ecologisch herstel

Binnen het bekken wordt werk gemaakt van waterzuivering en een betere milieureglementering en de resultaten in de vorm van een verbetering van de waterkwaliteit zijn dan ook reeds zichtbaar (Soetaert & Herman, 1995; Vandamme et al., 1995, zie elders in dit volume). Toch verwachten we een toenemende druk op het systeem door o.a. de resterende emissies, het ruimte beslag binnen het bekken door allerlei socio-economische ontwikkelingen met een duidelijke habitat degradatie tot gevolg en niet op zijn minst door het ingrijpen in de waterbalans door capteren van water voor landbouw, drinkwater, scheepvaart etc. De toekomstperspectieven zijn dan ook somber, niettegenstaande de betere waterkwaliteit, tenzij de rol van het ecosysteem zelf naar waarde geschat wordt. Inderdaad de summierre bespreking van enkele ecosysteemprocessen geeft duidelijk de grote potentiële rol aan van het ecosysteem in de "verwerking" van nutriënten, slib en water. Het is dan ook duidelijk dat ecologische structuren een sleutelrol moeten spelen bij het uitwerken van een herstelplan voor het Scheldebekken en dit niet alleen omwille van de biodiversiteit.

De kern voor het ecologisch herstel kunnen we dan ook heel simpel weergeven (Fig. 8). Een habitat wordt als een black box voorgesteld met een input en output van materiaal en een interne verwerking. Gebaseerd op het simpele idee dat menselijke ingrepen resulteren in grotere verliezen uit het systeem is de basisdoelstelling die moet nagestreefd worden, de reductie van de verliezen op het niveau van het stroombekken. Dit kan door de input te verminderen en/of de interne verwerking te stimuleren binnen een habitat. Op vlak van nutriënten en sedimenten moeten de emissies verder worden gereduceerd. Het is onverantwoord dat het water van Brussel en andere steden nog ongezuiverd in het Scheldebekken geloosd wordt. Vervolgens moet de afvoer uit het systeem, de verliezen worden gereduceerd. Dit kan gedeeltelijk via het bevorderen van de interne verwerking. Hiertoe is een bepaalde oppervlakte habitat nodig met specifieke kenmerken. Het verlagen van de troebelheid in het Schelde-estuarium zou kunnen leiden tot grotere primaire productie en dus grotere turnover van nutriënten. Het verminderen van de afvoersnelheid van water kan de nutriëntenspiraal compacter maken etc.. De ecologische doelstellingen zijn dan relatief simpel te definiëren door voor een (deel)stroombekken een bepaald hydrogram of een sedigram te bepalen, dit is de hoeveelheid water of sediment die kan afgevoerd worden, of de nutriëntenvracht uit het bekken. Op basis hiervan kan dan modelmatig worden nagegaan welk scenario van bv. emissiebeperking en uitbreiding van habitats het meest aan de doelstelling beantwoordt (bv. Billen & Garnier, 1997).

Figuur 8. Schematisch overzicht van het ecosysteem met de input, output en interne verwerking van materiaal.



Het is onmogelijk om hier in detail in te gaan op de verschillende mogelijkheden voor ecologisch herstel. Voor het estuarium worden een aantal lopende projecten kort gesitueerd. De herstel mogelijkheden voor het bekken worden niet behandeld maar zijn in essentie te vergelijken met die voor het estuarium.

### Schelde-estuarium

Langsheen het Schelde-estuarium worden momenteel verschillende projecten van habitat herstel uitgevoerd. In het kader van het project AMIS (Algemene Milieu Impact Studie Sigmaphan) (Meire et al., 1997) werden langsheen de Zeeschelde reeds heel wat milieuvriendelijke oevers aangebracht tijdens onderhoudswerken. Die zijn er vooral op gericht om schorerosie te voorkomen of tegen te gaan. Het omvat enerzijds een project van slikfixatie door aanplant van biez en ondertussen meerdere kilometers rijspakwerk (Hoffmann et al., 1997). Het rijspakwerk wordt in terrasvorm aangebracht waardoor een geleidelijke glooiing ontstaat en slib kan sedimenteren tussen het pakwerk. Op die manier krijgen we een slik in plaats van een vrij steriele steenbestorting.

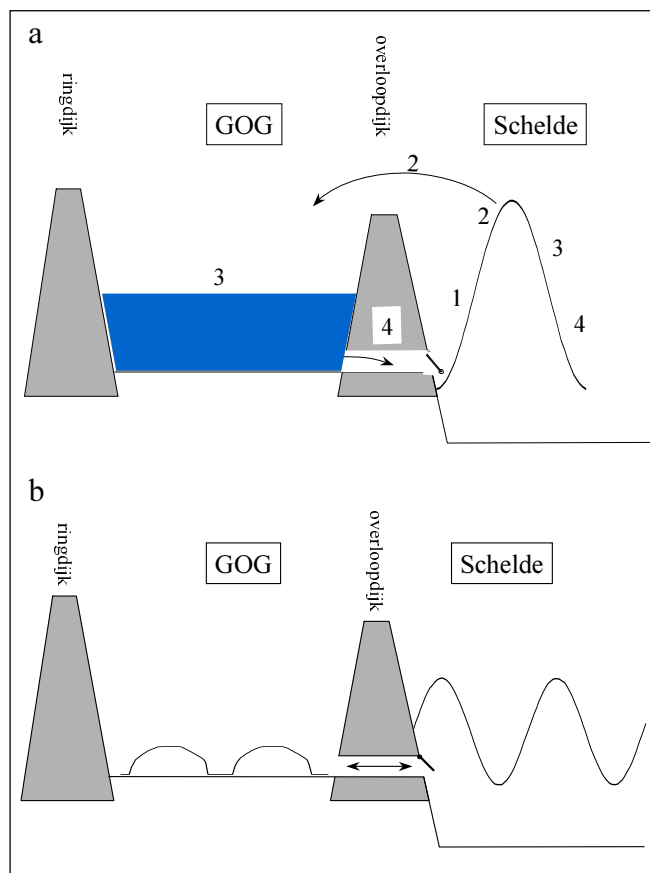
Natuur- en milieuwinst kan echter vooral ontstaan tijdens de aanleg van nieuwe dijken. Bij de bouw van de dijk zelf kunnen verschillende inrichtingsalternatieven worden uitgevoerd, zoals met terrasbouw wat de ontwikkeling van slik of schor mogelijk maakt (Hoffmann et al., 1997). De grootste winst valt evenwel te halen door dijkherlocatie. Hierbij wordt de nieuw aan te leggen dijk meer landinwaarts gelegd waardoor aan rivierwinning gedaan wordt. Verschillende projecten van zowel dijkinrichting als -herlocatie in het kader van de afwerking van het Sigmaphan langsheen de Zeeschelde doorlopen momenteel de verschillende administratieve stappen voor het bekomen van een bouwvergunning.

Een bijzondere mogelijkheid voor habitat herstel binnen het kader van het Sigmaphan vormen de gecontroleerde overstromingsgebieden (GOG) (Castelijn & Kerstens, 1988). Dit zijn laaggelegen onbewoonde polders die naast de rivier liggen. Ze worden omgeven door een grote ringdijk op Sigmahoogte. De rivierdijk is evenwel lager en bij een stormvloed zal het rivierwater de polder inlopen over de overloofdijk heen. Hierdoor gaat stroomopwaarts van het GOG het hoogwater minder snel stijgen omdat het meeste water de polder invloeit. Tijdens laagwater loopt de polder terug leeg via grote sluizen in de dijk zodat het GOG terug zijn bergingscapaciteit heeft tegen het volgende hoog-

water (Fig. 9a). Het huidig landgebruik in de polder is puur agrarisch. Een alternatieve inrichting van deze GOG's maakt het mogelijk een grote winst voor natuur en milieu te realiseren. Vroeger was het de gewoonte op veel plaatsen langsheen de Zeeschelde om in de winter, op zijn minst in de periode van springtij de laaggelegen graslanden langsheen de rivier te laten overstromen teneinde de graslanden te bemesten. Die gebieden werden vloeimeersen genoemd. Ze werden bevoeid via kleine sluisjes in de dijk. Dit principe zou men terug kunnen toepassen in de GOG's. Dit kan op verschillende manieren. Voor eerst kan het principe van de vloeimeersen terug ingevoerd worden (dit werd verlaten vooral omwille van de slechte waterkwaliteit). Hierbij wordt de relatie tussen rivier en vallei terug een beetje hersteld en kunnen vochtige meersen ontstaan met een grote biologische waarde. Die gebieden kunnen belangrijke paaiplaatsen zijn voor vele soorten vissen. Een stap verder is het invoeren van een getij in het GOG (Fig. 9b). Een dergelijk gecontroleerd gereduceerd getij is dus een inrichtingsvariant van een GOG ten behoeve van natuurontwikkeling. *Gecontroleerd* slaat op de gecontroleerde inlaat van water in de polder via sluisen in de dijk; *Gereduceerd* slaat op het feit dat de tijamplitude sterk gereduceerd is in vergelijking met die van de Schelde zelf. Dit heeft twee redenen: het hoogwater in de polder mag zo weinig mogelijk van de komberging van het GOG wegnemen teneinde de veiligheidsfunctie niet te reduceren; ten tweede moet het tij in de polder de overspoelingsduur van de buitendijkse gebieden zo goed mogelijk benaderen wat alleen kan gerealiseerd worden via een gereduceerd getij (Hennissen & Meire in prep.) (Fig. 9b). Door de introductie van getij in de polder kan zich hier een volledig schor gaan ontwikkelen en kan een optimale uitwisseling tussen de Zeeschelde en het GOG ontstaan. Verwacht wordt dat dit niet alleen belangrijk is voor de biodiversiteit maar ook voor het estuarine functioneren, door de rol die dit soort gebieden spelen in de nutriëntencycli binnen het systeem. In 1998 wordt nog een definitieve beslissing verwacht rond de inrichting van het overstromingsgebied Kruibeke-Bazel-Rupelmonde met een gecontroleerd gereduceerd getij. Het herstel van natuurwaarden in het estuarium zoals hierboven aangegeven vereist op sommige plaatsen zeer specifieke maatregelen waarvan het rendement nog niet altijd gekend is. Daarom werd door de Afdeling Natuur van AMINAL samen met Rijkswaterstaat Directie Zeeland een project uitgewerkt "Marsh Amelioration along the River Schelde" (MARS) dat door de EU in het kader van LIFE-natuur wordt gefinancierd. Dit project omvat 4 verschillende deelprojecten die elk een andere maatregel voor schorherstel inhouden en elk op zich als een pilootproject moeten worden gezien. De pilootprojecten omvatten:

- het afgraven van schorren, die hoog opgeslibd zijn, om het herstel van een aantal vegetaties te krijgen,
- het herstellen van schorren die gedegradeerd zijn door storten of opspuiten
- het herstellen van schorren door het terug openen en open houden van de geul
- het maken van een schor met een gecontroleerd gereduceerd getij om na te gaan hoe de koppeling van schorvorming en waterbeheersing mogelijk is (het concept van gecontroleerd gereduceerd getij).

Figuur 9: Schematische weergave van de werking van een gecontroleerd overstromingsgebied (a) en het concept van een gecontroleerd gereduceerd getij (b).



De uitvoering van dit project heeft veel vertraging gekend maar zal hopelijk tegen 2001 voltooid zijn.

Naar aanleiding van de verruimingswerken in de Westerschelde werd door het Vlaams Gewest een belangrijk som geld ter beschikking gesteld van de Nederlandse overheid om een natuurherstelplan uit te voeren in de Westerschelde teneinde de negatieve gevolgen van de verdieping op natuur en milieu te compenseren. Hiertoe werd een plan opgesteld waarin verschillende opties van ontpolderen waren opgenomen. Dit heeft echter tot zoveel commotie geleid dat de optie ontpolderen, althans voorlopig, verlaten werd en een natuurcompensatieprogramma werd goedgekeurd waarin vooral op zichzelf waardevolle projecten van binnendijkse natuurontwikkeling zitten. Dit is echter een gemiste kans omdat de mogelijkheid om ingrepen op systeemniveau (het verdiepen en daarop volgend onderhoudsbaggerwerk) te compenseren op niveau van het systeem verlaten is. De verwachte afname van slikken en schorren en ondiepwater zones zal dan ook vermoedelijk leiden tot een vermindering van het draagvlak van het estuarium. Bovendien kan gesteld worden dat het voor een duurzame ontwikkeling en beheer van het Schelde-estuarium beter is om een natuurherstelplan niet te beperken tot de Westerschelde, maar om de Westerschelde en de Zeeschelde als één natuurlijk systeem te beschouwen. Zo hebben bijvoorbeeld maatregelen om het vergroten van de veiligheid tegen overstromingen in combinatie met natuurontwikkeling bovenstrooms meer rendement dan beneden-

strooms. Daarentegen is het versterken van de kraamkamerfunctie is het meest zinvol in het brakwatergedeelte van het estuarium. Behoud en ontwikkeling van zoutwater schorren kan logischerwijze alleen in de Westerschelde plaatsvinden. Hopelijk zal de lange termijn visie Schelde estuarium die nu samen door Nederland en Vlaanderen zal uitgewerkt worden met een coherent plan naar voor komen en zal dan ook het maatschappelijk draagvlak gevonden worden om dit te realiseren.

### De kosten van ecologisch herstel

Uit het voorgaande moet het duidelijk zijn dat wetlands langsheen het ganse stroomgebied van bijzonder groot belang zijn voor het herstel van het stroomgebied. We hebben erop gewezen dat ze een bijzonder belangrijke economische functie leveren maar bovendien zijn ze ook als maatregel het goedkoopst. Om dit te situeren zijn in tabel 3 de marginale kosten weergegeven van verschillende maatregelen die bijdragen tot de reductie van de N vracht in een Zweeds stroomgebied (Fleischer et al., 1994). Hieruit blijkt duidelijk dat de aanleg van wetlands het goedkoopst is maar het is meteen ook duidelijk dat het uiteraard niet de enige maatregel is die moet genomen worden.

Tabel 3. Marginale kosten (in Zweedse Kronen) en maximale reductie van de stikstofvracht bij verschillende maatregelen die kunnen getroffen worden om de N-vracht naar Laholm Bay (S) te reduceren (Naar Fleischer et al., 1994)

Maatregel	Marginale kost (SEK/kg N)	Max N reductie (ton N)
Aanleg van Wetlands in de landbouwsector	4	430
waterzuivering	12 - 1950	1625
Verkeer	50 - 200	600
	190 - 1620	325
Totaal	4 - 1950	2980

### ALGEMEEN BESLUIT

In dit artikel hebben we proberen aan te geven dat ecosystemen verschillende vitale functies vervullen en dat een verminderd functioneren resulteert in extra economische kosten. Bijgevolg moet een coherente visie over het herstel van het Scheldebekken worden opgesteld waarin maximaal rekening wordt gehouden met de mogelijkheden van ecologische structuren. Dit vereist ruimte voor natuurlijke habitats, iets wat in het dichtbevolkte Scheldebekken niet voor de hand liggend is. Toch is het inschakelen van ecosysteemprocessen economisch zeer aantrekkelijk, maar het kan geen alternatief zijn voor emissiereductie. Verder onderzoek zal nodig zijn om de optimale combinatie van maatregelen en beheersalternatieven uit te werken.

### REFERENTIES

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.

Billen, G. & J. Garnier. (1997), The Phison River plume: coastal eutrophication in response to changes in land use and water management in the watershed. *Aq. Micr. Ecol.* 13: 3-17.

Brunet, R.C., G. Pinay, F. Gazelle & L. Roques (1994), Role of the floodplain and riparian zone in suspended matter and nitrogen retention in the Adour river, South-West France, *Reg. Rivers: Res & Manag.* 9: 55-63.

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

Claessens, . & M.P. Devroede. (1996), Beneden-Zeeschelde: slibproblematiek. Pp. 73-79 in referatenboek derde Schelde symposium, WEL.

Constanza, R. et al. (1997), The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387, 253-260.

De Groot, R. (1997), Valuing natural ecosystems: from local services to global capital. Position paper for the European Symposium on Environmental Valuation, Vaux de Cernay (F).

Deweere, A & P. Meire. (1997), Mogelijke rol van bufferzones in de reductie van nutriëntenaanvoer naar waterlopen: een literatuurstudie. Rapport Instituut voor Natuurbehoud, Brussel, IN97.02.

Fleischer, S., A. Gustafson, A. Joelsson, C. Johansson & L. Stibe. (1994), Restoration of wetlands to counteract coastal eutrophication in Sweden. Pp. 901-907 in Mitsch, W.J. (Ed.) *Global Wetlands: Old World and New*, Elsevier Science.

Heip, C.H.R., N.K. Goosen, P.M.J. Herman, J. Kromkamp, J.J. Middelburg & K. Soetaert (1995), Production and consumption of biological particles in temperate tidal estuaries. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 33: 1-149.

Hennissen, J. & P. Meire, (in prep.) Het toepassen van een gecontroleerd, gereduceerd getij in de polder van Kruikebeke Bazel en Rupelmonde: situering van de technische mogelijkheden en beperkingen. Rapport Instituut voor Natuurbehoud.

Hoffmann, M., W. Graré & P. Meire. (1997), De oevers langs de Zeeschelde: van uniformiteit naar structuurdiversiteit. *Water* 16: 138-146.

Meire, P., M. Starink & M. Hoffmann. (1997), Integratie van ecologie ien waterbouwkunde in de Zeeschelde: aanleiding tot en situering van het onderzoek milieu-effecten Sigmaplan (OMES). *Water* 16: 147-165.

Newbold, J.D. (1992), Cycles and spirals of nutrients. Pp. 379-408 in Calow P. & G.E. Petts (eds.) *The rivers handbook, hydrological and ecological principles*. Blackwell Scientific Publications, Oxford.

Noth Sea Task Force. (1993), North Sea Quality Status report 1993. Oslo and Paris Commissions, London, Olsen & Olson, Fredensborg, Denmark.

Soetaert, K & P.M.J. Herman. (1995), Nitrogen dynamics in the Westerschelde estuary (SW Netherlands) estimated by means of the ecosystem model MOSES. *Hydrobiologia*, 311: 225-246.

Orleans, A.B.M, F.L.T. Mugge, P. Vos & W. ter Keurs. (1995), Bufferstroken langs watergangen. Een mogelijkheid om de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater te verminderen? *Landschap* 12: 47-62.

Van Maldegem, D. (1993), De slibbalans van het Schelde-estuarium. Studierapport Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, Nota GWA0-91.081.

Vandamme, S., P. Meire, . 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.