



De ontwikkeling van een streefbeeld voor het Schelde estuarium op basis van de ecosysteemfuncties, benaderd vanuit de functie natuurlijkheid

Eric de Deckere & Patrick Meire

Inhoudsopgave

INHOUDSOPGAVE.....	1
1 INLEIDING.....	3
2 ECOSYSTEM HEALTH	7
3 ESTUARIENE ECOSYSTEEMFUNCTIES.....	11
3.1 HANDHAVING VAN DE BIODIVERSITEIT.....	11
3.2 GEBIED VOOR ZELDZAME EN BEDREIGDE SOORTEN	13
3.3 HABITAT VOOR RESIDENTE SOORTEN EN SOORTEN DIE TIJDELIJK IN HET GEBIED VERBLIJVEN	15
3.4 NUTRIËNTEN CYCLI	17
3.5 UITWISSELING VAN GASSEN MET DE ATMOSFEER	18
3.6 KLIMAATREGULATIE	19
3.7 WATERZUIVERING	19
3.8 WATER REGULATIE EN WATERVOORZIENING.....	20
3.9 BUFFER VOOR NATUURLIJKE FLUCTUATIES	21
3.10 BESCHERMING TEGEN EROSIE	22
3.11 SEDIMENT OPVANG.....	22
3.12 BODEMVORMING	23
3.13 RECREATIE	24
3.14 CULTURELE ASPECTEN	24
3.15 VOEDSEL PRODUCTIE.....	24
3.16 ANDERE MATERIALEN.....	24
3.17 SAMENVATTING ECOSYSTEEMFUNCTIES	24
4 ECOSYSTEEMDOELSTELLINGEN EN KNELPUNTEN PER ZONE	26
4.1 ZONE 0: HET BOVENSTROOMSE BEKKEN	26
4.2 ZONE 1: DE ZOETWATERZONE OP DE ZEESCHELDE VAN GENT TOT DE MONDING VAN DE DURME	27
4.3 ZONE 2: DE ZONE MET WISSELENDE SALINITEIT, VANAF DE MONDING VAN DE DURME TOT AAN DE BELGISCH-NEDERLANDSE GRENS	27
4.4 ZONE 3: HET BRAKKE GEDEELTE VAN DE WESTERSCHELDE VAN DE GRENS TOT AAN HANSWEERT	28
4.5 ZONE 4: HET ZOUTE GEDEELTE VAN DE WESTERSCHELDE VAN HANSWEERT TOT AAN VLISSINGEN	28
4.6 ZONE 5: DE MONDINGSZONE MET DE VLAKE VAN DE RAAN.....	29
5 NAAR EEN STREEFBEELD VOOR HET SCHELDE ESTUARIUM	30
6 LITERATUUR.....	31

Voorwoord

Dit rapport is een aanzet om te komen tot een zo objectief mogelijke ontwikkeling van een streefbeeld voor het Schelde estuarium in 2030 vanuit het oogpunt “natuurlijkheid”. Hierbij is gebruik gemaakt van de “goods & services” van een ecosysteem. Dit principe is bekend geraakt door een publicatie in Nature (Costanza et al, 1997), waarbij deze “goods & services” op een globale schaal werden gekoppeld aan economische waarden. Bij deze willen de auteurs benadrukken, dat ze met de beschreven methode deze koppeling niet wensen te maken.

Dit werk werd gedaan in het kader van het project 'Langetermijnvisie voor het Schelde estuarium' en werd gefinancierd door Rijkswaterstaat Directie Zeeland. De begeleiding vanuit de werkgroep 'Natuurlijkheid' was in handen van Jon Coosen, Ben de Winder en Jill Slinger.

De overige leden van de werkgroep, B. Dauwe, M. de Boer, H. de Preter, L.J. Draaijer, S. Nollet en T. Ysebaert worden bedankt voor hun inbreng op de werkgroepvergaderingen en de workshop. Daarnaast wil ik de volgende personen bedanken voor het geven van advies en beantwoorden van de vele vragen: Tammo Bults (RIKZ), Peter Herman (NIOO-CEMO), Carlo Heip (NIOO-CEMO), Jack Middelburg (NIOO-CEMO), Stefan Van Damme (U.I.A.) en Erika Van den Bergh (IN).

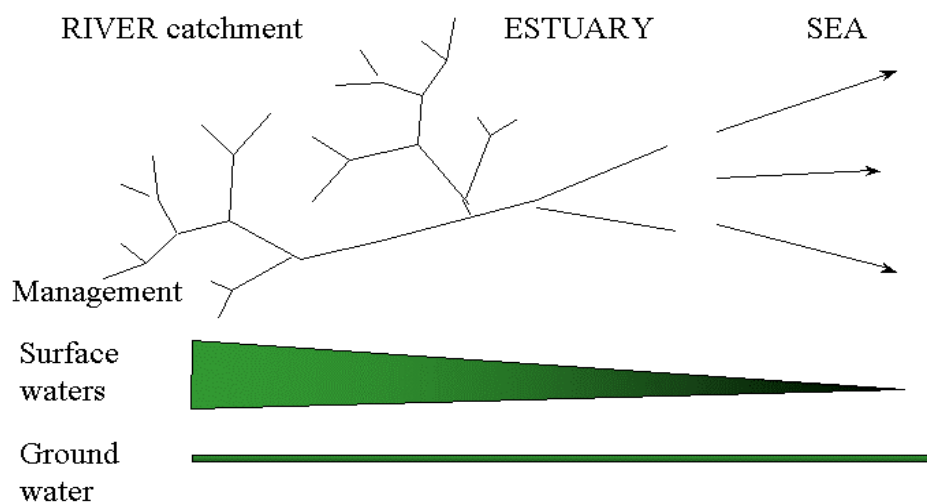
1. Inleiding

In het kader van de Lange Termijn Visie voor het Schelde estuarium dient een streefbeeld te worden geformuleerd waaraan het Schelde ecosysteem in 2030 kan of moet voldoen uit het oogpunt van natuurlijkheid. Dit streefbeeld is een belangrijk uitgangspunt om de te verwachten effecten van mogelijke ingrepen in het Schelde estuarium aan te toetsen, en de grenzen te bepalen van wat er mogelijk is. Het streefbeeld wordt in andere studies ook opgesteld vanuit het oogpunt van respectievelijk veiligheid en toegankelijkheid. Deze drie uitgangspunten zijn echter niet volledig los te koppelen van elkaar. Er kunnen namelijk zowel gemeenschappelijke als tegenstrijdige belangen zijn. Daarom zal er hier en daar in deze studie een link gelegd worden naar de andere twee aspecten. Als basis voor het streefbeeld natuurlijkheid wordt er uitgegaan van de volgende hoofddoelstelling: Een ecologisch gezond, compleet en duurzaam functionerend estuarien ecosysteem waarvan de kwaliteit is gewaarborgd. Dit kan verder gespecificeerd worden in doelstellingen, welke over het algemeen ook in het beleid voor estuariene ecosystemen, met name de Schelde, worden geformuleerd (Bisseling et al., 1994; de Winder, 2000):

1. Er moet ruimte zijn voor natuurlijke dynamische processen, omdat deze essentieel zijn voor de morfologische en natuurlijke karakteristieken van het estuarium.
2. De estuariene gradiënt dient behouden te worden. Dit punt verdient extra aandacht omdat het Schelde estuarium een van de laatste estuaria in Europa is, waar nog een volledige gradiënt van het zoute tot en met het zoete getijdengebied aanwezig is.

Deze doelstellingen zijn vrij abstract, maar kunnen op verschillende wijzen verder worden uitgewerkt, waarbij er gekeken wordt wat de mogelijkheden en / of verwachtingen voor de Schelde zijn. Hierbij moet gezegd worden dat het Schelde estuarium momenteel een weinig gewaardeerd ecosysteem is dat, ondanks de grote antropogene belastingsdruk, een enorme natuurlijke potentie in zijn gebied herbergt. Daarnaast heeft het Schelde estuarium invloed op het ecosysteem van de Noordzee. Aan dit ecosysteem worden veel eisen gesteld, maar ingrepen om de kwaliteit van het Noordzee ecosysteem te verbeteren of te beschermen zijn op directe wijze nauwelijks uitvoerbaar (fig 1). De beste wijze om dit ecosysteem op een positieve wijze te beïnvloeden is door de uitwisseling met de aanpalende estuaria en rivieren te optimaliseren. Ingrepen in deze systemen zijn beter haalbaar. Het uitwerken van de ecosysteemdooelstellingen is tevens van belang, omdat dit in de nabije toekomst voor elk systeem dient te gebeuren verband met de Europese kaderrichtlijn water.

River-estuary-sea continuüm



Figuur 1: De beheersbaarheid van oppervlaktewater en grondwater van bronbeekjes in de bovenlopen van een stroomgebied tot aan de zee, waarin het stroomgebied uit mond (ref).

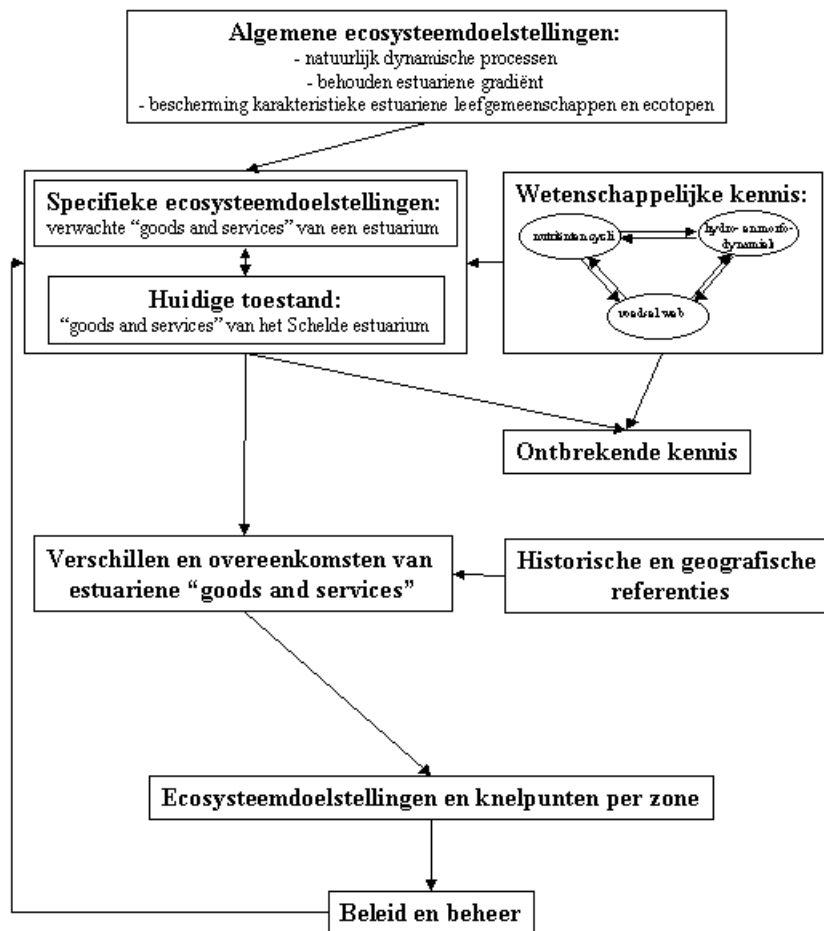
De doelstellingen voor een goed functionerend ecosysteem kunnen worden getoetst op basis van fysische, chemische en / of biologische indicatoren. Oorspronkelijk werd hierbij slechts gekeken naar een beperkt aantal indicatoren, namelijk diegene die het meest karakteristiek waren voor een gezond systeem (Boulton, 1999). Centraal hierin staat de terugkeer van aaiibare soorten, zoals de zalm en steur voor de Rijn, de zalmforel voor de Grote Meren in de V.S., de zeehond voor de Deltawateren, de otter en de bever voor diverse zoetwatersystemen etc. Het voordeel hiervan is dat deze soorten veelal aan de top van de voedselketen staan en daardoor het meest gevoelig voor verstoringen en dus een goede indicator voor de toestand van het systeem. Daarnaast kunnen deze indicatoren rekenen op een brede maatschappelijke waardering, waardoor ingrepen om het systeem te verbeteren kunnen rekenen op een brede steun bij de bevolking. Het belang van een brede maatschappelijke erkenning is duidelijk gebleken bij de plannen voor het ontpolderen van gronden langs de Schelde, in het kader van het natuurherstelplan naar aanleiding van de verdieping 48'-43'. Het nadeel van alles toe te spitsen op dit soort indicatoren is enerzijds de kans dat ingrepen te veel worden toegespitst hierop, waarbij de toestand van het gehele systeem ondergeschikt raakt aan deze indicatoren en andere functies mogelijk in het gedrang komen. Anderzijds is het wel of niet kunnen voorkomen van deze indicator soorten afhankelijk van de huidige potentie (kwaliteit en areaal) van het betreffende ecosysteem, de mogelijkheid tot uitwisseling met andere populaties en de kwaliteit van verbindingroutes en van andere leefgebieden. Uiteindelijk worden deze soorten als een soort metafoor gebruikt, waarbij de achterliggende gedachte is dat de terugkeer van deze soorten alleen mogelijk is als de kwaliteit van het systeem voldoende is. Ingrepen, die gedaan worden in het kader van een mogelijke terugkeer van deze soorten, kunnen dus ook succesvol zijn zonder terugkeer hiervan. Rond de jaren negentig werd vervolgens de AMOEBE en RIVPACS ontwikkeld (Laane & Peeters, 1993; Reynolds, 1993). In deze aanpak worden meerdere soorten en parameters geselecteerd, die representatief zijn voor het ecosysteem. Op basis van referentiewaarden en de huidige situatie kan vervolgens voor elke variabele een doelstelling bepaald worden. De methode is, mits de goede variabelen gekozen zijn, een bruikbare methode voor beleidsmakers, omdat het ecosysteem op een eenvoudige manier wordt gepresenteerd en de doelen duidelijk zijn. Het nadeel van deze methode is echter dat, door de versimpelde weergave, natuurlijke variatie, natuurlijke dynamiek en complexe interacties niet kunnen worden meegenomen, omdat deze onvoorspelbaar zijn (Laane & Peeters, 1993). Deze methode is dan ook niet bruikbaar voor een dynamisch ecosysteem, zoals een estuarium, waar continu diverse successieve stadia van ecotopen aanwezig zijn.

Zowel voor de AMOEBE benadering als voor andere methoden waarop doelstellingen worden geformuleerd (Cooper et al., 1994; Hart et al., 1993), wordt in meer of mindere mate gebruik gemaakt van historische en / of geografische referenties. Voor het Schelde estuarium werden diverse studies uitgevoerd, waarbij een referentiebeeld geschetst werd op basis van geografisch, TYPOS (Cadée, 1994), of historische gegevens, Ecosysteemvisie Delta (Bisseling et al., 1994). Uit de geografische referentie studie bleek dat het Schelde estuarium gekarakteriseerd wordt door een sterke antropogene beïnvloeding zowel op de morfodynamiek als op de waterkwaliteit (Cadée, 1994). Op basis van de referentiedata lijkt deze antropogene invloed alleen een effect te hebben op de vispopulatie, maar dit beeld wordt vertekend door de grote variatie in de verschillende estuaria. Bovendien zijn niet alle gegevens even uitgebreid bestudeerd in de vergeleken estuaria, waardoor het moeilijk is om daaraan conclusies te verbinden. Hieruit blijkt dat op basis van de geografische data moeilijk een beeld geschetst kan worden hoe het Schelde estuarium eruit moet of kan zien, wel kan gekeken worden of het Schelde estuarium niet te veel buiten de range valt van de andere estuaria. Ook andere studies, waarin verscheidene estuaria werden vergeleken, geven in dat verband interessante informatie (Frankignoulle et al., 1998; Middelburg et al., 2000; Van Damme et al., 2000). Een historisch referentiebeeld aan de andere kant geeft een goed beeld van hoe het Schelde estuarium veranderd is in de afgelopen decennia, maar door de enorme toename van de menselijke populatie in het stroombekken zijn veel van deze veranderingen onherroepelijk, waardoor dit ook geen goed beeld oplevert van de huidige mogelijkheden. Het gebruik van referentiebeelden is bruikbaar om de huidige toestand van het ecosysteem te kwalificeren, maar door de geografische en historische verschillen in het totale stroombekken van het estuarium is het niet mogelijk doelstellingen/criteria te ontwikkelen op basis van deze referenties.

De laatste jaren bestaat er steeds meer het besef dat de kwaliteit van een ecosysteem en de doelstellingen moeten worden gebaseerd op alle functionele en structurele karakteristieken van het systeem (Daily, 1997a; de Groot, 1992; Rapport et al., 1998). Deze karakteristieken waarborgen aan de ene kant de biodiversiteit van het systeem en aan de andere kant resulteren ze in een aantal 'goods' en 'services', waarvan de mens gebruik maakt, en waarvoor in een aantal gevallen een bepaalde biodiversiteit essentieel is (Daily, 1997b; Mooney & Ehrlich, 1997). Deze karakteristieken zijn een uitermate geschikt middel om de kwaliteit van het ecosysteem te beoordelen en om een streefbeeld te formuleren. Deze benadering staat bekend als het 'ecosystem health' principe en wordt in hoofdstuk 2 verder toegelicht. In hoofdstuk 3 worden vervolgens de 'goods and services' van het Schelde estuarium besproken, waarbij er gebruik gemaakt wordt van de bestaande wetenschappelijke kennis. Vervolgens wordt er gekeken of deze 'goods and services' functioneren, zoals we, mede op basis van gegevens uit historische en geografische referenties aangevuld met wetenschappelijke kennis, verwachten dat ze in het Schelde ecosysteem zouden moeten zijn. Uiteindelijk wordt er op basis van dit functioneren per zone een aantal doelstellingen geformuleerd (hfdst 5)(fig. 2). Het Schelde estuarium is hiervoor opgedeeld in een vijftal zones, op basis van de eerder gevoerde discussies binnen de LTV werkgroep en de Korte termijn visies (Van Damme et al., 2000). Deze zones zijn:

1. de zoetwaterzone op de Zeeschelde van Gent tot de monding van de Durme
2. de zone met variërende saliniteit, hoge turbiditeit en grote invloed van de Rupel, namelijk vanaf de Durme monding tot aan de Belgisch Nederlandse grens
3. het brakke gedeelte van de Westerschelde vanaf de grens tot aan Hansweert
4. het zoute gedeelte van de Westerschelde van Hansweert tot Vlissingen
5. de mondingszone met de vlakte van de Raan

Uiteraard is een visie voor het estuarium niet compleet, zonder dat de rest van het stroombekken erbij betrokken wordt. Daarom is zone 0, het totale stroombekken zonder het estuarium, toegevoegd bij de bespreking van de doelstellingen. De functies dienen als onderbouwing en argumentatie om het belang van de doelstellingen aan te geven. Uiteindelijk leidt dit tot een globaal streefbeeld per zone en voor het gehele Schelde estuarium, dat op een kwantitatieve wijze via modelering verder kan worden uitgewerkt.



Figuur 2: Een schematische weergave van de wijze waarop in dit rapport de ecosysteemdooelstellingen voor het Schelde estuarium zijn verkregen.

2. Ecosystem Health

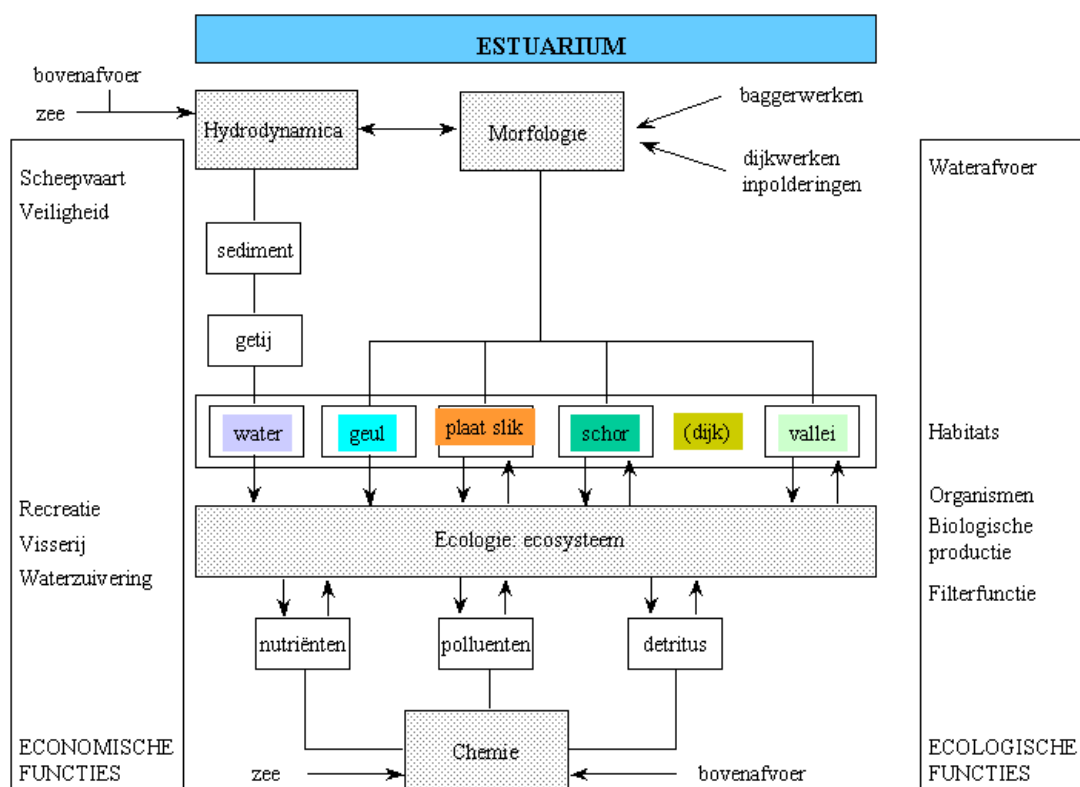
Als basis voor de ecosysteemdooelstellingen voor het Schelde estuarium gaan we ten eerste uit van de koppeling Schelde – Noordzee, waarbij we aannemen dat de Noordzee een kwetsbaar en moeilijk beheersbaar systeem is. De ecosysteemdooelen voor de Noordzee, inclusief de mariene delen van de deltawateren, worden momenteel geformuleerd in het kader van nieuw te ontwikkelen beleid voor het Nederlandse deel van de Noordzee. De Noordzee vervult belangrijke ecologische en economische functies, waarvan het belang internationaal erkend wordt. De functies worden in belangrijke mate beïnvloed door de uitwisseling met de omliggende landen via de op de Noordzee uitkomende rivieren en estuaria. Enerzijds vindt er transport plaats van water, slib, nutriënten en polluenten naar de Noordzee, anderzijds vindt er transport plaats van zand richting de rivieren en estuaria, en als laatste vindt er een uitwisseling plaats van flora en fauna tussen de systemen. De uitgestrektheid van de Noordzee en de koppeling aan de oceanen zorgt ervoor dat de Noordzee een enorme buffercapaciteit heeft, waardoor nadelige effecten ten gevolge van het niet voldoende functioneren van de uitwisseling met de estuaria of rivieren kan worden opgevangen. Zodra deze buffercapaciteit niet meer toereikend is, treden nadelige verschijnselen op, zoals toxische algenbloeien, lage garnalen vangst etc. Voor het goed functioneren van het Noordzee ecosysteem is het daarom uitermate belangrijk dat er gekeken wordt naar het functioneren van de aangrenzende rivieren en estuaria, in dit rapport dus het Schelde estuarium, welke veel makkelijker beheerbaar zijn (figuur 1). De ecosysteemdooelen van de Noordzee resulteren in vereisten voor de koppeling van het Schelde ecosysteem aan het Noordzee ecosysteem in de vorm van bijvoorbeeld een beperking van de afvoer van nutriënten en toxische stoffen naar de Noordzee of een behoud van arealen ondiep water gebied, die een broedkamerfunctie hebben voor diverse vissoorten en garnalen die normaal gezien op de Noordzee voorkomen.

Natuurlijk is de kwaliteit van het Schelde ecosysteem niet alleen belangrijk voor het ecosysteem Noordzee, maar ook voor het systeem zelf. Een tweede uitgangspunt, om dat te benadrukken, is het behoud van de karakteristieke estuariene biodiversiteit. Biodiversiteit is een belangrijke eigenschap van een systeem in relatie tot het natuurlijk functioneren (Mooney & Ehrlich, 1997). Het belang hiervan wordt in vele nationale en internationale verdragen erkend. Op globale schaal wordt de biodiversiteit door de hoge belasting van de diverse ecosystemen onherstelbaar aangetast. Lokaal kan met zeer veel inspanning getracht worden om de aangerichte schade te herstellen, maar het is duidelijk dat de bestaande biodiversiteit niet verder mag worden aangetast. Dit resulteert ook weer in diverse eisen aan het ecosysteem van het Schelde estuarium.

Beide uitgangspunten kunnen worden samengevat in de twee doelstellingen, zoals deze in de inleiding zijn geformuleerd. Net als voor de Noordzee (Lanters, 1999) pleiten we ervoor om de doelstellingen uit te werken op basis van de functionele en structurele eigenschappen van het ecosysteem. Deze benadering komt overeen met de “Ecosystem Health” benadering.

“Ecosystem health” is een ruimomvattend begrip, waaronder systematische benaderingen worden verstaan die de huidige toestand van een ecosysteem beoordelen, de oplossing helpen vinden voor knelpunten, en het effect van mogelijke ingrepen helpen voorspellen (Rapport, 1992). Hieronder vallen grote monitoringsprogramma's die er vooral op gericht zijn om een inventarisatie te maken van de huidige toestand en knelpunten te signaleren. Voorbeelden hiervan zijn de “National water quality management strategy” in Australië (Hart et al., 1993), het “Environmental monitoring and assessment program” in de V.S. (Whittier & Paulsen, 1992) en de “Estuarine Health Index” uit Zuid-Afrika (Cooper et al., 1994). Daarnaast zijn er ook benaderingen zoals AMOEBA (Laane & Peeters, 1993) en RIVPAK, die de huidige toestand van een systeem vergelijken met een referentiebeeld en daaraan een streefbeeld koppelen. Zoals aangegeven in de inleiding is deze laatste aanpak niet geschikt voor sterk dynamische systemen. Bovendien dekken geen van de genoemde methoden de volledige lading van het begrip “Ecosystem Health”. Binnen “ecosystem health” wordt namelijk gekeken naar de toestand van de functionele en structurele karakteristieken. Een beoordeling hiervan, bijvoorbeeld van een karakteristiek voedselweb, de trofische interacties of de nutriëntencycli, kan niet alleen gebaseerd worden op een aantal indicatoren, zoals in de vernoemde methoden. “Ecosystem health” vraagt veel meer om een integrale

benadering (Munawar, 1993), waarbij zowel gekeken wordt naar de structuur, het functioneren als de veerkracht van het systeem. Een ecosysteem kan vervolgens als goed worden beoordeeld als het voldoende veerkracht (resilience) bezit om zijn functionele (vigor) en structurele (organisation) karakteristieken te behouden bij een bepaalde mate van stress, of zichzelf kan herstellen van externe stress binnen een bepaalde tijd (Costanza & Mageau, 1999; Kolosa & Pickett, 1992). "Vigor" omvat de nutriëntencycli en de primaire en secundaire productie. "Organisation" staat voor de structuur en complexiteit van het voedselweb. "Resilience" is een maat voor de grootte van de stress waarbij er nog herstel mogelijk is van de vitaliteit/kracht en de organisatie en de tijd die nodig is voor dit herstel. Deze drie factoren, vigor, organisation en resilience, worden in belangrijke mate beïnvloed door morfologische processen en structuren (figuur 3).

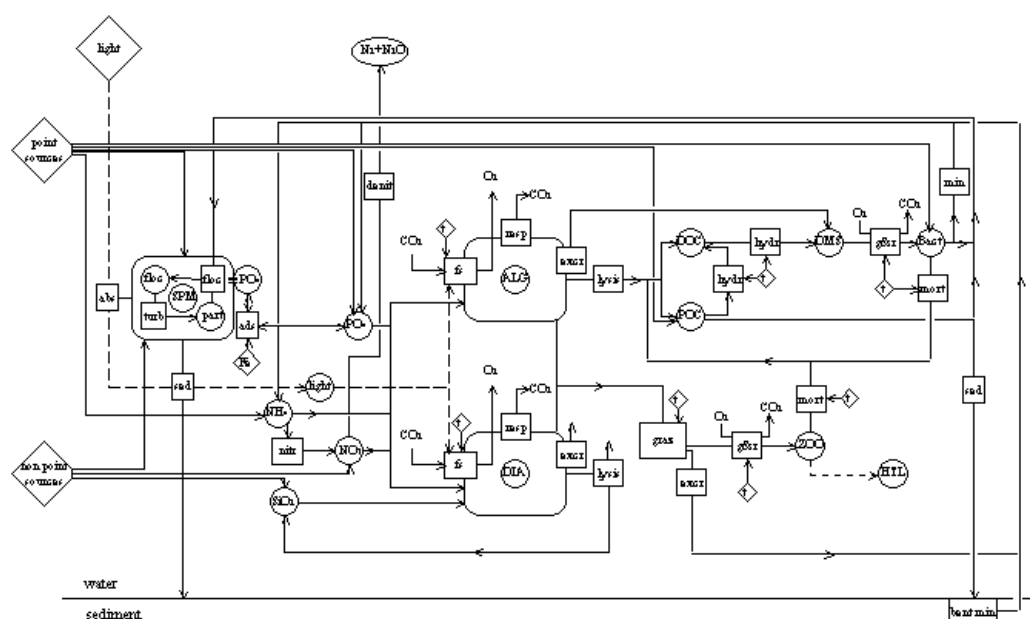


Figuur 3: Schematische weergave van de verschillende componenten van het Schelde estuarium (Meire et al., 1997).

Een beoordeling van de "vigor", "organisation" en "resilience" kan vervolgens gedaan worden door te kijken naar het functioneren van het ecosysteem, wat volgens het "ecosystem health" principe wordt gereflecteerd in aantal functies (services) en producten (goods), welke door het ecosysteem geleverd worden. Elk ecosysteem levert een aantal "goods" en "services" af, en alhoewel deze veelal uit een menselijk oogpunt worden bekeken, zijn ze wel typisch voor het ecosysteem en betekent een achteruitgang van deze functies ook een achteruitgang van het totale ecosysteem (Mooney & Ehrlich, 1997). Het behoud en/of herstel hiervan is dus zowel uit natuurlijk, maatschappelijk als uit economisch oogpunt belangrijk (Costanza et al., 1997; Daily, 1997a). De "goods and services" van het Schelde ecosysteem worden in het volgende hoofdstuk uitgebreid besproken. De beoordeling is echter wel direct gerelateerd aan de functionele en structurele eigenschappen van het systeem welke samen te vatten zijn in een drieluik, namelijk de nutriëntencycli (figuur 4), het voedselweb (figuur 5) en de hydro- en morfodynamiek (figuur 6). Op basis van de wetenschappelijke kennis van dit drieluik kan er enerzijds gekeken worden naar wat de verwachte "goods and services" vereisen van de structuur en het huidige functioneren van het ecosysteem, anderzijds kan dit een beeld geven van de hiaten die er zijn binnen de bestaande kennis. Het beeld wat hieruit ontstaat resulteert in een overzicht van de knelpunten en de mogelijkheid om

ecosysteemdooelstellingen te formuleren per functie of per zone. Dit laatste is gedaan in hoofdstuk 4, waar een prioritering is aangegeven van ecosysteemdooelstellingen per zone, welke belangrijk zijn om het natuurlijk functioneren van het Schelde estuarium te beschermen en te verbeteren.

Deze ecosysteemdooelstellingen worden gebundeld en omgevormd naar een streefbeeld wat dan vervolgens kan dienen als basis voor het beheer en beleid. Als instrument voor de verdediging van het streefbeeld "natuurlijkheid" kan er bovendien gebruik gemaakt worden van diverse nationale en internationale richtlijnen en wetten, waarvan een overzicht in dit rapport ontbreekt, maar waarbij de habitatrichtlijn, de vogelrichtlijn en de Noordzeeconventies zeer belangrijk zijn, onder meer omdat de gehele Schelde is aangewezen als waardevol gebied binnen deze richtlijnen.



Figuur 4: Een schematische overzicht van de nutriëntencycli in een estuarium (ref)

3. Estuariene ecosysteemfuncties

Op basis van de diverse lijsten met ecosysteemfuncties (Costanza et al., 1997; Daily, 1997a; de Groot, 1992) kunnen we voor het Schelde estuarium min of meer 16 functies onderscheiden. De handhaving van de biodiversiteit wordt hierbij als een aparte functie beschouwd, alhoewel er discussie bestaat of dit een functie op zich is of een indicator voor het functioneren van de andere functies (Mooney & Ehrlich, 1997). De eerste drie functies zijn een direct resultaat van de structuur van het ecosysteem en omvatten de "organisation". Dit zijn de primaire uithangborden voor de natuurlijkheid, maar de andere functies zijn indirect gerelateerd aan de structuur en behoren ook aanwezig te zijn bij het natuurlijk functioneren van het ecosysteem. De functies nutriëntencycli (3.4) en waterzuivering (3.7) bijvoorbeeld zijn gerelateerd aan natuurlijke processen, "vigor", waardoor er tevens een effect ontstaat in de vorm van gasuitwisseling (3.5) en klimaatregulatie (3.6). De "vigor" resulteert ook in een aantal producten, die aan het systeem onttrokken kunnen worden (3.15 en 3.16). De veerkracht oftewel "resilience" wordt het meest expliciet vertegenwoordigd in de functie waterzuivering (3.7) en buffering (3.9). De overige functies zijn niet specifiek onder te brengen bij een van deze drie luiken, maar worden ontleend aan een combinatie van vigor, organisation en / of resilience. De laatste vier functies zijn afgeleiden van de overige functies en zijn vooral belangrijk vanuit antropogeen oogpunt. Ze zijn evenwel belangrijk en worden voor de volledigheid meegenomen, maar niet uitgebreid behandeld. Per functie wordt kort besproken wat hieronder verstaan wordt, waarna gekeken wordt hoe de toestand is in het Schelde estuarium. Aan de hand van de huidige toestand en de wenselijke toestand worden knelpunten gesignaleerd die mogelijk door ingrepen verbeterd kunnen worden. Uiteindelijk worden er per functie een aantal doelstellingen gegeven, die in het volgende hoofdstuk verwerkt worden in een gebiedsgerichte benadering.

3.1. *Handhaving van de biodiversiteit*

Algemeen

Elk ecosysteem draagt bij aan de globale biodiversiteit. Het belang van biodiversiteit is enorm groot en wordt dan ook in tal van internationale verdragen meegenomen. Als we op de schaal van een ecosysteem zelf kijken, moet de nadruk liggen op de bij het systeem behorende specifieke diversiteit en niet op een zo groot mogelijk aantal soorten. De handhaving van de specifieke biodiversiteit wordt nogmaals benadrukt door de habitatfunctie van het systeem voor zeldzame soorten en voor soorten die van het systeem afhankelijk zijn. Deze twee punten worden apart behandeld in respectievelijk 3.2 en 3.3. In deze paragraaf ligt de nadruk op het voorkomen van een evenwichtig voedselweb, door de aanwezigheid van alle trofische niveaus. Deze functie wordt door Costanza et al. (1997) biologische controle genoemd en omschreven als trofisch-dynamische regulatie van populaties. In een natuurlijk ecosysteem is er een top-down controle van de lagere groepen in het voedselweb door toppredatoren. Voor een estuarium betekent dit dat fytoplankton en fyto benthos gecontroleerd worden door zooplankton en zoobenthos welk op zijn beurt weer gecontroleerd wordt door vissen en vogels. Aan de top van het estuarien voedselweb staan zeezoogdieren en roofvogels. Beoordelingsmethoden om te kijken of het voedselweb in evenwicht is worden uitgebreid beschreven door Ulanowicz (1986).

Het Schelde estuarium

Langs de saliniteitsgradiënt van de Schelde is er een verschuiving van de fytoplanktongemeenschap van typische zoetwater soorten naar estuariene soorten op de Zeeschelde, waar tevens de grootste primaire productie plaatsvindt. In de zone tussen Hoboken en de Nederlands Belgische grens, met de hoge turbiditeit, sterft de fytoplankton gemeenschap af en is er voornamelijk heterotrofe productie. Op de Westerschelde worden er verder typische zoutwatergemeenschappen gevonden in het fytoplankton. Recente studies tonen ook aan dat de primaire productie door microfyto benthos aanzienlijk kan zijn op de intertidale gebieden in de Westerschelde (Van Damme et al., 2000).

Het macrobenthos vertoont een afnemend aantal soorten in stroomopwaartse richting. Een zeventig tal soorten worden gevonden in de Westerschelde, ongeveer nog 35 in de zone rond de grens en vanaf Hoboken bestaat het macrobenthos nagenoeg uitsluitend uit Oligochaeta.

Het aantal soorten Oligochaeta neemt dan weer wel toe van 3 naar 10 in de richting van Gent. De dichtheid is in het gehele estuarium 10 tot 15 maal hoger in de intertidale gebieden dan in de subtidale gebieden, maar vertoont geen gradiënt over de longitudinale gradiënt in tegenstelling tot de biomassa, die maximaal is in het westelijk en midden gedeelte van de Westerschelde. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door de aanwezigheid van de kokkel, welke 45 tot 50 % van de biomassa vertegenwoordigd. Meer dan 85% van de totale aantallen zijn echter geen filter feeders, maar deposit feeders of surface deposit feeders. Het fytoplankton wordt op de Westerschelde geconsumeerd door de in grote aantallen aanwezige copepoden. Tevens dient het fytoplankton ook als voedselbron voor de grijze garnaal, welke opgroeit in de krekken van de schorren, alvorens naar zee te trekken. De Oligochaeta op de Zeeschelde worden zowel door platvissen (o.a. bot) als door vogels (o.a. wintertaling) gebruikt als voedselbron. Dit is zeer waarschijnlijk ook het geval op de Westerschelde, maar het juiste aandeel wordt momenteel nog bestudeerd. Het is in ieder geval zo dat het aantal waargenomen vissoorten op de Schelde door de verbeterde waterkwaliteit weer is toegenomen. Behalve voor vis is het macrobenthos in de intertidale gebieden van de Westerschelde ook een erg belangrijke voedselbron voor vogels, zoals reeds aangehaald voor de Zeeschelde, en wel voornamelijk voor steltlopers. De hoogste aantallen steltlopers worden dan ook waargenomen op de plaatsen met de hoogste macrobenthos biomassa. Aan de top van de voedselketen zien we in de Westerschelde de terugkeer van een kleine populatie zeehonden.

De huidige situatie versus de gewenste situatie

Alle trofische niveaus worden aangetroffen in het huidige voedselweb van het Schelde estuarium, maar er zijn enkele groepen die duidelijk niet voldoen aan de verwachting. Op het laagste niveau is het waarschijnlijk zo dat de kringloop op de Zeeschelde te veel gebaseerd is op een microbiële voedselweb. Een heterotrofe kringloop is een normaal voorkomend verschijnsel in een estuarium, maar de zone waarover deze domineert is door de organische belasting veel groter dan mag verwacht worden en blijft op de Zeeschelde beperkt tot de lagere microbiële organismen. De hogere trofische niveaus zijn zo goed als afwezig in de waterkolom. Een ander gevolg van de hoge verontreinigingsgraad is te vinden in de samenstelling van het macrobenthos op de Zeeschelde. Er is een duidelijk gebrek aan soorten, bijna uitsluitend Oligochaeta (Seys et al., 1999). Alhoewel de waterkwaliteit in de laatste jaren is verbeterd, heeft dit geen verandering in soorten heeft opgeleverd, wel een toename van de biomassa van de Oligochaeta, wat ook resulteerde in de toename van de wintertalingen. Het is niet bekend welke soorten macrobenthos er precies verwacht kunnen worden, maar een toename van de diversiteit, o.a. door een toename van bivalven en crustacea, wordt zeker verwacht bij een verdere verbetering van de waterkwaliteit (Seys et al., 1999). Ook in de zone tussen de grens en Hoboken is het aantal soorten laag, wat mede veroorzaakt wordt door de verontreiniging, maar dit ligt hier desondanks in de lijn van de verwachting, omdat deze zone zeer onderhevig is aan stress ten gevolge van saliniteitsveranderingen en hoge turbiditeit. Aan de andere kant is de hoge turbiditeit op de Westerschelde, vooral in het oosten, een limiterende factor voor filter feeders. De turbiditeit wordt daar o.a. veroorzaakt door de baggeractiviteiten, waardoor het organisch gedeelte van de suspended solids relatief afneemt en de filterefficiëntie te laag wordt voor de filter feeders. Het voorkomen van filter feeders is ook belangrijk in verband met de nutriëntenkringloop (3.4). De link naar hogere trofische niveaus is wel aanwezig, maar behalve voor vogels is hierover tot nog toe te weinig bekend om te zien of het totale voedselweb goed opgebouwd is. Op basis van de voedselweb beoordelingsmethoden (Ulanowicz, 1986) kan er mogelijk gekeken worden of dit voor alle zones het geval is.

Doelstelling

- Een verbetering van de waterkwaliteit op de Zeeschelde, zodat er mogelijk meer soorten macrobenthos kunnen voorkomen.
- Een verbetering van de waterkwaliteit zodat de hogere trofische niveaus weer in het pelagiaal van de Zeeschelde terugkeren
- Een verlaging van de turbiditeit op de Westerschelde, om de omstandigheden voor filter feeders te verbeteren. Dit resulteert mogelijk ook in een hoger biomassa van het macrobenthos in het oostelijk gedeelte.

3.2. *Gebied voor zeldzame en bedreigde soorten*

Algemeen

Deze functie wordt ook wel weergegeven als een bron voor zeldzaam genetisch materiaal, waarbij de achterliggende gedachte is dat dit genetisch materiaal een belangrijke bron van informatie kan zijn voor medische en agrarische wetenschappen (Costanza et al., 1997). Meestal wordt hierbij gedacht aan tropische regenwouden. Een estuarium staat niet zozeer bekend als bron voor zeldzaam genetisch materiaal. Toch heeft elk ecosysteem wel een aantal soorten in zijn areaal welke zeldzaam zijn of in grote mate afhankelijk zijn van dat ecosysteem. Uit het oogpunt van natuurlijkheid is het uitermate belangrijk dat het versnelde uitsterven van soorten, wordt tegengegaan door de omstandigheden voor zeldzame soorten te optimaliseren. Als basis kunnen de diverse rode soorten lijsten gebruikt worden, om aan te geven voor welke soorten een ecosysteem belangrijk is voor het in stand houden van een gezonde populatie van de soort.

Tabel 1: Een lijst van vissoorten die in het Schelde estuarium voorkwamen (†), voorkomen maar zeldzaam zijn (z) of soorten die niet bedreigd zijn, maar waarvoor het Schelde estuarium een belangrijke gebied is op internationaal niveau (n.b.). Van de soorten die niet meer voorkomen zijn er een aantal die internationaal ook bedreigd (CR) of bijna uitgestorven (NT) zijn. DD betekent dat er te weinig data zijn om de internationale bedreiging in te schatten. Opvallend is het vraagteken voor de paling, een soort waarover de laatste tijd verontrustende berichten komen. (Van Damme et al., 2000; Vandelannoote & Coeck, 1998)

Nederlandse naam	Wetenschappelijke naam	code	soort
Bot	Platichthys flesus	z	estuariene soort
Brakwatergrondel	Potamoschistus microps	z	estuariene soort
Stuer	Acipenser sturio	† CR	diadrome soort
Elft	Alosa alosa	† DD	diadrome soort
Fint	Alosa fallax	† DD	diadrome soort
Aal	Anguilla anguilla	n.b.?	diadrome soort
Grote marene	Coregonus lavaretus	†	diadrome soort
Rivierprik	Lampetra fluviatilis	z	diadrome soort
Dunlipharder	Liza ramada	z NT	diadrome soort
Spiering	Osmerus eperlanus	z DD	diadrome soort
Zee-prik	Petromyzon marinus	†	diadrome soort
Atlantische zalm	Salmo salar	†	diadrome soort
Zeeforel	Salmo trutta	†	diadrome soort
Rivierdonderpad	Cottus gobio	z	zoetwatersoort
Karper	Cyprinus carpio	n.b.	zoetwatersoort
Snoek	Esox lucius	n.b.	zoetwatersoort
Bruine Amerikaanse dwergmeerval	Ictalurus nebulosus	z	zoetwatersoort
Serpeling	Leuciscus leuciscus	z	zoetwatersoort
Blankvoorn	Rutilus rutilus	n.b.	zoetwatersoort
Rietvoorn	Scardinius erythrophthalmus	n.b.	zoetwatersoort
Snoekbaars	Stizostedion lucioperca	n.b.	zoetwatersoort
Zeelt	Tinca tinca	n.b.	zoetwatersoort
Koornaarvis	Atherina presbyter	z	brakke juveniele migrant
Diklipharder	Chelon labrosus	z	mariene seizoenale migrant

Het Schelde estuarium

Het Schelde estuarium is het laatste habitat waar de Koornaarvis nog aangetroffen wordt. Deze brengt zijn juveniele levensstadium door in het estuarium. Daarnaast zijn er nog negen andere vissoorten aangetroffen in het Schelde estuarium, die zeldzaam zijn oftewel voorkomen op de rode lijst van vissen voor Vlaanderen of waarvoor het Schelde estuarium internationaal van belang is (Tabel 1)(Van Damme et al., 2000; Vandelannoote & Coeck, 1998). Ook zijn er vroeger een zevental diadrome soorten aangetroffen die, op de Fint na, niet meer gesignaleerd zijn tijdens de laatste twintig jaar of zelfs langer. Als laatste groep zijn er nog een zestal vissoorten, die momenteel niet bedreigd zijn, maar waarvoor de Schelde van internationaal belang is.

Zowel de Westerschelde als de Zeeschelde zijn van internationaal belang voor watervogels. De winteraantallen zijn met een maximum 230.000 individuen zeer hoog. In het gehele Schelde-estuarium werden in de afgelopen jaren 21 soorten aangetroffen, waarvan gedurende een aantal maanden per jaar meer dan 1% van de totale populatie in estuarium verbleef (Tabel 2). Deze lijst zorgt ervoor dat de Schelde op basis van de Ramsar conventie kan aangewezen worden als een zeer belangrijk vogelgebied, net zoals op basis van de vogelrichtlijn.

Uit recente vegetatieopnames op de zoete- en brakwaterschorren langs de Zeeschelde blijkt dat er een negental planten worden gevonden die in Vlaanderen zeldzaam zijn of met uitsterven worden bedreigd (Tabel 3)(pers.med. B. Criel)(Cosyns et al., 1994). Een aantal van deze soorten komt nog wel volop voor op de schorren in de Wester- en Oosterschelde. Daarnaast zijn er op de schorren en slikken ook nog diverse insectensoorten, uit de groep van de slankpootvliegen, loopkevers en spinnen, die zeldzaam zijn of met uitsterving bedreigd worden. Een overzicht hiervan is te vinden in Kuijken (1999). Voor de Westerschelde ontbreken zowel een overzicht van zeldzame planten als insecten.

De huidige versus de gewenste situatie

Uit de lijst van bedreigde soorten blijkt dat bij de vissen voornamelijk de diadrome soorten verdwenen zijn. Dit is te wijten aan de slechte waterkwaliteit, met name lage zuurstofcondities, een verhoogde turbiditeit door baggerwerkzaamheden en een verhoogde slibaanvoer, en fysische barrières in de vorm van sluizen naar het bovenstroomse gebied. Het is niet bekend in hoeverre het gebruik van koelwater door de kerncentrale van Doel een thermische barrière veroorzaakt voor de diadrome soorten. De estuariene soorten zijn zeldzaam geworden door de slechte waterkwaliteit en het verlies aan intergetijdengebied, met name ondiep water en slikken, in de brakke zone. Wat betreft de planten zien we dat vooral soorten, die op lage en dus jonge schorren voorkomen, bedreigd zijn.

Tabel 2: Een lijst van vogelsoorten waarvoor op basis van de Ramsar conventie het Schelde estuarium bescherming geniet, omdat regelmatig meer dan 1% van de totale geografische populatie van het estuarium gebruik maakt (Van Damme et al., 2000). Zonering: 1. Zeeschelde tussen Gent en Durme, 2. Tussen Durme en grens, 3. Van de grens tot Hansweert, 4. Van Hansweert tot Vlissingen, 5. De vlakte van de Raan. Het aangegeven habitat is het belangrijkste habitat in het estuarium, waarvan ze gebruik maken.

Nederlandse naam	Wetenschappelijke naam	zone	Habitat
Lepelaar	Platalea leucorodia	3	Schor
Kolgans	Anser albifrons	3	Schor
Grauwe gans	Anser anser	2-3	Schor
Bergeend	Tadorna tadorna	2-4	Platen en slikken
Smient	Anas penelope	3	Schor
Krakeend	Anas strepera	1-2	
Wintertaling	Anas crecca	1-2	Slikken
Wilde eend	Anas platyrhynchos	1-4	Ondiep water
Pijlstaart	Anas acuta	2-3	
Tafeleend	Aythya ferina	1-2	Ondiep water
Scholekster	Haematopus ostralegus	4	Platen en slikken
Kluut	Recurvirostra avosetta	2-4	Platen en slikken
Bontbekplevier	Charadrius hiaticulata	4	Platen en slikken (zandig)
Zilverplevier	Pluvialis squatarola	4	Platen en slikken (zandig)
Kanoetstrandloper	Calidris canutus	4	Platen en slikken (zandig)
Drieteenstrandloper	Calidris alba	4	Platen en slikken (zandig)
Bonte strandloper	Calidris alpina	3-4	Platen en slikken
Rosse grutto	Limosa lapponica	3-4	Platen en slikken
Wulp	Numenius arquata	3-4	Platen en slikken
Zwarte ruit	Tringa erythropus	3-4	Platen en slikken
Tureluur	Tringa totanus	3-4	Platen en slikken

Tabel 3: lijst van planten die in de Zeeschelde voorkomen maar in Vlaanderen in meer of mindere mate bedreigd zijn. Deze lijst is onvolledig en door het ontbreken van gegevens voor de Westerschelde niet toetsbaar voor het gehele estuarium. De vernoemde soorten van de zout tot brakke slikken en lage schorren komen veelal in ruime mate voor op de Westerschelde en zijn op de Zeeschelde voornamelijk bedreigd door onvoldoende beschikbaar habitat. SB = sterk bedreigd; B = bedreigd; K = kwetsbaar; P = potentieel bedreigd (Cosyns et al., 1994)(mondelinge mededeling B. Criel)

Nederlandse naam	Wetenschappelijke naam	Code	Habitat
Zeerus	<i>Juncus maritimus</i>	SB	brak, hoge schorren
Gewoon kweldergras	<i>Puccinellia maritima</i>	SB	zout tot brak, slik en lage schorren
Driekantige bies	<i>Scirpus triqueter</i>	SB	zoet, verlandingsvegetatie
Zeeweegebree	<i>Plantago maritima</i>	B	zout tot brak, slik en lage schorren
Lamsoor	<i>Limonium vulgare</i>	K	zout tot brak, slik en lage schorren
Zeekraal	Salicornia 'europaea' groep	P	zout tot brak, slik en lage schorren
Ruwe bies	<i>Scirpus tabernaemontani</i>	P	zoet, verlandingsvegetatie
Schorrekruid	<i>Suaeda maritima</i>	P	zout tot brak, slik en lage schorren
Schorrezoutgras	<i>Triglochin maritimum</i>	P	zout tot brak, slik en lage schorren
Spindotterbloem			

Doelstelling

- Het verbeteren van de waterkwaliteit, zodat deze geen belemmering meer vormt voor diadrome en estuariene vissoorten.
- Een reductie van de turbiditeit, met name in de brakke zone, voor terugkeer van de diadrome vissoorten
- De fysische barrières naar het bovenstrooms gebied verwijderen door de aanleg van vistrappen.
- Mogelijkheden creëren voor de vorming van jonge schorren in de brakke zone van het estuarium.
- De uitbreiding van habitats, waarvan de hiervoor genoemde soorten afhankelijk zijn, langs het gehele estuarium. Dit wil dus zeggen een uitbreiding van het areaal intergetijdengebied (zie ook 3.3).

3.3. **Habitat voor residente soorten en soorten die tijdelijk in het gebied verblijven**

Algemeen

Elk ecosysteem vervult een belangrijke habitatfunctie voor soorten die specifiek van bepaalde kenmerken van het systeem afhankelijk zijn (zie ook 3.2). Dit geldt dus zowel voor flora en fauna soorten die hun gehele leven of een gedeelte ervan in het systeem doorbrengen. Het estuarium is een belangrijke habitat voor specifieke plantengemeenschappen op de schorren langs de zoet-zout gradiënt en voor typische estuariene fauna. Daarnaast vervult het estuarium een belangrijke rol als kraamkamer, overwinterplaats, rust- of doortrekgebied. De ondiep water gebieden, de slikken en platen en de schorren zijn belangrijke foerageergebieden voor jonge vis, hyperbenthos en vogels. Deze locaties zijn ook belangrijke rust en rui gebieden voor vogels. Op de slikken en platen en in de ondiep water gebieden komen hoge dichtheden benthos voor. De slikken, platen en schorren zijn de kinderkamers voor diverse vissoorten en hyperbenthos. De schorren zijn bovendien ook een ideale broedlocatie voor talrijke vogelsoorten. Zeezoogdieren daarentegen gebruiken voornamelijk de zandige platen als rust en zoogplaats terwijl ze voornamelijk foerageren in de diepere geulen.

Het Schelde estuarium (tabel 4)

De schorren op de Westerschelde vervullen een belangrijke functie als kinderkamer en fourageerplaats voor grijze garnalen en diverse vissoorten. Ook de zoetwaterschorren langs de Zeeschelde wordt door vissen gebruikt als kinderkamer en fourageerplaats. Het grote areaal schorren in het oostelijk deel van de Westerschelde is een belangrijk gebied voor de overwintering van eenden en ganzen. Naast overwintering worden de schorren ook in de zomer bevolkt door grote aantallen vogels. Langs de Zeeschelde zijn het voornamelijk

eenden die zowel gebruik maken van de schorren als de slikken. Hun aantal verdubbelt in de winter. In het westelijk en midden gedeelte van de Westerschelde komen vooral steltlopers voor die fourageren op het grote areaal slikken. De platen in het oostelijk gedeelte zijn een belangrijk rustgebied voor de kleine populatie zeehonden, die zich in het Schelde estuarium bevinden. Deze platen zijn relatief ongestoord en hebben een relatief steile oever aan de geul kant, waardoor ze redelijk snel het water in kunnen vluchten.

Het voorkomen van de diverse habitats is een resultante van dynamische morfologische processen. Erosie en sedimentatie zorgen er normaal gezien voor dat er een constante uitwisseling is tussen slikken en schorren en tevens dat er verschillende successieve stadia voorkomen van de schorren (Storm, 1999).

Tabel 4: een overzicht van de functies die elk habitat vervult voor de diverse groepen. De laatste kolom geeft aan of deze functie ook sterk afhankelijk is van de aanwezigheid van voldoende en goede gebieden binnendijs, bovenstrooms, op de Noordzee of elders. Planten in ondiep water komen voornamelijk voor op de randen van slikken en platen, maar komen voor zover bekend niet voor in het Schelde estuarium vanwege de hoge turbiditeit.

	schor	slik/plaat	ondiep water	geul	extern
foerageerplaats voor zeezoogdieren				x	x
jonge vis	x	x	x		
hyperbenthos	x	x	x		
vogels	x	x	x		x
verblijfplaats van benthos planten	x	x	x (x)		
rui en rustplaats vogels	x	x	x		x
broedplaats vogels	x				x
kinderkamer vis	x	x			
doortrekroute vis			x	x	x
kinderkamer hyperbenthos	x	x			
rust en zoogplaats zeezoogdieren		x			

De huidige situatie versus de gewenste situatie

Momenteel is het zo dat de waterkwaliteit nog steeds een belangrijke limiterende factor is voor de migratie van vis tussen de Westerschelde en de rest van het bekken. Vooral de zuurstofarme en troebele zone rond de Rupelmonding vormt een barrière. De toestand is aan het eind van de jaren negentig echter wel verbeterd, en zal in de komende jaren nog verbeteren. De terugkeer van trekvis zal dan afhangen van de fysische barrières naar de rest van het stroombekken.

Wat de schorren betreft is er in de laatste jaren een afname van het areaal waarneembaar ten gevolge van erosie. Rekening houdend met de effecten van de huidige verdieping zal het areaal op de Westerschelde de komende jaren nog licht afnemen (Storm, 1999). Het verhinderen van erosie aan de randen door vastlegging van de schorren, heeft tot gevolg dat er geen uitwisseling meer kan plaatsvinden tussen slik en schor. De overgang wordt groter en de kans op het ontstaan van jong schor in deze zone neemt daardoor af. Tevens vond er een versnelde verlanding plaats van de resterende schorren, door verhoogde sedimentatie ten gevolge van de baggerstrategie. Deze is gewijzigd in 1998, maar het effect op de schorren is nog niet bekend.

Tevens is het belangrijk dat de overbruggingsafstand tussen verschillende schorren niet te groot is, zodat migratie tussen de verschillende gebieden mogelijk is. Bovendien bieden kleine geïsoleerde gebieden slechts plaats aan een beperkt aantal soorten. Dit laatste aspect verdient ruime aandacht in studies langs de Zeeschelde (Van den Bergh et al., 1999).

Het totale areaal aan intergetijdengebieden neemt af ten gevolge van de achtereenvolgende verdiepingen. Het verruimen van de vaargeul resulteert in een groter gebied dat vastligt, waardoor de natuurlijke sedimentatie en erosie processen behoorlijk verstoord worden.

Behalve dat areaalvermindering leidt tot een afname van de soorten, rijst steeds meer de vraag hoever de rest van het systeem kan worden gefixeerd, terwijl er toch nog voldoende ruimte moet zijn voor morfologische processen, welke resulteren in de diverse soorten intergetijdengebied en de verschillende successieve stadia schor.

Doelstelling

- Het creëren van voldoende ruimte, zodat morfologische processen kunnen plaatsvinden en een diversiteit garanderen van de diverse habitats.
 - Het behoud van het huidige areaal aan intergetijdegebieden en ondiepwatergebieden in het totale estuarium is een minimale vereiste.
 - Een uitbreiding van schorareaal langs de Westerschelde is wenselijk, maar dit mag niet teveel ten koste gaan van het areaal slikken en platen
- Rustgebieden voor de zeezoogdieren en vogels
- Versnippering van habitats reduceren door het behoud of aanleg van connectors, zie van den Bergh et al. (1999).

3.4. *Nutriënten cycli*

Algemeen

Estuaria spelen een grote rol in de nutriëntencycli. Nutriënten worden vanuit het gehele stroombekken aangevoerd en komen in het systeem terecht. Nitraat en ammoniak worden via verschillende processen in de waterkolom en in de bodem van schorren en slikken omgezet tot stikstofgas, dat diffundeert naar de atmosfeer. De omzetting van nitraat is echter beperkt en bereikt dan ook voor een groot deel de zee. Ammonium en particuliere stikstof daarentegen worden zeer efficiënt gerecycleerd door microbiële processen waarna het opgenomen wordt in de voedselkringloop of begraven wordt (Middelburg & Nieuwenhuize, 2000). Fosfaat verdwijnt uit de waterkolom door fytoplankton bloei of door fysisch-chemische processen in de zone met hoge turbiditeit (Van Damme et al., 2000). Naast fosfor en stikstof speelt ook silicium een belangrijke rol in de nutriëntencyclus. Afhankelijk van de aanvoer van deze drie nutriënten is een van de drie limiterend voor de algenbloei, mits er voldoende licht aanwezig is. Het estuarium zorgt er normaal gezien voor dat er een beperkte maar relatief constante uitspoeling van de nutriënten plaatsvindt naar de Noordzee. Dit kan zowel verstoord worden door te hoge aanvoer van de nutriënten als door verstoring van de interne processen. Uiteindelijk wordt de gehele nutriëntenaanvoer en verwerking gereflecteerd in het voorkomen van algenbloeien op de Noordzee. Deze bloeien vertonen afhankelijk van de aanvoer vanuit de estuaria fosfor, stikstof of silicium limitatie, wat resulteert in het voorkomen van verschillende soorten algen (Billen & Garnier, 1997). Vooral silicium limitatie kan resulteren in het ontstaan van schadelijke algenbloeien.

Het Schelde estuarium

Het Schelde estuarium wordt gekenmerkt door een zeer hoge belasting van het systeem met stikstof en fosfor, zowel via de belasting op de Zeeschelde als door de aanvoer via het Kanaal van Gent naar Terneuzen (Buis, 1999). Ongeveer 25% van de totale stikstof input wordt in het estuarium verwijderd door denitrificatie, waarvan 14 tot 30% plaatsvindt in de intergetijdegebieden (Middelburg et al., 1995; Soetaert & Herman, 1995a). Daarnaast wordt stikstof, dat via diffuse grondstromen in de vorm van nitraat aangevoerd wordt, in de begroeide oeverzones opgevangen (Billen & Garnier, 1997; King & Lester, 1995). Uiteindelijk bereikt nog steeds een groot gedeelte van de stikstof de Noordzee.

Fosfor is voornamelijk aanwezig in de vorm van fosfaat. Op de Boven Zeeschelde is de concentratie veel hoger dan in de rest van het estuarium, door de hoge input vanaf de Bovenschelde. Het fosfaat verdwijnt in stroomafwaartse richting uit de waterkolom, de omstandigheden, waaronder dit precies gebeurt, zijn niet volledig duidelijk, waarschijnlijk spelen precipitatie processen met ijzer hierin een rol (Van Damme et al., 2000; Zwolsman, 1994). In het zeewaartse deel van het estuarium wordt fosfaat voornamelijk opgenomen door het fytoplankton (Zwolsman, 1994).

De extreem hoge aanvoer van nutriënten vanuit het stroombekken op het estuarium kan niet volledig in het systeem verwerkt worden en zorgt er uiteindelijk voor dat er silicium limitatie optreedt in de mondingszone en de kustwateren, waardoor diatomeeën worden verdrongen door andere algen, die dikwijls voor ongunstige neveneffecten zorgen. Lichtlimitatie in de stroomopwaartse gebieden zorgt ervoor dat silicium limitatie pas optreedt in de mondingszone.

De huidige situatie versus de gewenste situatie

De nutriëntenbelasting van het Schelde estuarium is momenteel nog steeds ongewenst hoog. Door verbeterde zuivering zal de belasting verder afnemen, maar dit betekent niet dat de uitvoer naar de Noordzee per definitie ook afneemt. De stikstofcyclus verkeert namelijk in een paradoxale toestand. De hoge belasting en geringe verwerking leiden tot een hoge toevoer naar de Noordzee. Een vermindering van de antropogene input resulteert echter in een verbeterde zuurstofhuishouding, waardoor nitrificatie verbetert, maar denitrificatie in de waterkolom en de intertidale sedimenten afneemt (Buis, 1999; Van Damme et al., 2000). De fosfaat belasting zal ook afnemen door zuivering, maar waarschijnlijk zal er nog nalevering plaatsvinden uit de sedimenten en schorren. Een verdere reductie biedt wel de mogelijkheid om fosfor de limiterende factor te laten worden voor de fytoplankton bloei (Billen & Garnier, 1997).

Doelstelling

- Een vergroting van het areaal intergetijdegebied in het oostelijk gedeelte van de Westerschelde
- en een vergroting van het areaal intergetijdegebied langs de Zeeschelde zal in combinatie met
- een vergroting van de biomassa filterfeeders in het totale systeem resulteren in een grotere stikstof verwijdering (Buis, 1999). Een grote rol is hierin weggelegd voor kokkels en mosselbanken, maar het is niet duidelijk waarom deze laatste niet tot ontwikkeling komen in de Westerschelde. Mogelijk speelt de hoge turbiditeit daarin een rol, waardoor de filterefficiëntie te laag wordt.
- Het verminderen van de turbiditeit is daarom belangrijk.
- Daarnaast moet de aanvoer van nutriënten via punt en diffuse bronnen verminderd worden door respectievelijk een verbeterde zuivering en de aanleg en het behoud van oeverzones. Deze oeverzones dienen minimaal 3 m breed te zijn voor een voldoende verwijdering (Castelle et al., 1994).

3.5. *Uitwisseling van gasen met de atmosfeer*

Algemeen

Ecosystemen leveren een actieve bijdrage aan de samenstelling van gasen in de atmosfeer. Gassen, zoals o.a. zuurstof (O_2) en kooldioxide (CO_2), worden zowel geproduceerd als geconsumeerd. De bijdrage van estuaria aan deze uitwisseling van gasen met de atmosfeer is op globale schaal verwaarloosbaar (Costanza et al., 1997). Lokaal kan dit echter wel een belangrijke bijdrage leveren. De uitstoot van CO_2 vanuit de Europese estuaria wordt bijvoorbeeld geschat op 5 tot 10% van de totale antropogene uitstoot, met de Schelde als absolute topper (Frankignoulle et al., 1998). Desondanks wijkt deze uitstoot niet extreem veel af van de uitstoot welke gevonden werd voor de Amazone, welke een lage antropogene belasting kent. Behalve CO_2 vindt er in estuaria ook uitstoot plaats van lachgas (N_2O), stikstof (N_2) en methaan (CH_4), ten gevolge van de stikstofcyclus en de afbraak van organisch materiaal. De uitstoot van de broeikasgassen, lachgas en methaan, is op globale schaal verwaarloosbaar (Middelburg et al., 1995; Middelburg et al., 2000). De uitwisseling van deze gasen moet niet zozeer als een op zichzelf staande functie gezien worden van het estuarium in relatie tot de gasbalans in de atmosfeer, maar is eerder een resultaat van de zuiverende functie van het systeem.

Het Schelde estuarium

De uitstoot van CO_2 vanuit het Schelde estuarium komt overeen met de uitstoot vanuit zware industrie gebieden. De oorzaak van deze grote CO_2 uitstoot is toe te schrijven aan de enorme koolstofvracht die in het estuarium terechtkomt. Deze wordt daar bijna volledig door bacteriën afgebroken, waarbij er massaal CO_2 vrijkomt naar de atmosfeer. Deze uitstoot wordt bovendien nog versterkt door pH verlagende processen zoals nitrificatie, welke ook een gevolg is van de hoge antropogene belasting. De uitstoot is het hoogst in de zone met verhoogde turbiditeit, tussen de Rupelmonding en de Belgisch-Nederlandse grens. In de vlakte van de Raan is er daarentegen tijdens een aantal weken in het voorjaar, wanneer er een fytoplankton bloei is, een flux van CO_2 vanuit de atmosfeer naar de waterkolom waarneembaar.

De uitstoot van N_2O vanuit de intergetijdegebieden van het estuarium is het hoogst in de zoetwaterzone ($\pm 10 \text{ mmol N m}^{-2} \text{ j}^{-1}$) en neemt af in zeewaartse richting tot bijna $0 \text{ mmol N m}^{-2} \text{ j}^{-1}$ ter hoogte van Waarde (Middelburg et al., 1995). Deze uitstoot is het resultaat van nitrificatie als gevolg van de hoge stikstofbelasting in de vorm van ammonium. N_2O is namelijk een tussenproduct bij denitrificatie, en een bijproduct bij zowel nitrificatie als bij de omzetting van nitraat naar ammonium (Seitzinger, 1988).

Methaan emissie vindt plaats in het gehele intergetijde gebied. Studies op de Zeeschelde wezen uit dat de emissie groter is in begroeide sedimenten, doordat enerzijds de emissie zelf bevordert wordt (85% van de uitstoot in begroeide sedimenten verloopt via de wortels en stengels) en anderzijds omdat organisch materiaal ingevangen wordt in de begroeiing, wanneer deze onderloopt (van der Nat, 2000). De methaan emissie op de Westerschelde is voornamelijk het gevolg van een extreem hoge organische belasting van pelagisch planktonisch materiaal. Daarnaast blijkt dat er ook een grote aanvoer van methaan naar het estuarium kan plaatsvinden via het grondwater {Jones & Mulholland, 1998}.

De huidige situatie versus de gewenste situatie

De CO_2 uitstoot van de Schelde is hoog, maar een reductie van deze uitstoot uit de Schelde kan alleen maar door de antropogene belasting te verminderen door middel van waterzuivering. Dit resulteert echter in een verschuiving van het probleem, omdat de CO_2 uitstoot vanuit de zuiveringsinstallaties dan zal toenemen. Netto zal er geen afname van de uitstoot zijn op de schaal van het totale stroombekken. Het voordeel van een verschuiving naar de waterzuiveringsinstallaties is dat de CO_2 uitstoot geconcentreerd wordt op een beperkt aantal plaatsen, wat mogelijkheden biedt indien er technische oplossingen komen voor omzetting van CO_2 .

Aangezien methaan relatief meer bijdraagt aan het broeikaseffect, het effect van een molecuul methaan is twintig maal zo groot als een molecuul kooldioxide (Cicerone & Oremland, 1988), kan getracht worden de methaan uitstoot te reduceren door middel van het terugdringen van de organische belasting. Desalniettemin zal vanuit de schorren door de afbraak van plantenmateriaal een uitstoot van methaan blijven plaatsvinden, en zal ook de aanvoer van methaan via grondwater een belangrijke bron blijven van methaanemissie.

De uitstoot van lachgas kan teruggedrongen worden door de vermindering van de ammonium input in het estuarium door enerzijds terugdringing van de stikstofbelasting en anderzijds is dit mogelijk door de aanleg van bufferzones.

Doelstelling

- Het verminderen van de organische belasting door waterzuivering
- Het verminderen van de nutriëntenbelasting door waterzuivering
- Het verminderen van de nitraat input via diffuse bronnen door de aanleg van bufferzones

3.6. Klimaatregulatie

Naast de op globale schaal beperkte bijdrage aan de uitstoot van broeikasgassen, welke hiervoor zijn behandeld, spelen estuaria geen rol in de klimaatregulatie. De enige uitzondering hierop, voor zover totnogtoe bekend, is de Mississippi. De zoetwaterbel van deze rivier beïnvloedt de diepwatercirculatie van de Atlantische Oceaan. Op lokale schaal kan er echter wel een relatief grote uitstoot zijn van de broeikasgassen, lachgas, kooldioxide en methaan, zoals besproken in 3.5.

3.7. Waterzuivering

Algemeen

Elk watersysteem heeft een bepaalde mate van zuiverende capaciteit waardoor organische belasting wordt afgebroken. Dit werd reeds gedeeltelijk besproken bij de uitwisseling van gassen met de atmosfeer en bij de nutriënten cycli.

Het Schelde estuarium

De enorme koolstofvracht die in het Schelde estuarium terechtkomt wordt daar bijna volledig door bacteriën afgebroken. Tegenstrijdige resultaten zijn gevonden voor de zone waarin dit plaatsvindt. Volgens Wollast (1976) wordt de meeste organische stof afgebroken in de zone

tussen de monding van de Durme en de Nederlands-Belgische grens. Rupel, maar volgens Soetaert & Herman (Soetaert & Herman, 1995b) gebeurt dit zowel in deze zone als in de gehele Westerschelde. De koolstofvracht naar de Noordzee is volgens beiden in ieder geval verwaarloosbaar.

3.8. Water regulatie en watervoorziening

Algemeen

Als schakel tussen het totale stroombekken en de zee vervult een estuarium een belangrijke functie in de afvoer van water naar de zee. Deze afvoerfunctie biedt gelijk de mogelijkheid om het estuarium te gebruiken als transportmiddel. Bovendien kan de waterregulatie ook van belang zijn voor agrarische en industriële activiteiten. Water van bovenstrooms kan gebruikt worden voor irrigatie, terwijl zowel zoet, zout als brak gebruikt kan worden voor diverse industriële doeleinden zoals bijvoorbeeld als koelwater of als energiebron. Het zoete gedeelte van een estuarium kan eventueel voorzien in de opslag of voorziening van water voor diverse doeleinden.

Het Schelde estuarium

Wat betreft de Schelde is het gebruik van water voor industriële toepassingen beperkt tot het koelwatergebruik bij de kerncentrale Doel en Borsele. Langs de Zeeschelde werd het water vroeger gebruikt in de vloeimeersen, vanwege de aanvoer van vruchtbaar slib. Dit gebruik is vanwege de slechte kwaliteit van het slib enorm afgenomen. De transportfunctie is daarentegen erg belangrijk en stelt zijn eisen aan waterdiepte en stroomsnelheid. Dit wordt in het kader van de studie natuurlijkheid niet verder uitgewerkt, wel worden mogelijke conflictpunten vanuit de andere functies aangegeven, zie bijvoorbeeld de bufferfunctie. Tevens vervult de Schelde een belangrijke functie voor de af- en ontwatering van polders en rivieren. Het Schelde water wordt niet gebruikt voor watervoorziening, mede door de relatief slechte water- en sedimentkwaliteit.

De huidige situatie versus de gewenste situatie

Naast het feit dat door de zware verontreiniging van het slib het gebruik van het water uit de Schelde voor irrigatie in onmin is geraakt, dreigt ook de afvoer functie in het gedrang te raken doordat de vloedgolf zich verder stroomopwaarts begeeft. Bij periodes van hoge regenval in combinatie met periodes met verhoogde of langere hoogwaterstanden bij vloed kan dit leiden tot overstromingen, zoals waarneembaar was in september 1998. Dit wordt gedeeltelijk ondervangen door het vervangen van sluisen door pompen, wat echter niet wenselijk is voor anadrome en katadrome trekvis, zoals paling, fint etc. Tevens verschuift met de vloedgolf ook de saliniteitsgradiënt stroomopwaarts, waardoor het behoud van een getijdengebied met een volledige zoet/zout gradiënt in gedrang komt. Dit laatste kan ook gebeuren als de zoetwaterafvoer naar de Schelde verder geminimaliseerd wordt door afleiding naar andere watersystemen of in de toekomst mogelijk door het gebruik als drinkwaterbron. Het gebruik van het Scheldewater als koelwater kan mogelijk een probleem zijn. De thermische verontreiniging kan mogelijk leiden tot een fysische barrière voor diadrome vis, bijvoorbeeld door het optreden van zuurstofloosheid. Het is momenteel niet bekend in welke mate dit een probleem vormt.

Doelstelling

- Het verhinderen van een verdere opschuiving van de vloedgolf in stroomopwaartse richting.
- De aanleg van bufferzones in de vorm van GOG's of GGG's langs de Zeeschelde voor het opvangen van verhoogde waterafvoer ten gevolge van regen.
- Een verbetering van de kwaliteit van het aangevoerde slib, zodat het water weer gebruikt kan worden voor irrigatie van de zogenaamde vloeimeersen, welke tevens een bufferfunctie kunnen vervullen.
- Een verminderde slibaanvoer, zodat de kleine zijgeulen minder snel dicht slibben.
- Een minimale zoetwateraanvoer via de rivier de Schelde, voor het behoud van de estuariene zoet- zout gradiënt.

3.9. *Buffer voor natuurlijke fluctuaties*

Algemeen

Een estuarium, met de daarbij behorende schorren en overstromingsgebieden, heeft een belangrijke bufferfunctie voor waterstandsfluctuaties ten gevolge van getij, storm en verhoogde rivierafvoer (Bisseling et al., 1994; Costanza et al., 1997). Deze functie is direct gerelateerd aan de veiligheid tegen overstromingen. Zowel het meergeulenstelsel, de geulmeandering als de intergetijd gebieden en andere potentiële overstromingsgebieden spelen een belangrijke rol in het opvangen van deze natuurlijke fluctuaties. De fluctuaties zijn aan de andere kant van belang voor het behoud van de typische estuariene habitats (3.3). De bufferfunctie van het estuarium zorgt ervoor dat het water minder ver het estuarium worden opgestuwd en dat de zoet-zout gradiënt geleidelijk aan verloopt..

Het Schelde estuarium

Bisseling et al (1994) gebruikte tijdens een studie naar een historische referentiekader de Delta uit de periode rond ca. 1000-1200, voordat bedijkingen en grootschalige inpolderingen hadden plaatsgevonden. De natuurlijkheid was toen zeer hoog. De totale Delta werd gekenmerkt door meanderende waterlopen, verschuivende platen en slikken, geleidelijke overgangen tussen land en water en door een groot oppervlakte schor. Fluctuerende waterstanden ten gevolge van getij of vergrote rivierafvoer werden opgevangen door het grote aantal geulen, nevengeulen en overstromingsgebieden. Het systeem bleef in evenwicht, doordat er voldoende ruimte was voor erosie- en sedimentatieprocessen. Deze ruimte werd in de daarop volgende eeuwen teruggebracht door bedijkingen en inpolderingen, maar tot halfweg de twintigste eeuw bleven alle systemen in de Delta hun estuariene karakter behouden. Tijdens deze tweede referentie periode konden erosie en sedimentatie nog steeds plaatsvinden, weliswaar alleen buitendijks. Doordat de estuaria ruimtelijk aan banden gelegd waren, was er een toename in de stroomsnelheden en in de fluctuaties van de rivierafvoer. In de huidige situatie zijn de estuariene gradiënten alleen nog maar terug te vinden op de Schelde. Ten opzichte van de periode rond 1950 werden ook hier nog gebieden ingepolderd. Tevens werd de vaargeul, om de bereikbaarheid van de Antwerpse haven te vergroten, verdiept. Hiervoor werd ook de morfologische dynamiek van de geul zover mogelijk gereduceerd, door o.a. de geulwanden te verstevigen. Dit alles heeft tot gevolg gehad dat stroomsnelheden en waterstands fluctuaties verder zijn toegenomen {rapport Oostwest}{Huiskes, praatje}. De overstromingsduur van de schorren is dientengevolge toegenomen, waardoor er meer sedimentatie plaatsvindt op de schorren, terwijl de erosie aan de randen versneld wordt door de hogere stroomsnelheden. Het areaal overstromingsgebied, en dus de komberging, is afgenomen terwijl de vloedgolf zich landinwaarts heeft verplaatst, waardoor het overstromingsrisico hier toe is genomen. De afname van overstromingsgebieden heeft ook de verwerkingscapaciteit van verhoogde rivierafvoeren danig aangetast

Een combinatie van aanhoudende noordwestenwind en springtij kan resulteren in extreem hoge waterstanden op de Schelde, waardoor het overstromingsrisico toeneemt. Op de Westerschelde wordt de vloedgolf momenteel nog steeds deels beperkt door het meergeulenstelsel en het areaal intergetijdengebied. Op de Zeeschelde worden hoge waterstanden opgevangen door de slikken en schorren. Bovendien zijn er een zestal gecontroleerde overstromingsgebieden (GOG's), zoals o.a. Tielrodebroek, die bij extreem hoge waterstanden onderlopen (Van Damme et al., 2000; Van den Bergh et al., 1999). Tevens wordt de vloedgolf uiteindelijk grotendeels afgeremd door een van de laatste grote natuurlijke meanders, namelijk "De Kramp". De GOG's en GGG's kunnen ook een bufferende functie hebben wanneer er een verhoogde wateraanvoer is van bovenstroomse gebieden.

De huidige versus de gewenste situatie

De buffercapaciteit voor waterstandsfluctuaties van het Schelde estuarium is zeer ver teruggedrongen. De vloedgolf dringt door tot ver op de Zeeschelde, en het verschil tussen eb-vloed is in de richting van Antwerpen meer toegenomen dan bij Vlissingen met een maximum toename rond Bath als gevolg van de laatste verdiepingswerkzaamheden (Santbergen et al., 1999). Het is nog niet duidelijk wat de gevolgen precies zijn van de huidige verdieping, aangezien de morfologische aanpassingen verlopen over de periode van tien tot vijftien jaar. Momenteel zijn er voor de Zeeschelde studies gaande naar de mogelijkheid om nieuwe

GOG's of gecontroleerde getijde gebieden (GGG's) te creëren langs de Zeeschelde, waardoor het overstromingsrisico kan worden beperkt. Morfologische modelering zal uit moeten wijzen enerzijds in hoeverre de buffercapaciteit van de Westerschelde verandert ten gevolge van de verdiepingen van de vaargeul en waar de grens ligt voor het behoud van voldoende buffering. Anderzijds moet blijken wat de gevolgen zijn voor de eb- vloed cyclus op de Zeeschelde.

Doelstelling

- De huidige buffercapaciteit mag niet verder worden aangetast. Voor de Westerschelde moet minimaal een stand-still principe gehanteerd worden terwijl er een toename van het areaal GOG's en GGG's langs het brakke gedeelte van de Westerschelde en zeker langs de Zeeschelde gewenst is. Een extra argument is het feit dat ten gevolge van de klimatologische veranderingen er een versnelde zeespiegelrijzing plaatsvindt en dat de kans op stormen in de kustzone toeneemt, waardoor het overstromingsrisico groter wordt.

3.10. *Bescherming tegen erosie*

Algemeen

Deze functie wordt door Costanza (1997) samengenomen met de functie van sediment opvang. Het gaat hierbij om de bescherming tegen erosie van bodemmateriaal ten gevolge van wind of water. Langs de kust en in estuaria liggen dijken en/of duinen welke gevoelig zijn voor erosie door stroming en golven. Bescherming van deze kustverdedigingswerken kan door het aanleggen van kribben of andere structuren die de golfinslag afremmen. Ook natuurlijke systemen, zoals slikken en schorren, beschermen de dijken tegen erosie. De dijkdoorbraken in Zeeland gedurende de watersnoodramp van 1953 waren allemaal op locaties waar geen of slechts een smal schor aanwezig was (Storm, 1999). Een studie langs de kust van Essex (Engeland) wees uit dat een schor met een breedte van 6 meter voor een dijk, de vereiste dijkhoogte terugbracht van 12 tot 6 meter of dat het onderhoud aan de bestaande dijken flink goedkoper was. Een breder schor reduceerde zowel de vereiste dijkhoogte als het onderhoud nog verder, maar het aandeel werd minder in vergelijking tot de eerste 6 meter (King & Lester, 1995). De beschermingsfunctie van een slik is kleiner, omdat op een schor de golven door de begroeiing meer worden geremd.

Het Schelde estuarium

De dijken langs de Westerschelde worden voornamelijk begrensd door een slik. In het midden gedeelte van de Westerschelde ligt hier en daar een smalle strook schor, terwijl in het oostelijk gedeelte een groot gedeelte van de dijk door schor van het water wordt gescheiden. Langs de Zeeschelde is er ook een constante afwisseling in de begrenzing naar de dijk (Meire & Hoffmann, 1997).

De huidige situatie versus de gewenste situatie

Het schorareaal op de Westerschelde is de laatste jaren afgenomen door erosie, vooral op plaatsen waar de vaargeul vlak langs het schor loopt. Ook is op veel plaatsen langs de Schelde geen of een te smalle strook aanwezig tussen de vaargeul en de dijk.

Doelstelling

- Langs de Westerschelde, tot aan de plaats waar het tweegeulensysteem overgaat in een enkele geul, een strook van minimaal 6 meter schor of 12 m slik. Op de Zeeschelde zal dit procentueel bekeken moeten worden ten opzichte van de breedte, rekening houdende met de te verwachten golfslag.

3.11. *Sediment opvang*

Algemeen

Door erosie processen vindt er transport plaats van sedimenten, uiteindelijk komen deze sedimenten terecht in meren, bassins en estuaria. Er zijn in een estuarium twee manieren waarop sedimenten aangevoerd kunnen worden. Ten eerste is er de aanvoer van slib vanuit het hele stroombekken, wat uiteindelijk in het estuarium terechtkomt en daar de zogenaamde

alluviale vlakte vormt. Het slib bezinkt voornamelijk langs de randen van het systeem op slikken, schorren en in havens, waar de stroomsnelheden over het algemeen lager zijn. Ten tweede kan er aanvoer zijn van zandige sedimenten uit zee. Hierdoor is er in een estuarium een typische gradiënt van zandige naar slibrijke sedimenten in landinwaartse richting. Golven en stroming zorgen ervoor dat sedimenten continu in beweging zijn en uiteindelijk vindt er accumulatie plaats in de zone waar zout en zoet elkaar ontmoeten. Op deze plaats bevindt zich dan ook het turbiditeitsmaximum van een estuarium.

Het Schelde estuarium

Het Schelde estuarium kent een grote aanvoer van slib uit het stroombekken. 36% hiervan is afkomstig van erosie, 25% is huishoudelijk slib en 39% is industrieel slib (Anonymus, 1995). Een gedeelte ervan bezinkt in het de Boven Zeeschelde, maar het grootste gedeelte bezinkt in de buurt van de Kallo, Zandvliet en Berendrecht sluis. Bij deze laatste twee wordt het slib, evenals bij de andere sluizen in de Antwerpse havens, terug in de Schelde geschoven, terwijl het slib bij de Kallo sluis uit het systeem verwijderd wordt. Sinds begin 1992 is dit gemiddeld 300.000 ton droge stof per jaar, wat ongeveer anderhalf tot tweemaal de door de rivier aangevoerde hoeveelheid bedraagt (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1998). Dit wordt mede gedaan om het volume zwaar verontreinigde slib, dat zich in de Zeeschelde bevindt, te reduceren. Een gedeelte van het fluviatiele slib bereikt de Westerschelde en bezinkt daar op de schorren, terwijl een net iets kleinere hoeveelheid marien slib de Zeeschelde bereikt vanuit de Westerschelde. Op de Westerschelde vindt ook nog een kleine aanvoer aan van zand uit de Voordelta. Het grootste transport van zand in de Westerschelde vindt plaats ten gevolge van de baggerwerkzaamheden. Zand sedimenteert op de drempels van de vaargeul. Deze drempels worden continu gebaggerd en de baggerspecie wordt elders in het systeem gestort. Vroeger werd dit in dezelfde zone gestort, o.a. vlak voor het Land van Saeftinghe, waardoor een versnelde verlanding van de ondiepwatergebieden plaatsvond. De stortstrategie is sinds 1998 gewijzigd, maar het is nog niet duidelijk welk het juiste gevolg van deze wijziging is. Ook op de Zeeschelde moet de vaargeul gebaggerd worden, maar dit slib wordt vervolgens op andere locaties gestort, waarna het weer getransporteerd wordt naar de plaatsen waar zich van nature drempels vormen. De huidige baggerstrategie op de Zeeschelde en het terugbrengen van slib van de Zandvliet en Berendrecht sluis naar de geul resulteren in een extreem hoge turbulentie in de Beneden Zeeschelde, waardoor het systeem hier heterotroof is.

De huidige situatie versus de gewenste situatie

Het grootste probleem ligt in het stroombekken van het Schelde estuarium. Door verharding van het oppervlak en het rechte trekken van beken vindt een versnelde afwatering plaats in de richting van het estuarium. Het slib krijgt geen tijd meer op ergens te bezinken en wordt rechtstreeks getransporteerd naar de Zeeschelde. Vroeger werd het slib uit het Scheldewater dan nog wel gebruikt voor bevruchting van de vloeimeersen, maar door de hoge verontreinigingsgraad van het slib, is dit gebruik sterk gereduceerd.

Door de grote vermindering van intergetijde gebieden langs de Zeeschelde circuleert een groot gedeelte van het slib in de geul en bezinkt uiteindelijk bij de sluizen aan de havens van Antwerpen. De extreem hoge turbiditeit in deze zone heeft een negatieve impact op de nutriëntenspiralisatie en de benthos populatie (Van Damme et al., 2000).

Doelstelling

- Enerzijds moeten ingrepen in het totale stroombekken er voor zorgen dat de slibaanvoer naar het Schelde estuarium terug gedrongen wordt.
- Anderzijds moet het areaal, waar bezinking van slib kan plaatsvinden, uitgebreid worden door het in gebruik nemen van GOG's, GGG's, en vloeimeersen.
- Een vereiste is wel dat het slib niet verontreinigd is. Zolang het slib zwaar verontreinigd is, is het beter dit na baggering uit het systeem te verwijderen i.p.v. het elders in het systeem te storten. Al deze maatregelen kunnen ook leiden tot een afname van de turbiditeit in de zone rond Antwerpen.

3.12. Bodenvorming

Onder bodenvorming wordt door Costanza et al. (1997) de afbraak van gesteentes en de accumulatie van organisch materiaal verstaan op geologische schaal. Estuaria spelen hierin

een minimale rol, alhoewel op de schorren een accumulatie van organisch materiaal plaatsvindt, wat samen met de sedimentatie van anorganisch materiaal leidt tot bodemvorming en uiteindelijk verlanding, indien de sedimentatie groter is dan de erosie. Hier wordt in het kader van het Schelde estuarium niet verder op ingegaan, aangezien de rol van schorren bij andere functies ruimschoots aan bod komt.

3.13. *Recreatie*

Het Schelde estuarium biedt verschillende vormen van eco-toerisme. Op de dijken wordt gefietst, gewandeld, gevist en gezonnebaad. De slikken, platen en schorren worden bezocht in de vorm van natuurexcursies, bekeken door vogelaars en gebruikt voor de verzameling van visaas. Op het water vindt een geringe mate van recreatievaart en sportvisserij plaats. Recreatie is in hoge mate afhankelijk van de waardering voor het ecosysteem. Deze waardering is direct gerelateerd aan de mate van natuurlijkheid. Hoe natuurlijker hoe hoger de waardering (Ruijgrok, 2000). Uit het oogpunt van recreatie moeten we de natuurlijkheid van het estuarium, en dus de dynamiek, vergroten.

3.14. *Culturele aspecten*

Doordat de Schelde nog steeds een volledige estuariene gradiënt en daarnaast een grote ecologische capaciteit heeft temidden van een van dichtstbevolkte streken ter wereld, heeft het een zeer belangrijke educatieve en wetenschappelijke functie. Daarnaast heeft het ook een historische, esthetische en artistieke functie. Ook de culturele functie wordt net als de recreatieve functie versterkt door het behoud van de karakteristieke eigenschappen van het estuarium.

3.15. *Voedsel productie*

Het Schelde estuarium

Commerciële visvangst is zeer beperkt op het Schelde estuarium. Er vindt wat kokkelvisserij plaats in het westelijk gedeelte van de Schelde. Veel belangrijker is de kraamkamerfunctie (zie 3.3) van het estuarium voor hyperbenthos en diverse vissoorten, welke gevangen worden op de Noordzee. De afname van het areaal intergetijdengebied heeft deze kraamkamerfunctie danig aangetast.

Doelstelling

- Een uitbreiding van het areaal intergetijdengebied, met name ondiepwater gebieden, slikken, platen en schorkreken langs het zoute en brakke gedeelte van de Schelde

3.16. *Andere materialen*

Het Schelde estuarium

Langs de Schelde oevers vindt nog steeds een ambachtelijke verwerking plaats van producten uit de zoet- en brakwaterschorren, namelijk van de wilgentenen en het riet.

Doelstelling

- Minimaal het behoud van het areaal schorren langs de Zeeschelde

3.17. *Samenvatting ecosysteemfuncties*

De zestien functies geven een goed beeld van het mogelijk functioneren van een gezond natuurlijk Schelde estuarium. Niet alle functies zijn even belangrijk vanuit het oogpunt natuurlijkheid, maar kunnen daarentegen wel goede indicatoren zijn voor het functioneren. De functies zijn geen doelstellingen op zichzelf, maar zijn bruikbaar als argumenten voor het

opstellen en uitwerken van de doelstellingen, doordat ze een goed overzicht geven van het belang van de diverse processen en structuren in het estuarium. Kijkend naar de drie algemene ecosysteemdooelstellingen zien we dat elke doelstelling terug te vinden is in een aantal functies. Ruimte voor natuurlijk dynamische processen wil namelijk onder andere zeggen dat het systeem optreedt als een buffer van natuurlijke fluctuaties en als een opvang voor sediment. Bovendien is ook de waterzuiverende capaciteit van het systeem een resultante van de natuurlijke dynamische processen. Het behoud van de estuariene gradiënt is afhankelijk van de waterregulatie en de bufferwerking. De eerste drie functies spelen dan weer een belangrijke rol bij de bescherming van de estuariene leefgemeenschappen en ecotopen. Deze laatste doelstelling kan ook worden geformuleerd als het waarborgen van de specifieke estuariene biodiversiteit. De recreatieve en culturele functie is groter naarmate aan alle drie doelstellingen wordt voldaan. Naast biodiversiteit was een van de basis uitgangspunten de koppeling van het estuarium aan de Noordzee. Deze koppeling functioneert optimaal wanneer de nutriëntencycli en waterzuivering voldoende verlopen. Ook is de kraamkamerfunctie essentieel voor de koppeling met verschillende fauna soorten van de Noordzee. Als laatste willen we nog aangeven dat de bufferfunctie, de waterregulatie en de bescherming tegen erosie een aantal belangrijke aspecten beschrijven, die bruikbaar zijn voor de koppeling naar de veiligheid. De waterregulatie en sediment opvang functie zijn punten die van belang zijn i.v.m. de natuurlijke toegankelijkheid.

4. Ecosysteendoelstellingen en knelpunten per zone

Dit hoofdstuk overloopt de verschillende zones van het Schelde estuarium, inclusief het bovenstroomse gedeelte. Per zone wordt er gekeken wat de belangrijkste karakteristieken zijn en waar de knelpunten liggen. Vervolgens wordt er per zone een tabel gepresenteerd, waarin een aantal doelstellingen worden weergegeven met eventueel bijbehorende maatregelen. De volgorde in de tabellen geeft een prioritering aan voor de specifieke doelstellingen van die zone. Tevens staan bij elke doelstelling een aantal functies genoemd, die als belangrijk argument dienen voor de onderbouwing van de doelstelling. De doelstellingen van elke zone kunnen echter niet los van elkaar gezien worden. Hierop wordt in hoofdstuk 5 verder ingegaan.

4.1. Zone 0: het bovenstroomse bekken

Het Schelde estuarium van Gent tot Vlissingen is onlosmakelijk verbonden aan de rest van het Schelde stroombekken. Veel knelpunten van het estuarium worden veroorzaakt door de grote aanvoer uit dit gebied van organisch materiaal, nutriënten, polluenten en slib. Deze aanvoer wordt versneld naar het estuarium gevoerd, door: de toenemende verharding van het oppervlakte, een versnelde afwatering van landbouwgebieden, het ontbreken van bufferzones langs beken en de kanalisatie van stroompjes en beken. Deze facetten resulteren ook in een sterk fluctuerende, aan neerslag gerelateerde, zoetwater aanvoer naar het estuarium. Deze aanvoer wordt tevens nog bedreigd door de aftakking van zoetwater naar andere systemen. In eerste instantie is het voor het Schelde estuarium van belang om de kwaliteit van het aangevoerde water en slib verder te verbeteren. Op langere termijn moet de aandacht gericht worden op de aanvoer van slib en zoetwater. Ideaal gezien verwachten we een stroombekken met niet gekanaliseerde waterlopen waarlangs bufferzones liggen om diffuse bronnen te reguleren en waarop de organische en nutriënten belasting via puntbronnen sterk terug gebracht is en waarop geen belasting met polluenten plaatsvindt.

Doelstelling	Gewenste ingrepen	Functies oftewel argumenten
Reduceren van de organische belasting	• Zuivering puntbronnen in rwzi's • Aanleg bufferzones voor het reduceren van diffuse bronnen	3.1 t/m 3.6
Reduceren van de nutriënten belasting	• Zuivering puntbronnen in rwzi's • Aanleg bufferzones voor het reduceren van diffuse bronnen	3.1 t/m 3.6
Reduceren van de aanvoer van polluenten / verbeteren van de kwaliteit van het slib	• Stoppen met het lozen van polluenten • Vervuild slib vastleggen of uit het systeem halen	3.2, 3.8 en 3.11
Reduceren van de slibaanvoer	• Vergroten van de retentietijd door de aanleg van bufferzones en het terug dringen van kanalisering	3.2, 3.3 en 3.8
Behoud van voldoende aanvoer van zoet water gedurende het gehele jaar	• Vergroten van de retentietijd door de aanleg van bufferzones en het terug dringen van kanalisering • Geen verdere verdeling van het zoete water naar andere systemen	3.1, 3.2, 3.3 , 3.8, 3.9, 3.11, 3.13 en 3.14
Verwijderen van fysische barrières tussen het estuarium en het bovenstroomse deel	• De aanleg van vistrappen en visgoten	3.1 t/m 3.3

4.2. Zone 1: de zoetwaterzone op de Zeeschelde van Gent tot de monding van de Durme

Het zoete gedeelte van de Zeeschelde is ecologisch een uniek gebied, doordat het een van de weinige resterende zoetwater gebieden is onder invloed van de eb-vloed cyclus. Tevens zijn er nog een aantal oude meanders aanwezig die zowel morfologisch als ecologisch een belangrijke functie vervullen. Ze verhinderen mede de verdere indringing van het getij. Momenteel is de waterkwaliteit echter een beperkende factor voor de ontwikkeling van een diverse bodemfauna. De slibkwaliteit verhindert het gebruik van aangrenzende gebieden in de vorm van vloeimeersen, maar bij de aanleg van gecontroleerd gereduceerd getij gebieden (GGG's) of gecontroleerde overstromingsgebieden (GOG's) kan de kwaliteit van het aangevoerde slib beter gecontroleerd worden. De aanleg van deze gebieden is op middellange termijn dringend gewenst in deze regio, omdat de buffercapaciteit hier minimaal is. Daarnaast is de ecologische kwaliteit van de oeverstructuren langs bijna de gehele zone slecht (Van den Bergh et al., 1999). Het verleggen van dijken om bufferzones te creëren in de vorm van zoetwaterschorren is dan ook gewenst. Deze bufferzones bieden ook de mogelijkheid om lagere dijken aan te leggen als bescherming tegen overstromingen. Het streefbeeld voor deze zone is een geul met langs beide oevers een schor- of slikrand met daarachter een verlaagde dijk waaraan overstromingsgebieden grenzen in de vorm van vloeimeersen en GGG's. Bovendien mogen de morfologische karakteristieken niet verder aangetast worden.

Doelstelling	Gewenste ingrepen	Functies oftewel argumenten
Behouden van de huidige morfologische structuur	• Voldoende aanvoer van zoetwater (zie zone 0) • Geen verdere kanalisering van de vaargeul	3.8 en 3.9
Bufferzone in de vorm van slik of schor tussen geul en dijk		3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.10, 3.14 en 3.16
Uitbreiding van areaal overstromingsgebieden	• Verbetering slibkwaliteit (zie zone 0)	3.3, 3.9 en 3.11

4.3. Zone 2: de zone met wisselende saliniteit, vanaf de monding van de Durme tot aan de Belgisch-Nederlandse grens

Deze zone van het estuarium wordt volledig beïnvloed door de aanvoer van zwaar verontreinigd water via de Rupel. Het terugdringen van deze vervuiling verdient de hoogste prioriteit (zie zone 0). Vervolgens is de belangrijkste karakteristiek de sterke zoet-zout gradiënt. Het is belangrijk dat deze gradiënt niet steiler wordt voor de uitwisseling van levensgemeenschappen tussen zoet en zout. Tevens mag deze niet stroomopwaarts verplaatst worden om de zoetwaterschorren in zone 1 niet verder aan te tasten.

Doelstelling	Gewenste ingrepen	Functies oftewel argumenten
Uitbreiden van het areaal intergetijden-gebied		3.1, 3.2, 3.3 en 3.9
Uitbreiding overstromingsgebieden	• de aanleg van GOG's en / of GGG's	3.3, 3.9 en 3.11
Reduceren van de turbulentie	• verminderen slibaanvoer (zone 0) • Het niet terugstorten van baggerspecie, maar het verwijderen uit het systeem	3.2, 3.3 en 3.4

Bufferzone in de vorm van slik of schor tussen geul en dijk	Het verleggen van dijken op plaatsen waar deze zone nog niet aanwezig is	3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.10 en 3.16
Behouden van de morfologische structuren	Geen verdere kanalisatie van de vaargeul	3.8 en 3.9

4.4. Zone 3: het brakke gedeelte van de Westerschelde van de grens tot aan Hansweert

De invloed van de rivier is in deze zone flink verminderd. Alleen de vervuiling blijft nog zijn invloed uitoefenen. Het getij is de sturende factor achter alle processen. Zone 3 tot en met 5 worden in tegenstelling tot zone 1 en 2 gedomineerd door een meergeulenstelsel. Dit meergeulenstelsel met de daarbij behorende sedimentatie- en erosieprocessen is essentieel voor het behoud van een diversiteit aan intergetijdenhabitats, welke een belangrijke habitat en bufferfunctie vervullen. Momenteel is de ruimte zover ingesnoerd, dat met name het ontstaan van nieuwe jonge schorren zeer beperkt is en dat de aanwezige schorren in areaal achteruit gaan. Ruimte voor dynamische morfologische processen is in deze zone cruciaal voor het in stand houden van de diverse successieve stadia van de karakteristieke estuariene habitats.

Doelstelling	Gewenste ingrepen	Functies oftewel argumenten
Behouden van het meergeulen stelsel		3.3, 3.8 en 3.9
Uitbreiding van areaal intergetijdengebied	Verplaatsen van de dijk	3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.8, 3.9 en 3.15
Uitbreiding overstromingsgebieden	Dit kan door uitbreiding van het areaal intergetijdengebied, maar ook door de aanleg van GOG's of GGG's	3.3, 3.4, 3.9 en 3.15
Bufferzone in de vorm van slik of schor tussen de vaargeul en de dijk	Verplaatsen van de dijk, waar dit noodzakelijk is	3.1, 3.2, 3.3, 3.10 en 3.15
Vermindering turbiditeit	- Wijziging baggerstrategie (Dit is gebeurd, maar de resultaten hiervan zijn nog niet bekend en mogelijk zijn verdere wijzigingen noodzakelijk) - Vermindering aanvoer slib (zone 0)	3.3 en 3.4

4.5. Zone 4: het zoute gedeelte van de Westerschelde van Hansweert tot aan Vlissingen

Deze zone wordt volledig gedomineerd door het getij. Deze zone speelt een cruciale rol in de koppeling naar de Noordzee. Het is de laatste zone waar nutriënten uit het systeem gehaald kunnen worden. Doordat autotrofie hier aan de basis ligt van het voedselweb is de filterefficiëntie door filterfeeders groter. Mits er voldoende habitat is, kunnen ze in deze zone nog een belangrijke bijdrage leveren aan de nutriëntenspiralisatie. Het systeem is echter in grote mate gefixeerd en er is weinig ruimte voor dynamisch morfologische processen. Hierdoor staat het schorareaal in deze zone onder zeer grote druk. Uitbreiding ten koste van de slikken en platen is echter niet wenselijk gezien het feit dat dit net de habitat is voor filterfeeders, die naast hun rol in de nutriëntenkringloop, ook belangrijk zijn als voedselbron

voor steltlopers en voor de mens. Schoruitbreiding moet dus binnendijs gezocht worden, langs de krekken of door het verleggen van de dijken.

Doelstelling	Gewenste ingrepen	Functies oftewel argumenten
Behouden van het meergeulenstelsel	•	3.3, 3.8 en 3.9
Behoud van het areaal aan slikken en platen	•	3.2, 3.3, 3.4 en 3.15
Verbinding met krekken	• Verleggen van de dijk, of verbindingen maken in de vorm van getijdenkleppen	3.3, 3.4 en 3.15
Bufferzone in de vorm van slik of schor tussen vaargeul en dijk	• Verplaatsen van de dijk	3.1, 3.2, 3.3, 3.10 en 3.15
Vermindering turbiditeit	• Wijziging baggerstrategie (Dit is gebeurd, maar de resultaten hiervan zijn nog niet bekend en mogelijk zijn verdere wijzigingen noodzakelijk)	3.1 en 3.4

4.6. Zone 5: de mondingszone met de vlakte van de Raan

De vlakte van de Raan wordt pas sinds de laatste jaren gezien als onderdeel van het estuarium, omdat veel estuariene processen zoals o.a. de nutriëntencycli ook plaatsvinden in deze zone. Bovendien is er een groot areaal intergetijdengebied, wat een belangrijke habitat functie vervult. Tot nog toe is deze zone echter weinig betrokken geweest in modelmatige studies, waardoor het moeilijk in te schatten is hoe groot het aandeel van deze zone binnen alle ecosysteefuncties is.

Doelstelling	Gewenste ingrepen	Functies oftewel argumenten
Behouden van de morfologische structuren	•	3.3 en 3.4

5. Naar een streefbeeld voor het Schelde estuarium

Op basis van de doelstellingen voor de zones in hoofdstuk 4 kunnen we ons een aardig beeld gaan schetsen van het streefbeeld voor het Schelde estuarium. Natuurlijkheid vereist een niet verontreinigd systeem met zo weinig mogelijk fixatie en zoveel mogelijk dynamiek en ruimte, wat vervolgens resulteert in voldoende areaal en diversiteit aan habitats, waardoor de specifieke estuariene diversiteit en functies gewaarborgd zijn.

Een vereiste die als een paal boven water staat is het terugdringen van de verontreiniging. De slechte waterkwaliteit is nog steeds een limiterende factor voor velerlei functies van het systeem. De verbetering kan alleen voldoende bereikt worden als er voldoende zuivering en verwijdering plaatsvindt van organisch materiaal en nutriënten in het gehele stroombekken. Daarnaast moet het verhogen van de retentietijd de aanvoer van slib reduceren en de waterafvoer beter reguleren, zodat er een continu minimale aanvoer plaatsvindt van zoet water naar de Schelde. De grote van deze minimaal vereiste aanvoer moet bepaald worden aan de hand van de hydraulische karakteristieken van het totale estuarium.

De kwantificering voor de dynamiek en ruimte is sterk afhankelijk van de functie van waaruit het bekeken wordt. Voldoende habitat voor de kraamkamerfunctie voor garnalen zal andere eisen stellen aan de ruimte en dynamiek dan de mogelijkheid voor de ontwikkeling van jonge schorren. De minimale vereiste voor alle functies vereist een nauwe aanpak tussen ecologen en morfologen, waarbij de morfologische processen in de intergetijdengebieden en andere bufferzones gekoppeld worden aan de huidige morfologische modellen. Duidelijk is in ieder geval dat:

1. Het huidige areaal aan intergetijdengebied behouden moet worden, waarbij een uitbreiding van de geulen gecompenseerd moet worden door het verplaatsen van de dijken.
2. De morfodynamiek behouden moet worden, met name het meergeulenstelsel op de Westerschelde, om de diverse successieve stadia van de habitats te garanderen.
3. De geul op de Zeeschelde niet verder gekanaliseerd mag worden
4. Het geven van meer ruimte aan het estuarium langs alle zones zal leiden tot een verbetering van de natuurwaarden

De volgende stap in de uitwerking van het streefbeeld is nu een kwantificering van de arealen die nodig zijn om er voor te zorgen dat de functies van het Schelde estuarium aan alle eisen kunnen voldoen, waarbij voor conflicten het belang van de koppeling naar de Noordzee en de biodiversiteit voorgaan.

6. Literatuur

- Anonymus, 1995. Beleidsplan sanering waterbodem Beneden-Zeeschelde.
- Billen, G. & J. Garnier, 1997. The Phison river plume: coastal eutrophication in response to changes in land use and water management in the watershed. *Aquatic Microbial Ecology* 13: 3-17.
- Bisseling, C. M., Draaijer, L. J., Klein, M, and Nijkamp, H., 1994. Ecosysteemvisie Delta. IKC-N nr. 7.
- Boulton, A. J., 1999. An overview of river health assessment: philosophies, practice, problems and prognosis. *Freshwater Biology* 41: 469-479.
- Buis, K., 1999. Stikstofverwijdering in het Schelde estuarium. Werkopdracht RIKZ-692.
- Cadée, N., 1994. Typologie van estuariene systemen: geografische referenties voor het Schelde estuarium. RIKZ rapport 94.048.
- Castelle, A. J., A. W. Johnson, & C. Conolly, 1994. Wetlands and stream buffer size requirements; A review. *Journal of Environmental Quality* 23: 878-882.
- Cicerone, R. J. & R. S. Oremland, 1988. Biogeochemical aspects of atmospheric methane. *Global Biogeochemistry* 2: 299-327.
- Cooper, J. A. G., A. E. L. Ramm, & T. D. Harrison, 1994. Estuarine health index. *Ocean & Coastal Management* 25: 103-141.
- Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. V. O'Neill, J. Paruelo, R. G. Raskin, P. Sutton, & M. van den Belt, 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260.
- Costanza, R. & Mageau, 1999. titel. ?
- Cosyns, E., Leten, M., Hermy, M., and Triest, L., 1994. Een statistiek van de wilde flora van Vlaanderen.
- Daily, G. C., 1997b. Introduction: What are ecosystem services? In Daily, G. C. (ed.), *Nature's Services; Societal dependence on natural ecosystems*. Island Press, Washington : 1-10.
- Daily, G. C., 1997a. *Nature's Services; Societal dependence on natural ecosystems*. Island press, Washington D.C.
- de Groot, R., 1992. Functions of nature; Evaluation of nature in environmental planning, management and decision making. Wolters-Noordhoff, Amsterdam.
- de Winder, B., 2000. Ecosysteendoelen Deltawateren. RIKZ/AB/2000.815x.
- Frankignoulle, M., G. Abril, A. Borges, I. Bourge, C. Canon, B. Delille, E. Libert, & J.-M. Théate, 1998. Carbon dioxide emissino from European estuaries. *Science* 282: 434-436.
- Hart, B. T., I. C. Campbell, C. Angehrn-Bettinazz, & M. J. Jones, 1993. Australian water quality quidelines: a new approach for protecting ecosystem health. *Journal of Aquatic Ecosystem Health* 2: 151-163.

-
- King, S. E. & J. N. Lester, 1995. The value of salt marsh as a sea defence. *Marine Pollution Bulletin* 30: 180-189.
- Kolosa & Pickett, 1992. titel. *Journal of Aquatic Ecosystem Health* 1: 7-13.
- Kuijken, E., 1999. Natuurrapport 1999; Toestand van de natuur in Vlaanderen: cijfers voor het beleid. Mededelingen van het Instituut voor Natuurbehoud 6.
- Laane, W. E. M. & J. S. Peeters, 1993. Ecological objectives for management purposes: applying the AMOEBA approach. *Journal of Aquatic Ecosystem Health* 2: 277-286.
- Lanters, 1999. titel.
- Meire, P. & M. Hoffmann, 1997. De oevers langs de Zeeschelde: inventarisatie van de huidige oeverstructuren. *Water* 95: 131-137.
- Meire, P., M. Starink & M. Hoffmann, 1997. Integratie van ecologie en waterbouwkunde in de Zeeschelde: aanleiding tot en situering van het Onderzoek Milieu-Effecten Sigmaplan (OMES). *Water*, 95: 147-165.
- Middelburg, J. J., G. Klaver, J. Nieuwenhuize, R. M. Markusse, T. Vlug, & F. J. W. A. van der Nat, 1995. Nitrous oxide emissions from estuarine intertidal sediments. *Hydrobiologia* 311: 43-55.
- Middelburg, J. J. & J. Nieuwenhuize, 2000. Uptake of dissolved inorganic nitrogen in turbid, tidal estuaries. *Marine Ecology Progress Series* 192: 79-88.
- Middelburg, J. J., J. Nieuwenhuize, N. Iversen, N. Høgh, H. de Wilde, W. Helder, R. Seifert, & O. Christof, 2000. Methane distribution in tidal estuaries. *Biogeochemistry* .
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Schelde schoner door saneren waterbodembodem. 1998.
- Mooney, H. A. & P. R. Ehrlich, 1997. Ecosystem services: a fragmentary history? In Daily, G. C. (ed.), *Nature's Services; Societal dependence on natural ecosystems*. Island Press, Washington : 11-22.
- Munawar, 1993. titel. *Journal of Aquatic Ecosystem Health* 2: 111-117.
- Rapport, D. J., 1992. Evaluating ecosystem health. *Journal of Aquatic Ecosystem Health* 1: 15-24.
- Rapport, D. J., R. Costanza, P. R. Epstein, C. Gaudet, & R. Levins, 1998. *Ecosystem health*. Blackwell Science, Oxford.
- Reynolds, C. S., 1993. The ecosystems approach to water management. The mean features of the ecosystem concept. *Journal of Aquatic Ecosystem Health* 2: 3-8.
- Ruijgrok, E. C. M. Valuation of nature in coastal zones. 2000. Vrije Universiteit van Amsterdam.
- Santbergen, L., Coosen, J., Krijger, G., Jong, J, and kker, L., 1999. Monitoring van de effecten van de verruiming 48'-43'; Voortgangsrapportage periode 1997-1998. Project MONitoring VERRUiming Westerschelde (MOVE) rapport 3.
- Seitzinger, S., 1988. Denitrification in freshwater and coastal marine ecosystems: ecological and geochemical significance. *Limnology & Oceanography* 33: 702-724.

-
- Seys, J., M. Vincx, & P. eire, 1999. Spatial distribution of oligochaetes (Clitellata) in the tidal freshwater and brackish parts of the Schelde estuary (Belgium). *Hydrobiologia* 406: 119-132.
- 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, 1995a. Nitrogen dynamics in the Westerschelde estuary (SW Netherlands) estimated by means of the ecosystem model MOSES. *Hydrobiologia* 311: 225-246.
- Storm, K., 1999. Slinkend onland; Over de omvang van Zeeuwse schorren: ontwikkelingen, oorzaken en mogelijke beheersmaatregelen. Rijkswaterstaat Zeeland Nota AX-99.007.
- Ulanowicz, R. E., 1986. Growth and development; Ecosystems phenomenology. New York, Springer-Verlag.
- Van Damme, S., Meire, P., and Ysebaert, T, 2000. Het Schelde-estuarium: Natuurlijk! Een ecosysteembeschrijving uitgevoerd binnen het kader van de Langetermijnvisie voor het Schelde-estuarium.
- Van den Bergh, E., Meire, P., offmann, M., and Ysebaert, T, 1999. Natuurherstelplan Zeeschelde: drie mogelijke inrichtingsvarianten. Rapport Instituut voor Natuurbehoud 99/18.
- van der Nat, F. J. W. A. Methane emission from freshwater marshes. 2000. Netherlands Institute of Ecology.
- Vandelannoote, A. & J. Coeck, 1998. Rode lijst van de inheemse en ingeburgerde zoet- en brakwatervissen van de rondbekken in Vlaanderen. In Vandelannoote, A., R. Yseboodt, B. Bruylants, R. rheyen, J. eck, J. es, C. lpaire, G. n Thuyne, B. nayer, J. yens, D. Charleroy, & P. ndenabeele (eds), Atlas van de Vlaamse beek- en riviervissen. WEL vzw, Antwerpen : 259-264.
- Whittier & Paulsen, 1992. EMAP. *Journal of Aquatic Ecosystem Health* 1: 119-126.
- Wollast, R., 1976. Transport et accumulation de polluants dans l'estuaire de l'Escaut. Projet mer rapport final, Bruxelles. Services du premier minister, 10, 191-201.
- Zwolsman, J. J. G., 1994. Seasonal variability and biogeochemistry of phosphorus in the Scheldt estuary, South-west Netherlands. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 39: 227-248.