

**Typologie van estuariene systemen:  
Geografische referenties  
voor het Schelde estuarium**

RIKZ Rapport 94.048

**Typologie van estuariene systemen:  
Geografische referenties  
voor het Schelde estuarium**

RIKZ Rapport 94.048

Niels Cadée,  
December 1994

## Inhoud

|          |                                                           |          |
|----------|-----------------------------------------------------------|----------|
| <b>1</b> | <b>Inleiding</b>                                          | <b>3</b> |
| <b>2</b> | <b>Estuaria</b>                                           | <b>4</b> |
| <b>3</b> | <b>Methode</b>                                            |          |
| 3.1      | Motivatatie gekozen estuaria                              | 7        |
| 3.2      | Motivatatie parameterkeuze                                | 10       |
| 3.3      | Verzamelen van gegevens                                   | 11       |
| 3.4      | Database opzet                                            | 11       |
| <b>4</b> | <b>Resultaten</b>                                         |          |
| 4.1      | Parameters                                                |          |
| 4.1.1    | Fysica                                                    | 12       |
| 4.1.2    | Chemie                                                    | 17       |
| 4.1.3    | Biologie                                                  | 20       |
| 4.1.4    | Antropogene beïnvloeding                                  | 23       |
| 4.2      | Indices                                                   |          |
| 4.2.1    | Fysica                                                    | 26       |
| 4.2.2    | Chemie                                                    | 28       |
| 4.2.3    | Biologie                                                  | 29       |
| 4.2.4    | Antropogene beïnvloeding                                  | 30       |
| <b>5</b> | <b>Conclusies</b>                                         |          |
| 5.1      | Het Schelde estuarium in vergelijking met andere estuaria | 32       |
| 5.2      | Karakterisering van de referentie-estuaria                | 35       |
| 5.3      | Typologie van estuaria                                    | 37       |
| 5.4      | Wegen voor verder onderzoek                               | 40       |
| 5.5      | Bouwstenen voor het opstellen van streefbeelden           | 41       |
| 5.6      | Algemene conclusie van het TYPOS project                  | 42       |
| <b>6</b> | <b>Literatuur</b>                                         |          |
| 6.1      | Geraadpleegde algemene literatuur over estuaria           | 43       |
| 6.2      | Literatuur van de TYPOS Database                          | 43       |
| 6.3      | Literatuur per estuarium                                  | 47       |
| 6.4      | Adressen van geraadpleegde personen per estuarium         | 52       |

## Bijlagen

|                                                      |    |
|------------------------------------------------------|----|
| Deelnemers Workshop Typologie 22 April 1994          | 53 |
| Overzicht van parameterwaarden voor de tien estuaria | 54 |

## 1 Inleiding

Om de haven van Antwerpen toegankelijk te maken voor grotere zeeschepen, zijn er in België plannen gemaakt voor een verdieping van de geulen in de Westerschelde. De Westerschelde is het Nederlandse deel van het estuarium van de Schelde, dat zich uitstrekt van Gent tot Vlissingen. Er worden in opdracht van Directie Zeeland bij het RIKZ in het project Oostwest studies uitgevoerd naar de mogelijke effecten van de uitvoering van deze plannen voor de morfologie en de natuurwaarden van het gebied. Een belangrijk vraagstuk hierbij is hoe de functies van het Schelde estuarium als vaarweg en als natuurgebied met elkaar kunnen worden verenigd. In dit kader is er behoefte aan een streefbeeld, waarin wordt omschreven hoe het Schelde estuarium er in de toekomst uit zou moeten zien en wat voor beheersmaatregelen nodig zullen zijn om die toestand te bereiken en te handhaven. Als voorbereiding voor het opstellen van deze streefbeelden worden een historische referentie en geografische referenties opgesteld. Het project TYPOS (typologie van estuariene systemen) omvat het opstellen van geografische referenties en het aandragen van bouwstenen voor streefbeelden op basis van vergelijking van het Schelde estuarium met deze referenties. Er is een begeleidingsgroep geformeerd met de volgende samenstelling: J.Coosen, T.Pieters, A.Smaal, I.de Vries (RIKZ), C.Heip, P.Herman (NIOO-CEMO) en L.de Jong (RWS Directie Zeeland). De doelstelling van het project werd als volgt omschreven in het werkplan:

*Het inventariseren en selecteren van ecosysteem doelvariabelen op basis van karakteristieke eigenschappen van estuariene systemen aan de hand van een vergelijkende analyse, rekening houdend met abiotische randvoorwaarden en met de invloed van menselijk handelen op de karakteristieken. De doelvariabelen zullen zoveel mogelijk kwantitatief worden ingevuld, en dienen als basis van streefbeelden voor het beheer van het Schelde estuarium.*

Het voorliggende rapport is het eindrapport van het project TYPOS. Als referenties werden estuaria in noord-west Europa gekozen, die van het zelfde type zijn als het Schelde estuarium, en waarvoor gegevens beschikbaar waren. Een lijst van een aantal voor estuaria karakteristieke, kwantificeerbare parameters werd opgesteld, waarmee een typologie van estuaria kon worden opgesteld. Waarden voor deze parameters in elk van de gekozen estuaria werden uit literatuuronderzoek verkregen. Met deze waarden werd een vergelijking gemaakt tussen het Schelde estuarium en de geografische referenties. Door evaluatie van de resultaten van de vergelijking werd een definitieve parameterlijst voor de typologie opgesteld.

Dankwoord In de eerste plaats ben ik dank verschuldigd aan de leden van de begeleidingsgroep, die met hun kennis en ervaring dit onderzoek in een goede richting stuurden. Cor Berrevoets was behulpzaam bij het installeren en leren werken met Paradox. RIKZ medewerkers in Haren en Middelburg voorzagen mij van gegevens over Schelde en Eems. Veel dank ook aan de wetenschappers uit het buitenland die mij van informatie voorzagen, in het bijzonder Mme. Dr J. Marchand en Dr J. Castel.

## 2 Estuaria

In de literatuur zijn veel verschillende definities van estuaria te vinden. Door het dynamische karakter als overgangszone tussen land, zee en zoet water en het grote aantal verschijningsvormen van estuaria is het moeilijk om een goede algemene definitie te vinden (Davidson et al., 1991). Twee belangrijke definities zijn die van Pritchard (1967) en Fairbridge (1981):

Pritchard: *"an estuary is a semi-enclosed coastal body of water which has a free connection with the open sea and within which sea water is measurably diluted with fresh water derived from land drainage"*

Fairbridge: *"an estuary is an inlet of the sea reaching into a river valley as far as the upper limit of the tidal rise"*

Het probleem van de definitie van Pritchard is dat de begrenzing van het estuarium in de rivier, gedefinieerd als het punt waar het zoutgehalte onmeetbaar laag wordt, verschuift met de seizoensfluctuaties in de rivierafvoer. De definitie van Fairbridge neemt de grens van de getij-invloed op de rivier als begrenzing van het estuarium. Deze grens ligt beter vast in tijd en ruimte, onafhankelijk van fluctuaties in de rivierafvoer. Door het meetellen van het zoetwater getijdegebied wordt het estuarium een behoorlijk stuk groter dan volgens Pritchard's definitie. In veel grote estuaria, zoals bijvoorbeeld de Schelde en de Elbe wordt echter de getij-indringing beperkt door een sluis in de rivier. Vanwege de goede hanteerbaarheid bij het bepalen van bijvoorbeeld oppervlakten van intergetijdegebied is in het TYPOS project gekozen voor de definitie van Fairbridge.

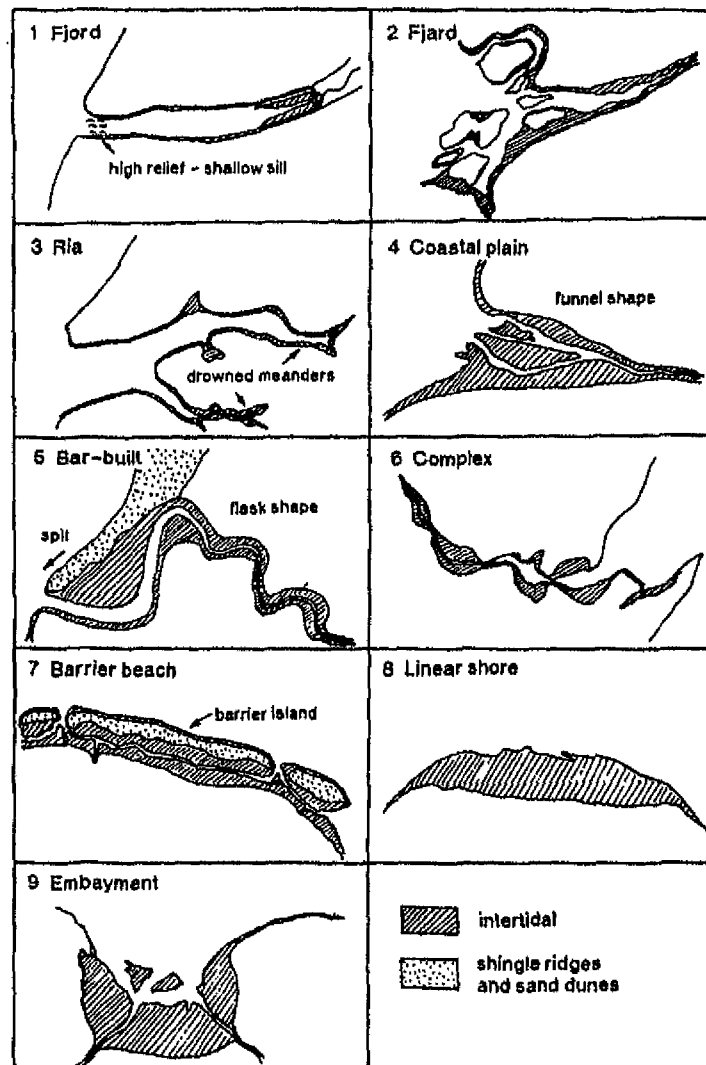
De grote variatie in typen van estuaria wordt in figuur 1 geïllustreerd. De typen zijn hier op grond van hun morfologie geklassificeerd, naar Fairbridge (1980) met aanvullingen van Davidson et al. (1991). Omdat estuaria als actieve geomorfologische systemen continu aan verandering onderhevig zijn, is het moeilijk een simpele klassificatie te maken. Estuaria kunnen onder invloed van verschillende geologische processen (gletschers en zeespiegelstijging bijvoorbeeld) achter elkaar gevormd zijn, of kunnen uit een aantal typen tegelijk bestaan, zoals bij een coastal plain estuarium dat in een baai uitmondt. Het Schelde estuarium lijkt het meest op het 'coastal plain' type. Dit type estuaria is ontstaan doordat bij stijging van de zeespiegel, na de laatste ijstijd, door gletschers uitgeslepen of reeds bestaande valleien onder water kwamen te staan. Net als riviervalleien hebben deze estuaria daarom globaal een driehoekig oppervlak dat wijder wordt richting zee, en een driehoekige dwarsdoorsnede. Uitgebreide gebieden met droogvallende platen komen voor en de bodem is bedekt met slik in het brakke gedeelte, dat in de richting van de monding steeds zandiger wordt. Coastal plain estuaria komen bijna uitsluitend voor op gematigde breedten, waar de hoeveelheid sediment die door de rivieren wordt afgevoerd relatief klein is.

Behalve naar vorm kunnen estuaria ook op grond van hun hydrologie worden ingedeeld. Biggs en Cronin (1981) geven hiervoor een schema, gebaseerd op Pritchard (1967) (tabel 1). Vier typen worden door hen onderscheiden op basis van onder andere de mate van menging en de vorm van de zoutgradiënt. Het Schelde estuarium is volgens dit schema een type C estuarium. Het nadeel van deze op processen gebaseerde klassificatie is dat een estuarium van type kan veranderen, bijvoorbeeld met fluctuaties in rivierafvoer gedurende het jaar. De morfologische indeling heeft dit nadeel niet (Davidson et al., 1991).

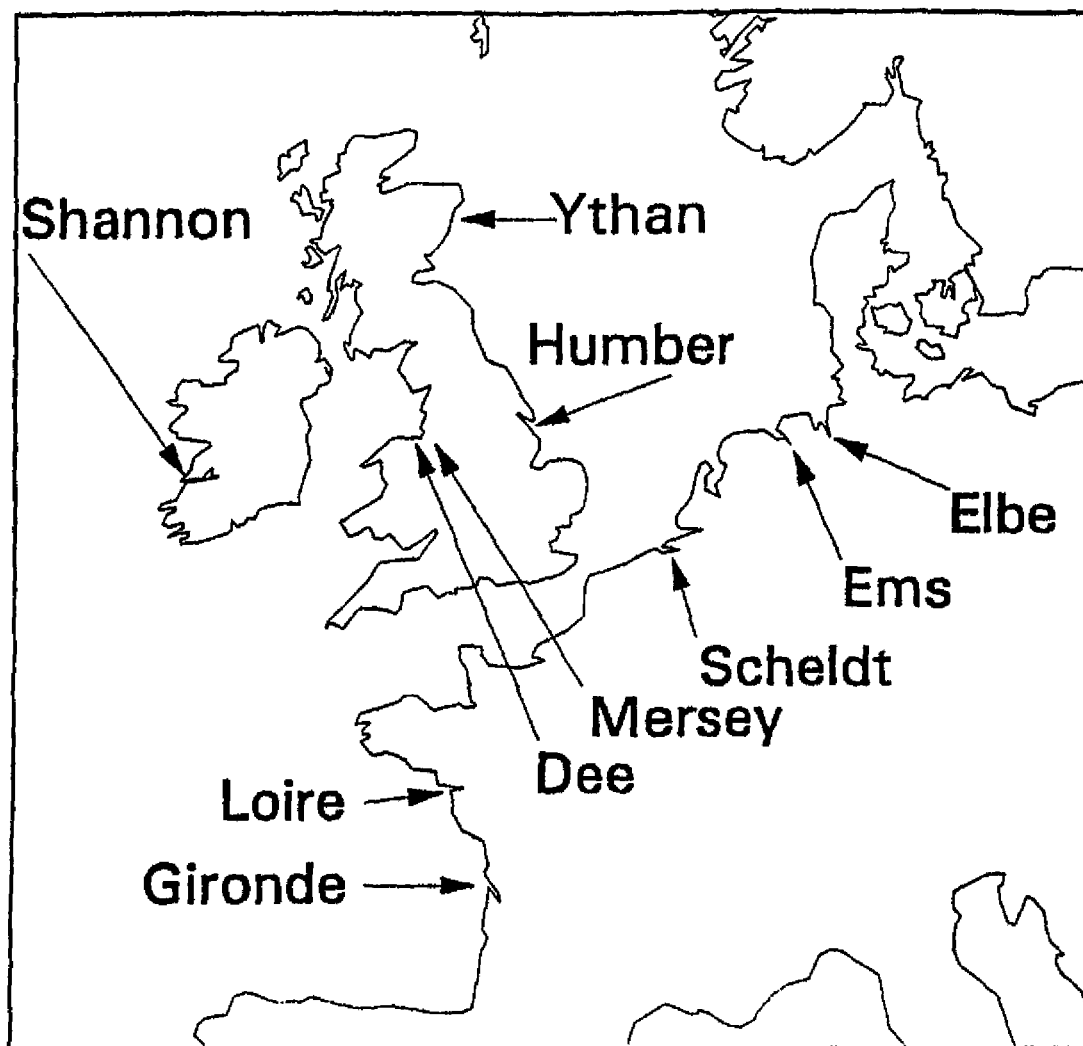
Tabel 1 Hydrologische indeling van estuaria volgens Biggs en Cronin (1981).

| Estuarium type | Dominante mengings-factor | Breedte-diepte ratio | Saliniteits-gradiënt                | Troebelheid | Biologische productiviteit |
|----------------|---------------------------|----------------------|-------------------------------------|-------------|----------------------------|
| A              | rivier                    | laag                 | longitudinaal & verticaal           | zeer hoog   | laag                       |
| B              | rivier, getij             | matig                | longitudinaal, verticaal & lateraal | matig       | zeer hoog                  |
| C              | getij, wind               | hoog                 | longitudinaal & lateraal            | hoog        | hoog                       |
| D              | getij, wind               | zeer hoog            | longitudinaal                       | hoog        | matig                      |

Figuur 1 Morfologische indeling van estuaria naar Fairbridge (1980, figuur uit Davidson et al., 1991)



Figuur 2 Plaats van de als referentie  
gekozen estuaria in Europa



### 3 Methode

#### 3.1 Motivatie gekozen estuaria

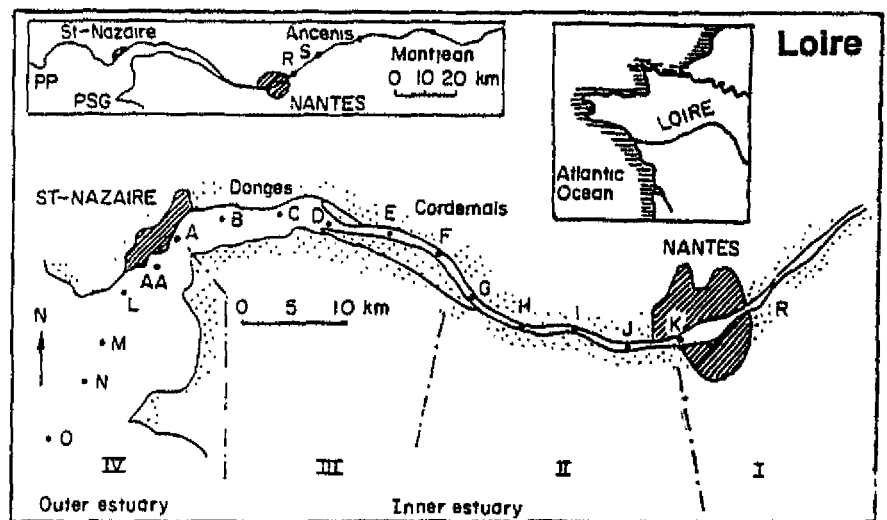
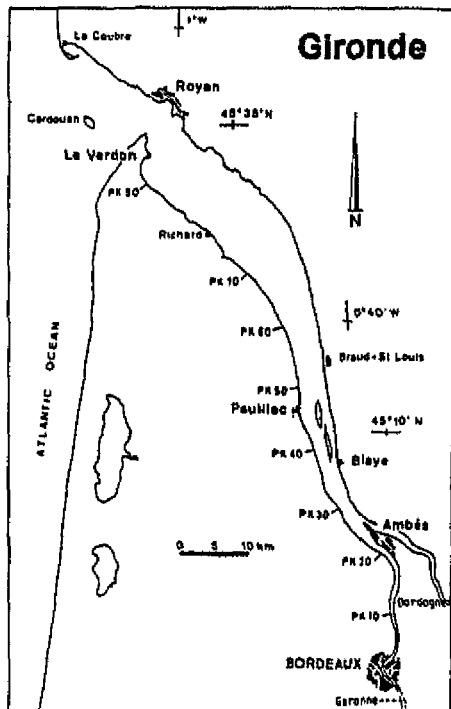
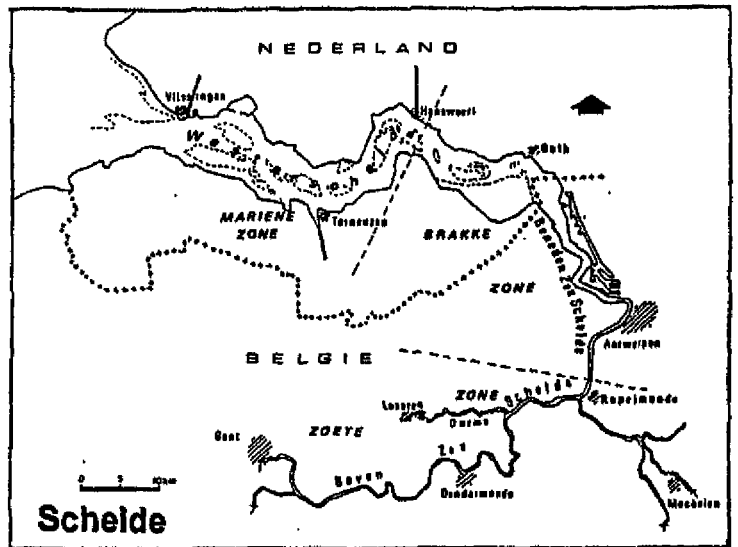
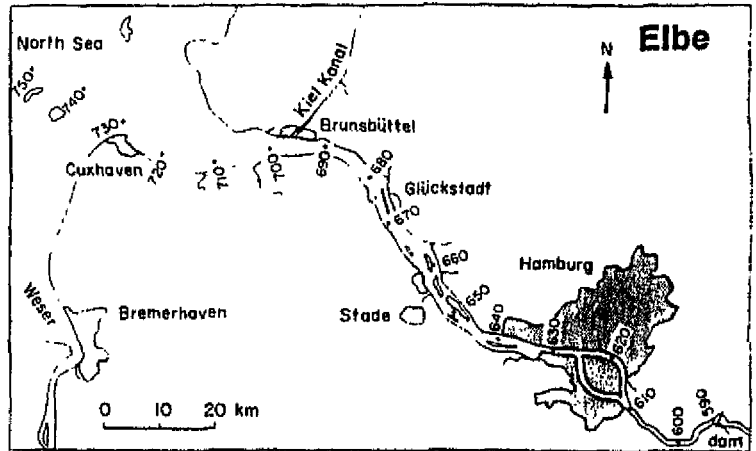
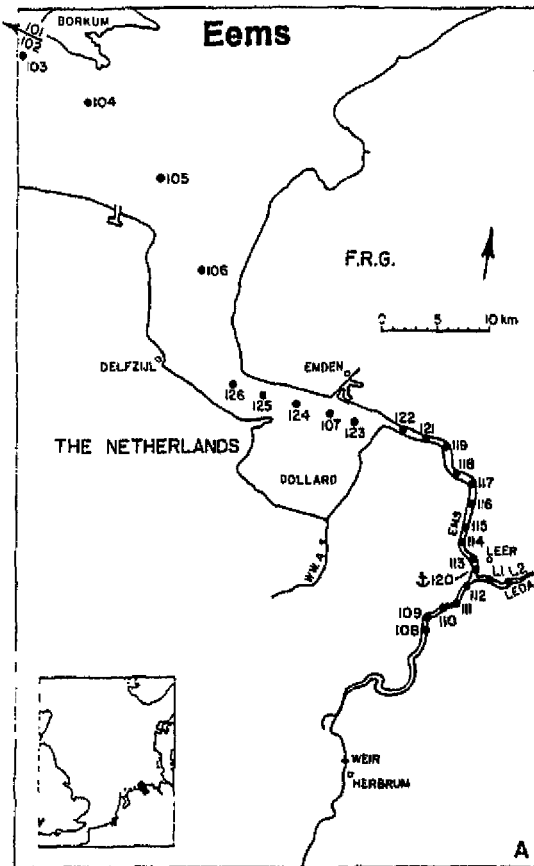
Als geografische referenties werden estuaria in noordwest Europa gekozen die van het zelfde morfologische type 'coastal plain' (fig. 1) zijn als het Schelde estuarium. De estuaria zijn niet van hetzelfde hydrologische type; de estuaria van de Eems en de Schelde vallen bijvoorbeeld onder type C, terwijl de Elbe, de Loire en de Gironde type B estuaria zijn. Bij het kiezen van referentie estuaria is in eerste instantie uitgegaan van een aantal grote estuaria waar binnen het EG project JEEP-92 (Joint European Estuarine Project on Major Biological Processes in European Tidal Estuaries, 1992) onderzoekscampagnes werden uitgevoerd: Eems, Gironde, Loire, Shannon en ook de Schelde. Deze lijst werd aangevuld met een aantal Britse estuaria, waarvoor een uitvoerig rapport beschikbaar was (Davidson et al., 1991): Dee, Humber, Mersey en Ythan. De Elbe werd later toegevoegd. Enkele aanvankelijk geselecteerde estuaria vielen af doordat gegevens erover niet of niet snel genoeg beschikbaar konden zijn (tabel 2). Het betrof hier onder andere de estuaria van de Exe, de Taag, de Severn en de Weser. Figuur 2 toont de ligging van de tien gekozen estuaria op de kaart van Europa, terwijl kaartjes van estuaria zelf in figuur 3 zijn opgenomen. De Ythan is verreweg het kleinste estuarium in de groep, waardoor bijvoorbeeld oppervlak en rivierafvoer veel kleiner zijn dan in de overige estuaria. Omdat het een relatief ongestoord estuarium is, en er veel over het ecosysteem bekend is, is de Ythan toch als referentie opgenomen.

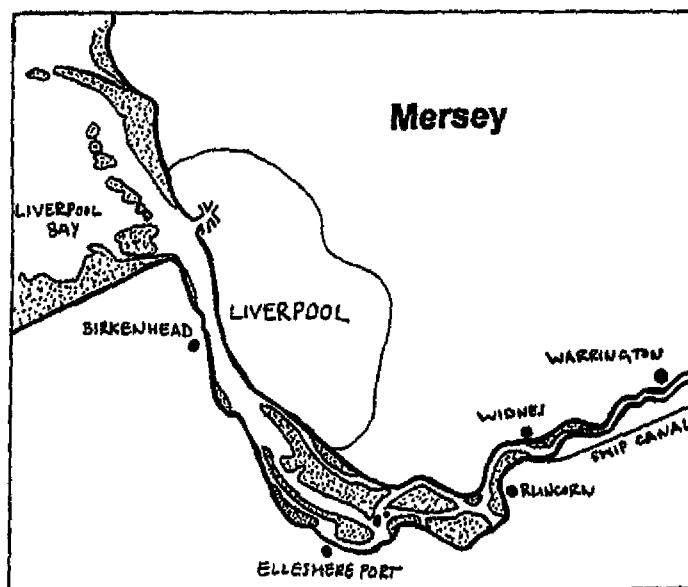
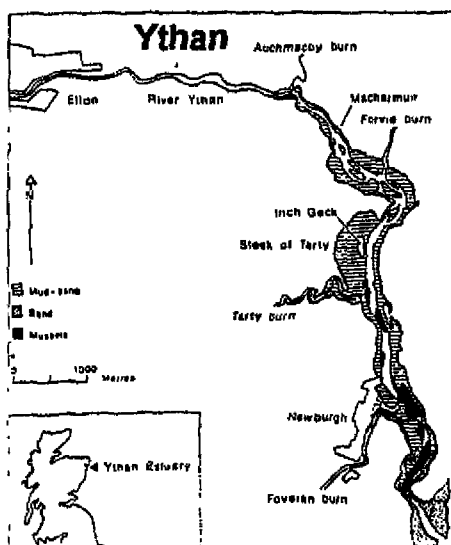
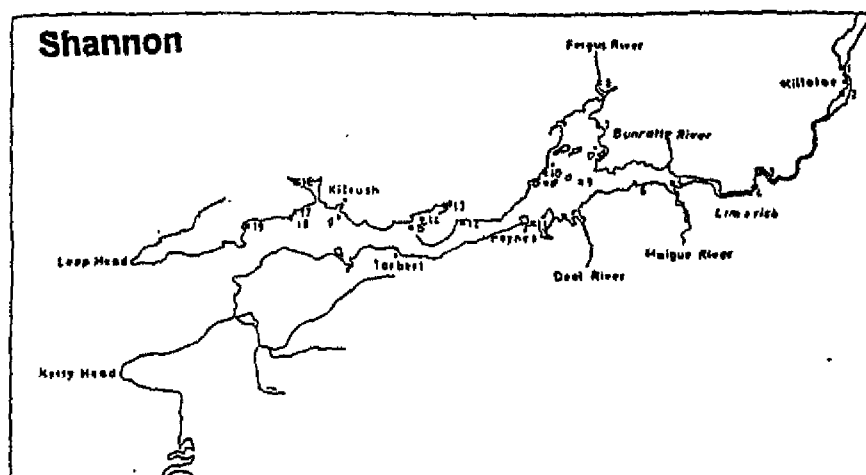
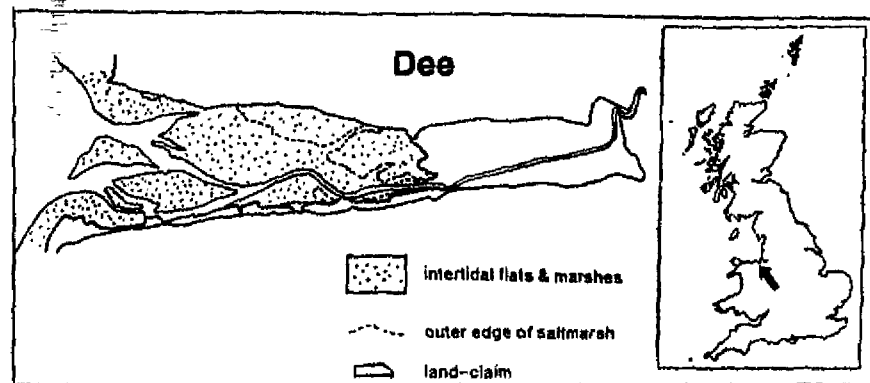
Tabel 2 Potentiële en uiteindelijk gekozen estuaria als geografische referenties voor het Schelde estuarium

| Estuarium | Land(en) | JEEP-92 | Afgefallen wegens             | Referentie |
|-----------|----------|---------|-------------------------------|------------|
| •Dee      | UK       |         |                               | •          |
| •Eems     | NL/D     | x       |                               | •          |
| •Elbe     | D        | x       |                               | •          |
| Exe       | UK       |         | gebrek aan gegevens           |            |
| •Gironde  | F        | x       |                               | •          |
| •Humber   | UK       |         |                               | •          |
| •Loire    | F        |         |                               | •          |
| •Mersey   | UK       |         |                               | •          |
| •Schelde  | NL/B     | x       |                               | •          |
| Severn    | UK       |         | extreem getijverschil         |            |
| •Shannon  | IR       | x       |                               | •          |
| Somme     | F        | x       | lagunevorm                    |            |
| Taag      | P        | x       | gebrek aan gegevens           |            |
| Tamar     | UK       |         | ria vorm, weinig gegevens     |            |
| Thames    | UK       |         | te complex (veel zijrivieren) |            |
| Weser     | D        |         | gebrek aan gegevens           |            |
| •Ythan    | UK       |         |                               | •          |

Landen: B=België, D=Duitsland, F=Frankrijk, IR=Ierland, NL=Nederland, P=Portugal, UK=Verenigd Koninkrijk

Figuur 3 Overzicht van de tien estuaria





### 3.2 Motivatie parameterkeuze

Om het Schelde estuarium met de geografische referenties te kunnen vergelijken was een set parameters nodig op grond waarvan dat kon gebeuren. Criteria voor het selecteren van parameters waren:

- karakteriserend en onderscheidend vermogen,
- kwantitatief uit te drukken,
- voldoende gegevens beschikbaar voor alle referenties,
- directe of indirecte stuurbaarheid door de mens.

Een eerste, lange lijst van parameters werd samengesteld door brainstormen met de begeleidingsgroep. Hierna werd een workshop over typologie van estuaria georganiseerd met onderzoekers van binnen en buiten het RIKZ (zie deelnemerslijst in de bijlage, en het verslag RIKZ/OS-94.816). Antropogene belasting van het estuarium met toxicanten had in eerste instantie geen prioriteit, en werd niet in de typologie opgenomen. De uiteindelijke lijst ontstond door een condensatie van de uit de workshop resulterende lange lijst tot een hanteerbare omvang. De lijst bevat primaire parameters en daaruit af te leiden samengestelde parameters of indices (tabel 3). De parameters zijn ingedeeld in de categorieën fysica, chemie, biologie en antropogene beïnvloeding.

Tabel 3 Lijst van parameters voor de typologie van estuaria. Met een ster gemerkte parameters worden in dit rapport behandeld, andere parameters/indexen worden niet behandeld omdat onvoldoende gegevens beschikbaar waren.

| Categorie                | Parameter                                                                    | Index                                                 |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Fysica                   | * rivierafvoer Q                                                             | * estuariumgetal $N=QT/V$                             |
|                          | * getijvolume V                                                              | - getijstroomsnelheid u                               |
|                          | * getijverschil                                                              | - getal van Pingree, maat voor stratificatie: $u^3/h$ |
|                          | * volume estuarium                                                           | - kombergingsgrafiek                                  |
|                          | * lengte                                                                     | * verblijftijd zoetwater                              |
|                          | * gemiddelde diepte h                                                        | - hydraulische (totale) verblijftijd                  |
|                          | - hydraulische ruwheid                                                       | * type volgens Pritchard-indeling                     |
|                          | - aantal parallelle geulen                                                   | * lichtklimaat                                        |
|                          | * oppervlak geulen, platen en schorren                                       |                                                       |
|                          | * oppervlak mosselbanken                                                     |                                                       |
|                          | * oppervlak zeegras                                                          |                                                       |
|                          | * oppervlak stroomgebied                                                     |                                                       |
|                          | - harde substraten                                                           |                                                       |
|                          | * bodemsamenstelling (mediane korrelgrootte, %POC)                           |                                                       |
|                          | * extinctie                                                                  |                                                       |
| Chemie                   | * seston, POC en nutriënten in rivier, monding, en max. of min. in estuarium | - gradiënten in estuarium                             |
|                          | - zoutgehalte                                                                | * verblijftijden                                      |
| Biologie                 | * primaire en secundaire biomassa                                            | * conservatief/im/exporterend                         |
|                          | * primaire en (-) secundaire productie                                       | - zoutgradiënt                                        |
|                          | * vissen (soortenaantal)                                                     | - ratio allochtone/autochtone productie               |
|                          | * overwinterende vogels                                                      | - biologische cycling index                           |
|                          | * zeehonden                                                                  | - ratio bentische/pelagische productie                |
|                          |                                                                              | * vogels/hectare fourageergebied                      |
| Antropogene beïnvloeding | * inpolderingen                                                              | * % ingepolderd oppervlak                             |
|                          | * baggeromvang                                                               | * baggeromvang per hectare geul                       |
|                          | * urbanisatiegraad                                                           |                                                       |
|                          | * scheepvaartintensiteit                                                     |                                                       |
|                          | * visserij-intensiteit                                                       |                                                       |
|                          | * recreatieintensiteit                                                       |                                                       |

Door de korte duur van het project en de beperkte beschikbaarheid van gegevens voor verschillende saliniteitszônes binnen de estuaria, was het slechts mogelijk gemiddelde waarden voor het gehele estuarium te gebruiken. Van de belangrijkste chemische parameters zijn concentraties bij de monding in zee en in de rivier opgenomen. Met minima en maxima in het estuarium is het dan mogelijk om de vorm van de estuariene gradiënt te schatten, en conservativiteit of im/exporterendheid van het estuarium te bepalen. Met de gemiddelden over het hele estuarium voor de biologische parameters is het mogelijk globale verschillen en overeenkomsten tussen de estuaria op te sporen.

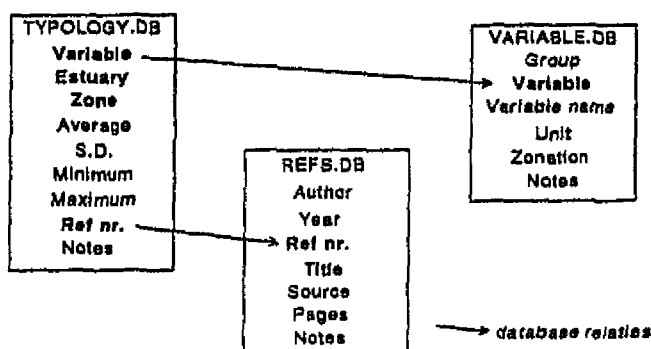
### 3.3 Verzamelen van gegevens

Voor de tien estuaria zijn waarden gezocht voor de parameters uit de lijst van tabel 2. Literatuur werd gezocht via de systemen van de bibliotheken van RIKZ en NIOO-CEMO, en via ASFA (Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts, op CD-ROM). Verder werden onderzoekers van de estuaria benaderd om moeilijk vindbare en/of ongepubliceerde gegevens te verkrijgen (voor hun adressen zie 6.4). De JEEP-92 database werd geraadpleegd, evenals rapporten van het JEEP-92 project. Omdat de database voor de meeste estuaria die erin zijn opgenomen slechts gegevens bevat van monstercampagnes in 1991 en 1992, zijn bij voorkeur literatuurwaarden gebruikt die over een langere periode zijn gemiddeld. In sommige gevallen (voornamelijk referentie 1) was de eenheid van de waarden niet te vinden, hier is voor de meest waarschijnlijke eenheid gekozen. De database is nog niet volledig gevuld, omdat niet alle gegevens konden worden gevonden, deels door de beperkte tijd die beschikbaar was en deels doordat voor veel parameters slechts een paar punten onderzocht zijn, en nog niet het hele estuarium. De verwachting is echter, dat dit op de grote lijn van de vergelijking weinig invloed zal hebben.

### 3.4 Database opzet

In navolging van de samenstellers van de JEEP-92 database werd gekozen voor het programma Paradox for Windows, waarmee flexibele relationele databases kunnen worden opgezet. Figuur 4 geeft een overzicht van de structuur van de TYPOS database, bestaande uit drie tabellen die door middel van corresponderende velden aan elkaar gekoppeld kunnen worden. Van elke parameterwaarde is met referentienummers en 'notes' te achterhalen uit welke literatuur referentie hij gehaald is, en wat bijzonderheden over bijvoorbeeld plaats, jaar of jaargetijde van de meting zijn. Het zal goed mogelijk zijn de database ook voor latere doeleinden buiten het TYPOS project te gebruiken. Het programma Paradox maakt het mogelijk zeer gedetailleerde vragen aan de database te stellen, en data naar veel formaten, zoals bijvoorbeeld Lotus spreadsheet, te exporteren.

Figuur 4 Structuur van de TYPOS database



## 4 Resultaten

Hieronder worden de gegevens uit de TYPOS database grafisch weergegeven, of enkel beschreven als er erg weinig waarden beschikbaar zijn. De volgorde van de parameterlijst in tabel 3 wordt aangehouden bij de presentatie. In veel grafieken wordt het gemiddelde door een horizontaal streepje, en de range door een witte balk weergegeven. Het is mogelijk dat voor een estuarium alleen het gemiddelde of alleen de range beschikbaar is. Er zijn geen gegevens voor estuaria waarvoor geen staaf, streep of balk te zien is. Voor de duidelijkheid zijn de namen van deze estuaria wel in de grafieken opgenomen. De getallen boven in de grafiek verwijzen naar de referenties waaruit de gegevens komen. Deze referenties zijn terug te vinden in 6.2. Vaak hebben de estuaria dezelfde naam als de erin uitmondende rivier (Dee, Eems, Elbe, Loire, Mersey, Schelde, Shannon en Ythan). Met de naam wordt in de tekst altijd het estuarium bedoeld, tenzij er expliciet bij vermeld is dat het de rivier betreft.

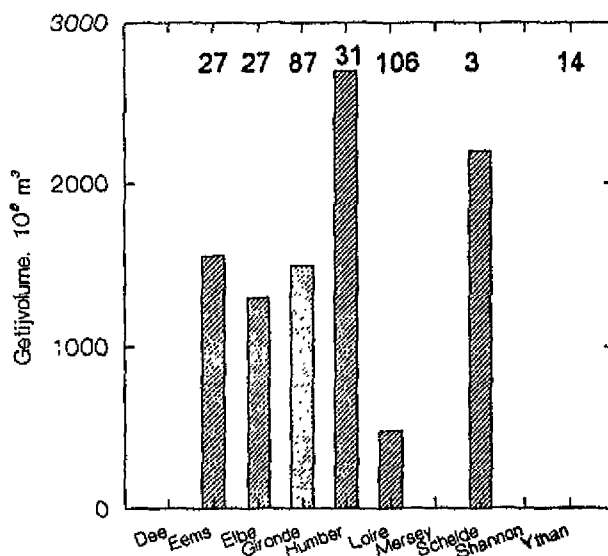
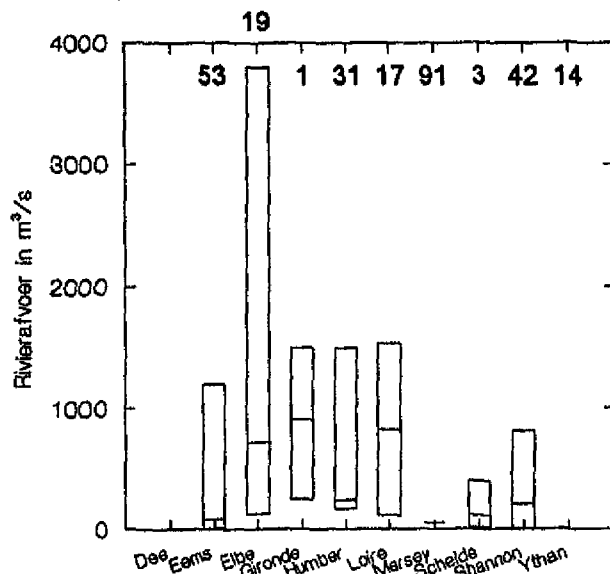
### 4.1 Parameters

#### 4.1.1 Fysica

**Rivierafvoer (figuur 5)** De ranges van de rivierafvoer bevatten de extreem lage en hoge waarden. Het was niet mogelijk op dezelfde manier gemeten extreme waarden voor elk estuarium te verkrijgen. Het gemiddelde is een langjarig gemiddelde. Elbe, Gironde en Loire hebben een relatief hoge gemiddelde afvoer, terwijl bijvoorbeeld de Eems en de Humber hoge extremen hebben. De Schelde heeft samen met de overige estuaria een lagere gemiddelde afvoer van 100 - 200 m<sup>3</sup>/s.

**Getijvolume (figuur 6)** Dit is de som van eb- en vloedvolume aan de monding van het estuarium. De getijvolumen van de Humber en de Schelde steken ver boven de andere estuaria uit. In combinatie met hun relatief lage gemiddelde rivierafvoer (fig. 5) duidt dit op een grote invloed van de zee in deze estuaria. Een estuarium als de Loire met een relatief klein getijvolume en een grote rivierafvoer heeft een veel grotere invloed van de rivier.

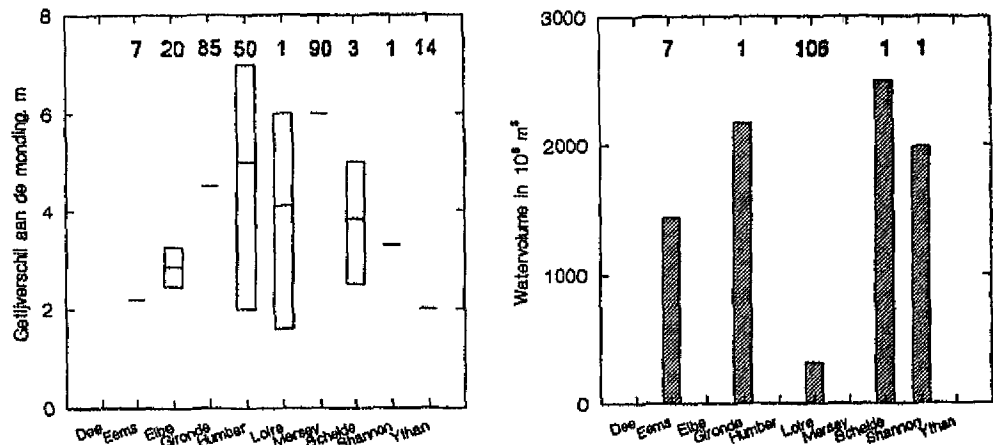
Figuur 5 Rivierafvoer in m<sup>3</sup>/s  
Figuur 6 Getijvolume in 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>



**Getijverschil** (figuur 7) aan de monding van het estuarium. De meeste estuaria zijn 'macrotidal' net als het Schelde estuarium, en hebben een getijverschil van meer dan 2 meter. De Eems (2.2 m) en de Ythan (2 m) hebben een relatief klein getijverschil. Het grootste gemiddelde getijverschil komt voor in de Mersey. Daar komen maxima van 9 meter voor (niet in figuur).

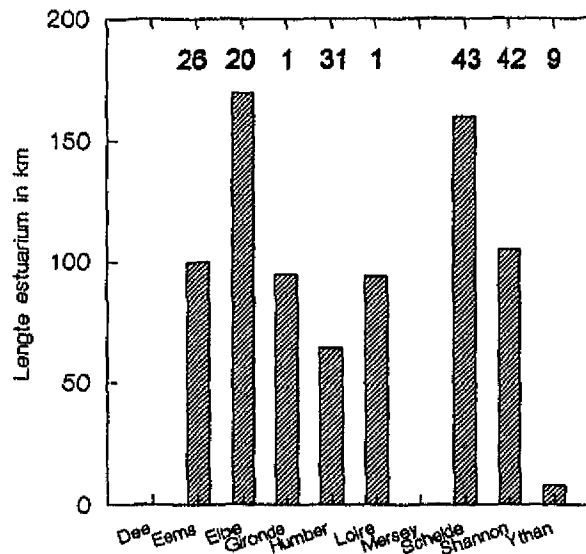
**Volume van het estuarium** (figuur 8) Voor vijf estuaria zijn waarden gevonden. Helaas is slechts van Eems en Gironde bekend onder welk niveau het volume is berekend (resp. gemiddeld zeeniveau en hoogwater).

**Figuur 7** Getijverschil in meters  
**Figuur 8** Volume van het estuarium  
in  $10^6 \text{ m}^3$



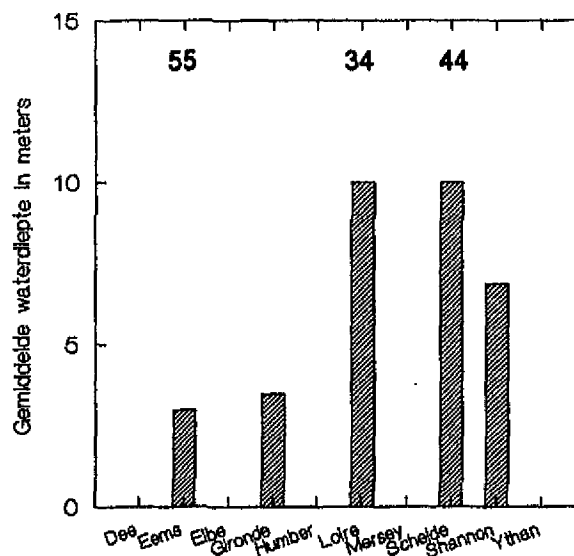
**Lengte van het estuarium** (figuur 9) gerekend van de monding in zee tot waar de getij-invloed ophoudt op de rivier. In een aantal referenties wordt niet aangegeven welke definitie van een estuarium wordt gehanteerd bij het berekenen van de lengte. Voor de Schelde, de Eems, de Elbe, de Loire, de Shannon en de Ythan is de lengte gerekend volgens de definitie van Fairbridge (1980), dus van het punt waar de getij-invloed op de rivier ophoudt tot de monding in zee. In Eems, Elbe, Shannon en Schelde wordt de getij-invloed begrensd door sluisen of dammen. Schelde en Elbe hebben de langste estuaria van de groep.

**Figuur 9** Lengte van het estuarium  
in km, gemeten van het einde van de  
getij-indringing tot de monding



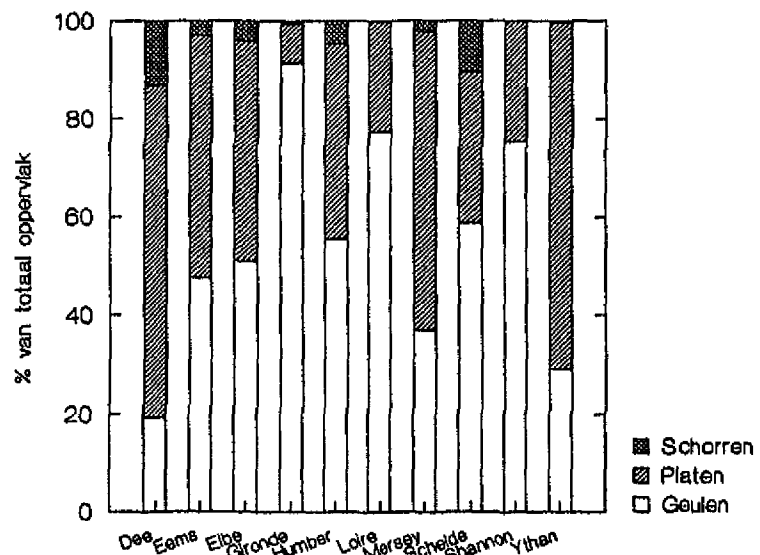
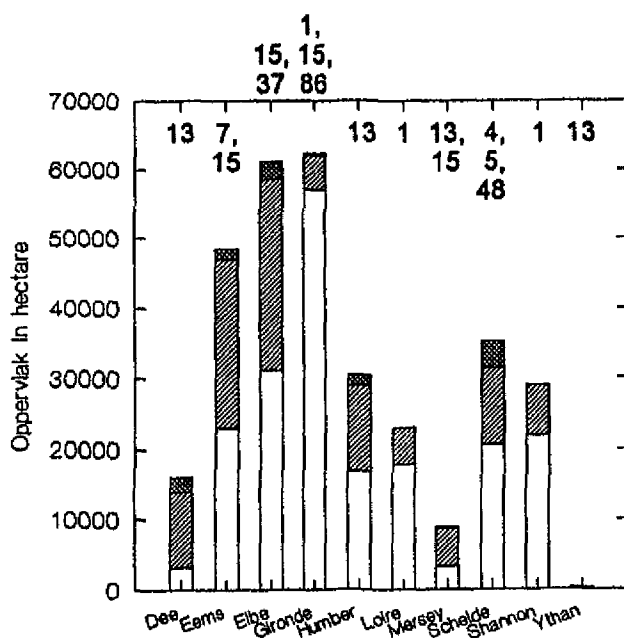
**Gemiddelde waterdiepte (figuur 10)** De diepten voor Eems, Gironde en Shannon zijn berekend door het estuariumvolume (fig. 8) door het oppervlak (fig. 11) te delen. In de literatuur worden meestal slechts diepten van (vaar)geulen gegeven.

**Figuur 10** Gemiddelde waterdiepte in meters



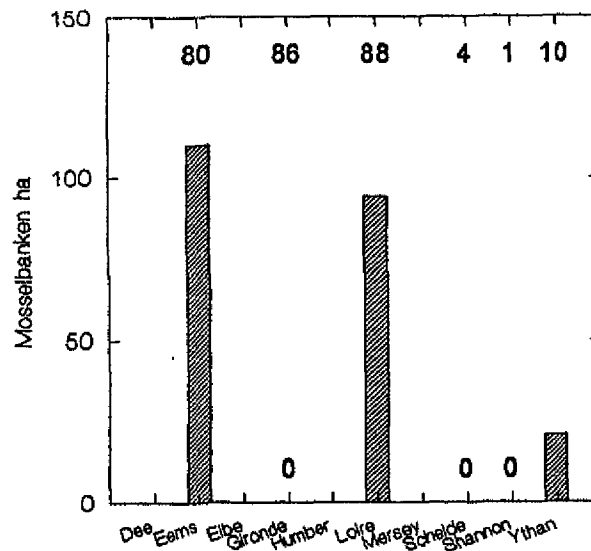
**Oppervlak van geulen, platen en schorren (figuur 11 & 12)** Het oppervlak is absoluut (fig. 11) en relatief ten opzichte van het totaal (fig. 12) uitgezet. Er is een aanzienlijke variatie in totaal oppervlak, met een range van de Ythan (282 ha) tot de Gironde (62.500 ha). Het Schelde estuarium neemt een plaats in het midden in. In figuur 12 valt het op, dat Gironde, Loire en Shannon een opvallend groot aandeel geulen hebben. Ook hier neemt de Schelde met Eems, Elbe en Humber een middenpositie in. In 4.6 zal het geuloppervlak gerelateerd worden aan de omvang van het baggerwerk en het ingepolderde gebied van de estuaria. Het grote aandeel schoroppervlak in Dee en Schelde valt op, terwijl Dee, Ythan en Mersey voor meer dan de helft uit platen bestaan.

**Figuur 11** Oppervlakteverdeling van de estuaria in hectare  
**Figuur 12** Oppervlakteverdeling van de estuaria in procenten



**Mosselbanken** (figuur 13) zijn niet aanwezig in Gironde, Schelde en Shannon, en met rond de 100 ha vertegenwoordigd in Eems en Loire. Voor de overige estuaria zijn geen gegevens gevonden.

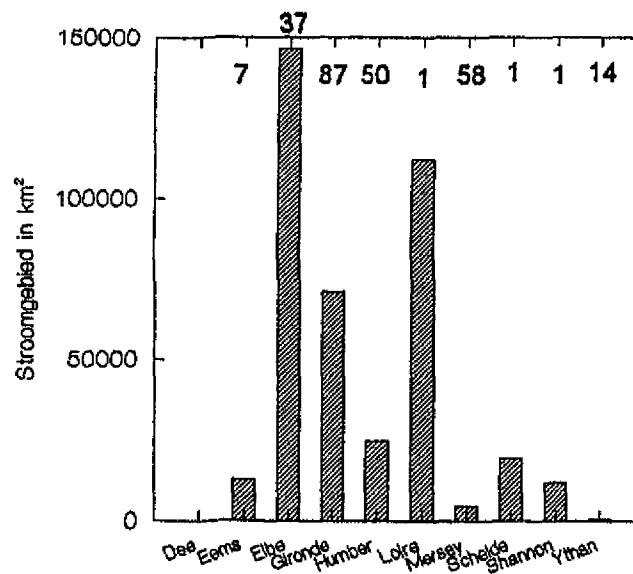
**Figuur 13** Oppervlak van mosselbanken in hectare



**Zeegrasvelden** zijn niet aanwezig in de Loire, en komen voor in Eems en Schelde met respectievelijk 15 en 5 ha. Voor de overige estuaria zijn geen gegevens gevonden.

**Oppervlakte van het stroomgebied** (figuur 14) Grote verschillen in oppervlak tussen grote rivieren zoals Elbe en Loire, en relatief kleine rivieren zoals Eems, Schelde en Shannon.

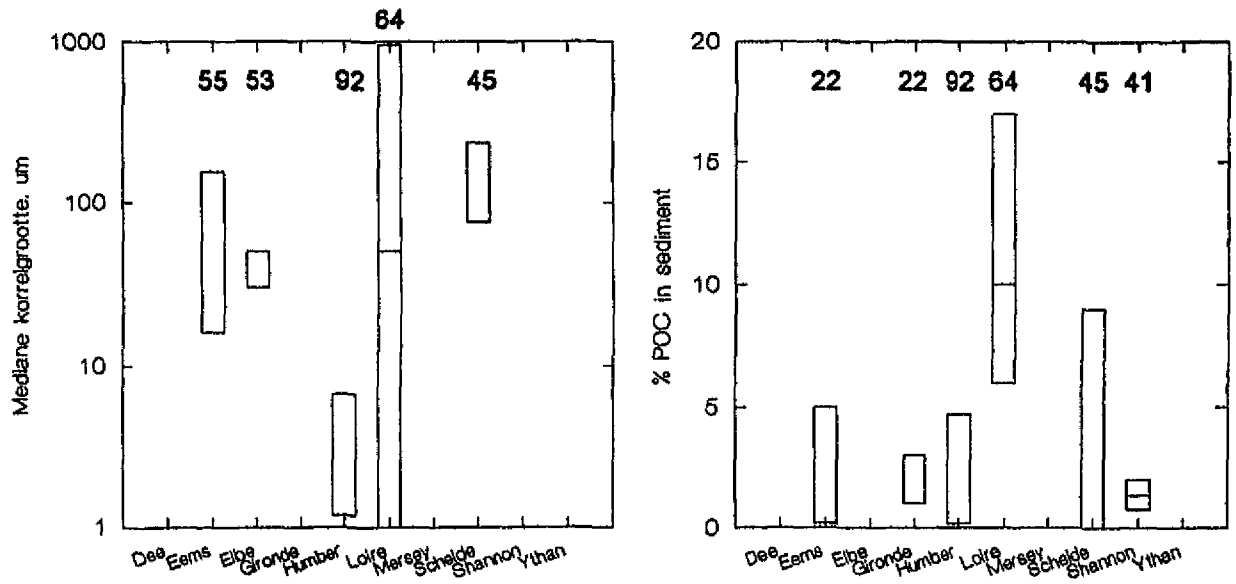
**Figuur 14** Oppervlak van het stroomgebied in km<sup>2</sup>



**Harde substraten** zijn in alle estuaria waar inpolderingen hebben plaatsgehad in ieder geval aanwezig in de vorm van dijken. Voor Elbe, Gironde, Shannon en Ythan zijn nog geen gegevens over inpolderingen gevonden. In het Eems estuarium bevindt zich een lage leidam tussen de hoofdgeul en het Dollard gebied, de Gelsedamm. In de monding van het Mersey estuarium in Liverpool Bay zijn ook leidammen aangelegd. Gegevens over rotsbodems in de estuaria zijn niet gevonden.

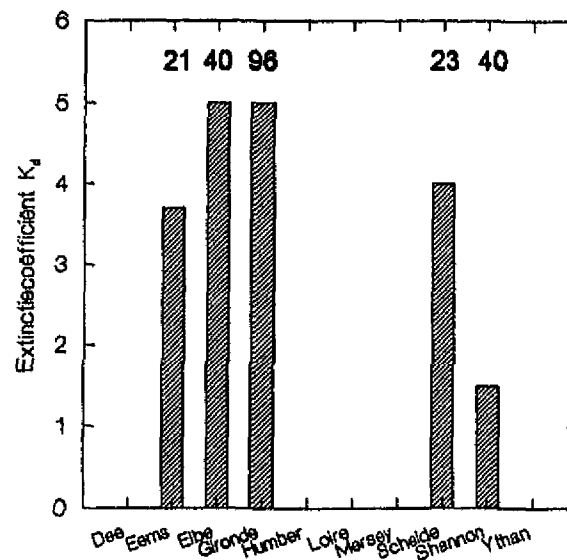
**Mediane korrelgrootte en POC-gehalte van het sediment (figuur 15 & 16)** Voor deze parameters zijn voornamelijk waarden te vinden voor één of een aantal stations in het estuarium. De tot nu toe gevonden ranges en estuariene gemiddelden wijzen op aanzienlijke verschillen.

**Figuur 15** Mediane korrelgrootte van het sediment  
**Figuur 16** POC-gehalte van het sediment



**Extinctiecoëfficiënt  $K_d$  (figuur 17)** De extinctiecoëfficiënt is omgekeerd evenredig met de helderheid van het water. De parameter is vooral van belang voor de primaire productie van het fytoplankton. Voor vijf estuaria is een waarde gevonden. De Shannon is het helderst, terwijl de overige vier estuaria ongeveer even helder zijn. De  $K_d$  voor de Gironde geldt bij een sestongehalte van 100 tot 200 mg/l. Omdat het estuarium erg troebel is, zullen meestal hogere waarden gemeten worden, tot  $40 \text{ m}^{-1}$  in de maximale troebelheidszone.

**Figuur 17** Extinctiecoëfficiënt  $K_d$  in  $\text{m}^{-1}$

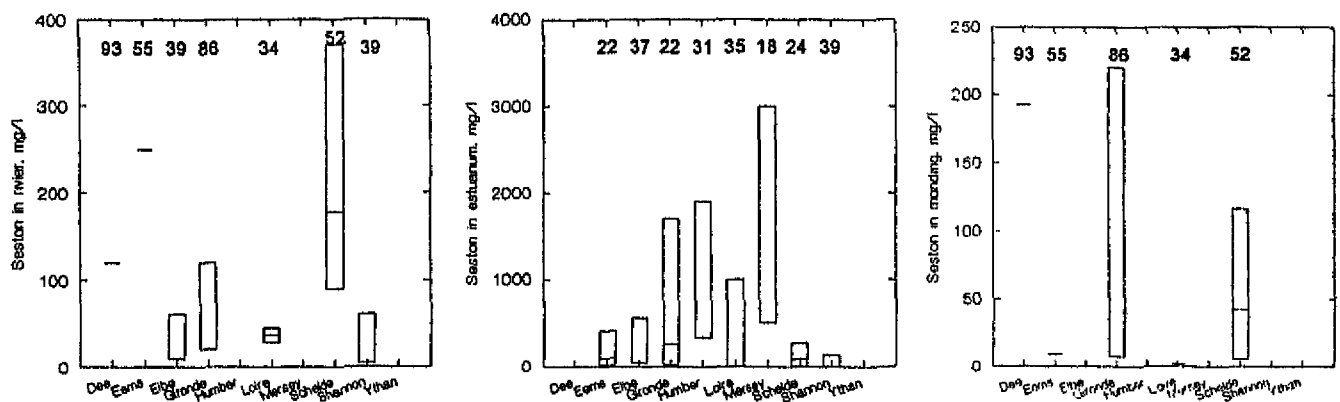


#### 4.1.2 Chemie

Van seston, POC en nutriënten zijn de jaargemiddelde concentraties in de rivier en bij de monding van het estuarium gezocht. Voor het gehele estuarium is ook een range en zo mogelijk een gemiddelde gezocht. Van POC en nitriet zijn erg weinig gegevens gevonden, vergelijking heeft weinig zin.

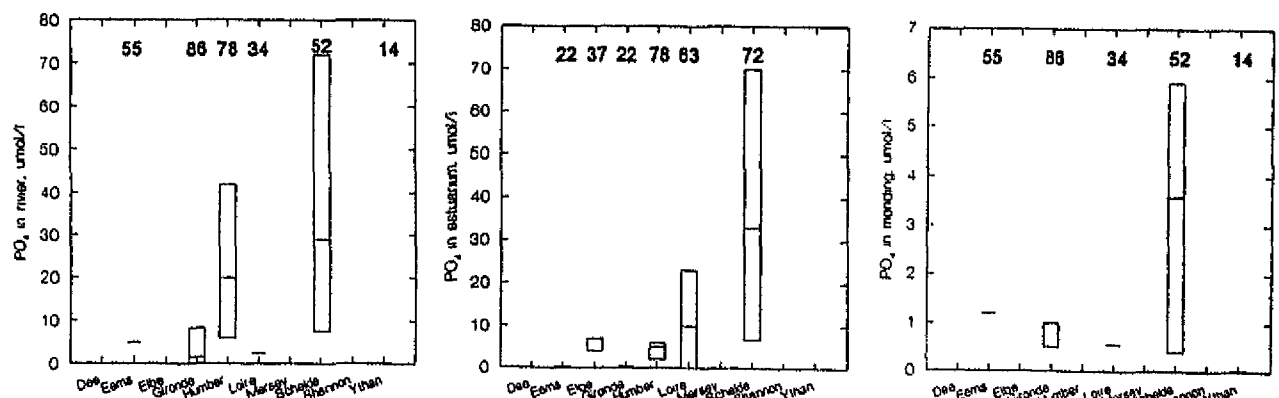
**Seston in rivier, estuarium en monding (figuur 18, 19 & 20)** In de rivier valt de hoge concentratie in de Schelde op. In het estuarium neemt de Schelde een plaats onder het gemiddelde in. Van de Gironde zijn piekwaarden van 10 g/l bekend. In de monding is door gebrek aan gegevens geen vergelijking te maken. Van de Eems, Elbe, Gironde, Loire, Schelde en Shannon is bekend dat ze een maximum turbiditeitszone hebben, waar hoge sestongehalten worden gemeten. De ligging van die zone in het estuarium kan verschuiven, naar de zee bij een hoge, en meer landinwaarts bij een lage rivierafvoer.

Figuur 18, 19 & 20 Sestonconcentratie in mg/l, in respectievelijk rivier, estuarium en monding



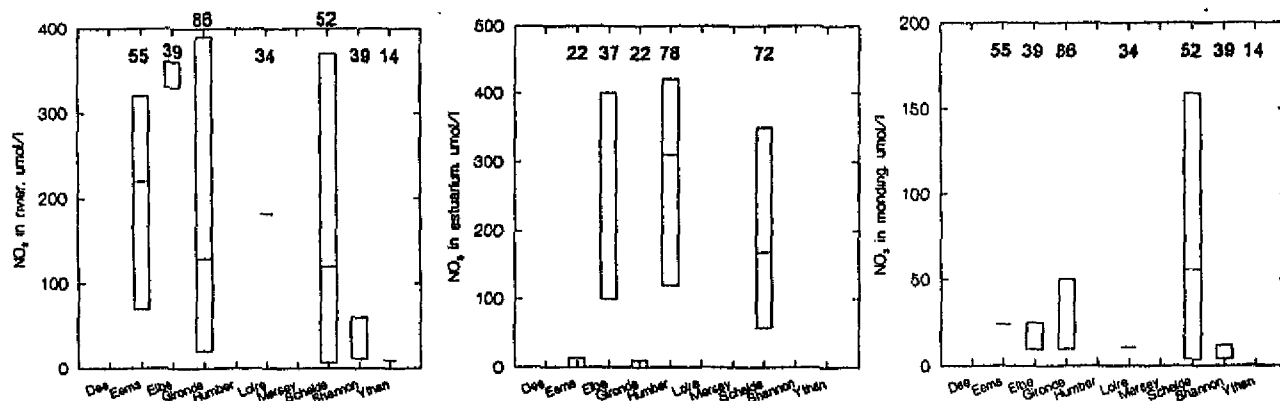
**Fosfaatconcentraties in rivier, estuarium en monding (figuur 21, 22 & 23)** Duidelijk is dat de hoogste gemiddelde waarden in de Schelde optreden, zowel voor de rivier als voor het estuarium en de monding. De andere estuaria hebben een veel lagere fosfaatbelasting.

Figuur 21, 22 & 23 Fosfaatconcentraties in  $\mu\text{mol/l}$ , in respectievelijk rivier, estuarium en monding



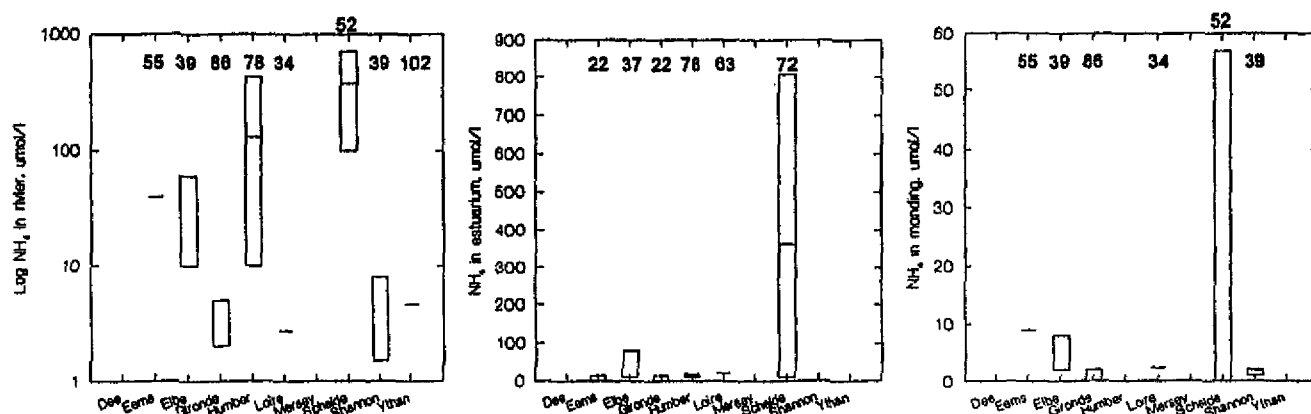
**Nitraatconcentraties in rivier, estuarium en monding (figuur 24, 25 & 26)** Van de rivieren heeft de Schelde de grootste range in nitraatconcentraties, de waarden en ranges van alle andere estuaria waarvoor gegevens zijn vallen daar binnen. In de Loire is de concentratie in het estuarium het hoogst, terwijl de ranges in Elbe, Humber en Schelde vrijwel hetzelfde zijn. Eems en Gironde hebben veel lagere nitraatconcentraties in de estuaria. In de monding liggen de nitraatconcentraties van de andere estuaria allemaal onder het gemiddelde van de Schelde.

Figuur 24, 25 & 26 Nitraatconcentraties in  $\mu\text{mol/l}$ , in respectievelijk rivier, estuarium en monding



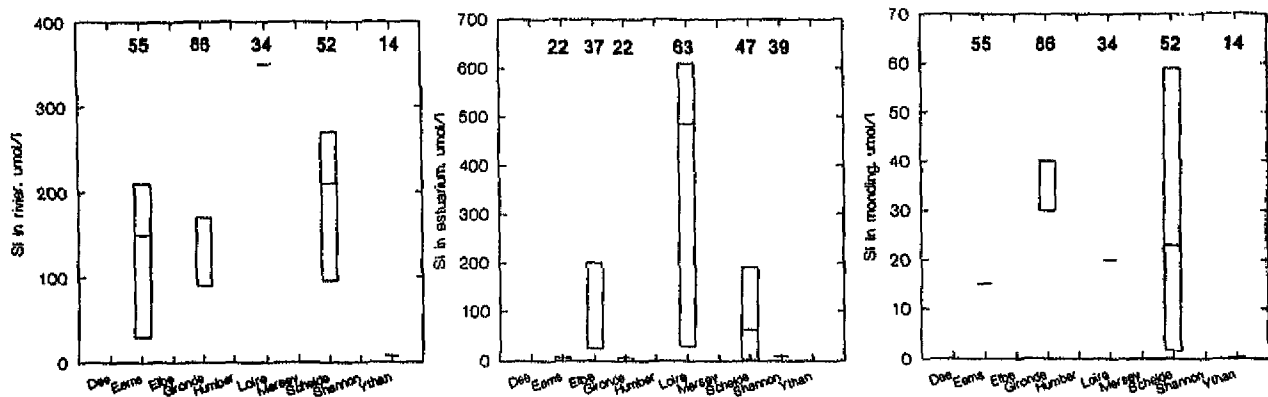
**Ammoniumconcentraties in rivier, estuarium en monding (figuur 27, 28 en 29)** Bij de monding en in het estuarium heeft de Schelde verreweg de hoogste ammoniumconcentraties, alleen in het estuarium komt de Humber in de buurt. In de monding liggen de concentraties van de andere estuaria allemaal onder het gemiddelde van de Schelde.

Figuur 27, 28 & 29 Ammoniumconcentraties in  $\mu\text{mol/l}$ , in respectievelijk rivier, estuarium en monding. Figuur 28 heeft een logaritmische y-as.



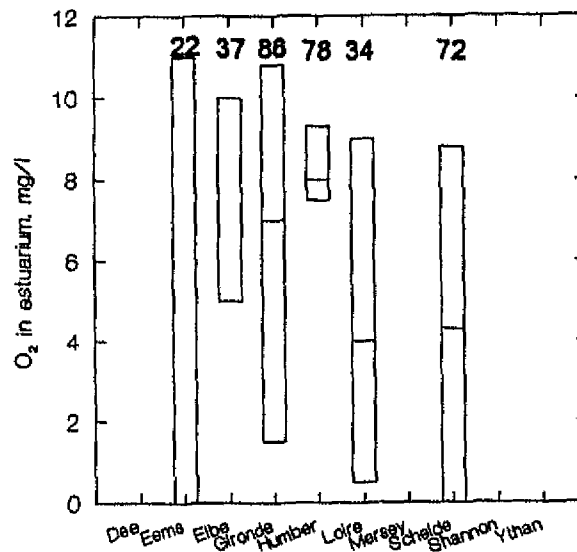
**Silicaatconcentraties in rivier, estuarium en monding (figuur 30, 31 & 32)** In de rivier en het estuarium heeft de Loire de hoogste concentratie, in de monding is het gemiddelde slechts iets lager dan dat van de Schelde. Eems en Elbe vallen ook binnen de range van de Schelde, terwijl de Ythan veel lager ligt.

**Figuur 30, 31 & 32** Silicaatconcentratie in  $\mu\text{mol/l}$ , in respectievelijk rivier, estuarium en monding



**Zuurstofconcentratie in het estuarium (figuur 33)** Voor Eems, Elbe en Humber zijn de zuurstofconcentraties uit zuurstof-saturaties omgerekend (100% saturatie komt ongeveer overeen met  $10 \text{ mg O}_2/\text{l}$ ). De zuurstofconcentraties in Eems, Schelde en Mersey (niet afgebeeld) kunnen periodiek tot nul zakken, terwijl de concentratie in de Loire ook vrij laag kan worden.

**Figuur 33** Zuurstofconcentratie in  $\text{mg/l}$  in het estuarium



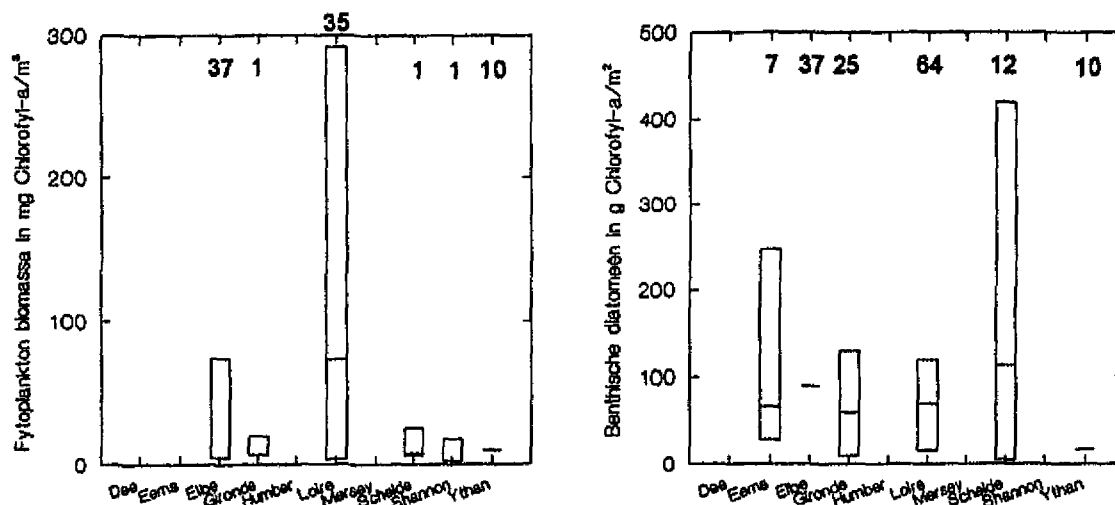
### 4.1.3 Biologie

**Fytoplankton biomassa** (figuur 34) uitgedrukt in mg Chlorofyl-a per  $m^3$ . Het hoogste maximum en de hoogste gemiddelde biomassa komen voor in de Loire. De biomassa's in de overige estuaria waarvoor gegevens zijn, liggen onder het gemiddelde van de Loire, dat alleen door het maximum van de Elbe benaderd wordt.

**Benthische diatomeeën biomassa** (figuur 35) in g Chlorofyl-a per  $m^2$ . De gegevens van alle andere estuaria vallen binnen de range van de Schelde, waarschijnlijk als gevolg van het feit dat de diatomeeën daar erg gedetailleerd zijn onderzocht. Alle gemiddelde biomassa's liggen onder die van de Schelde.

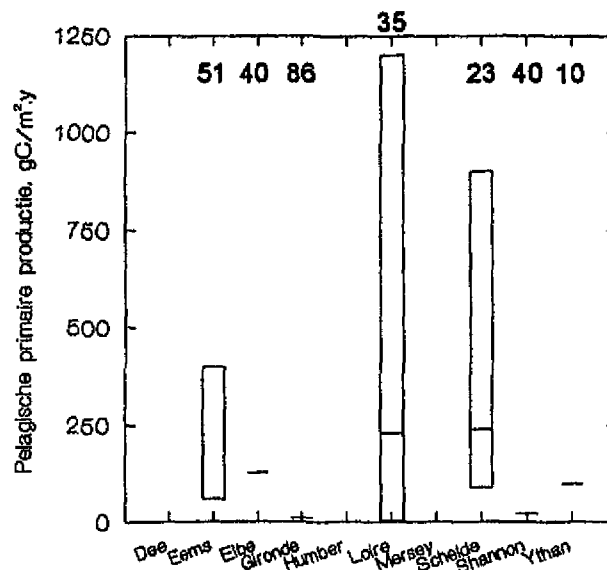
Figuur 34 Fytoplankton biomassa in mg Chlorofyl-a/ $m^3$

Figuur 35 Benthische diatomeeën biomassa in g Chlorofyl-a/ $m^2$



**Pelagische primaire productie** (figuur 36) in  $gC/m^2$ .jaar. De hoogste jaargemiddelde productie en het hoogste maximum treden op in Loire en Schelde. In de Eems varieert de productie van  $400 gC/m^2$ .jaar in de mariene zone tot  $60 gC/m^2$ .jaar in de Dollard. De waarden voor Elbe en Ythan liggen lager. Dit zijn echter allemaal bruto productiegetallen, waarin niet is gecorrigeerd voor de respiratie van het fytoplankton. Als dat wel gebeurt, komen de getallen veel lager uit. Voor de Schelde bijvoorbeeld is de productie dan gemiddeld  $41 gC/m^2$ .y (Soetaert et al. 1992, ref.8).

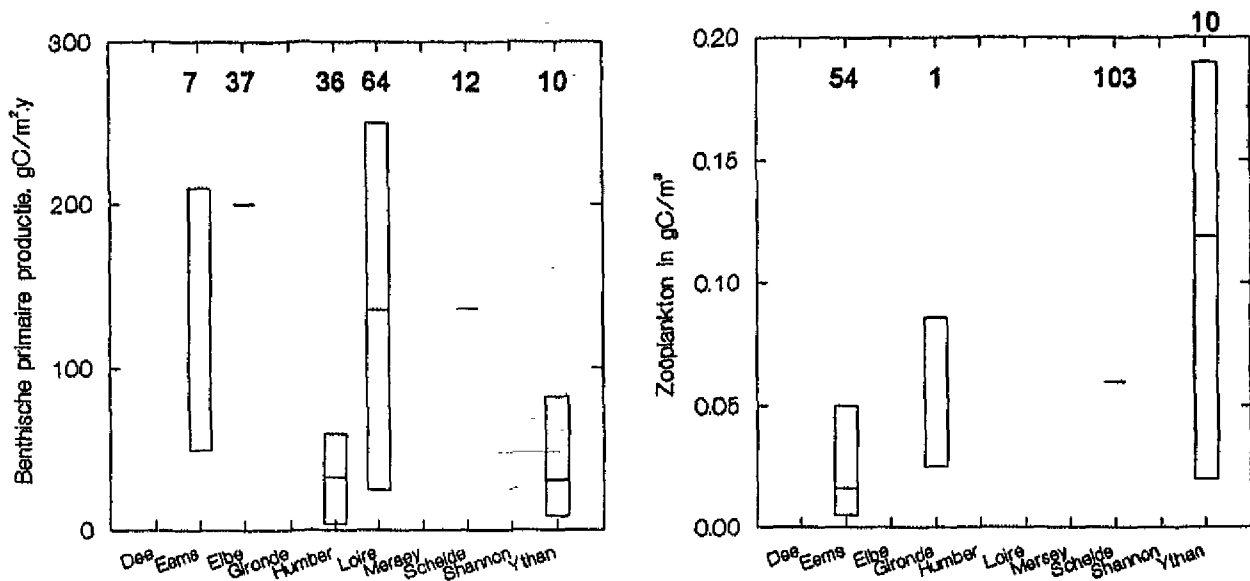
Figuur 36 Pelagische (fytoplankton) primaire productie in  $gC/m^2$ .jaar



**Benthische primaire productie (figuur 37)** De jaargemiddelde producties liggen een factor 4 uit elkaar. Producties van meer dan 100 gC/m<sup>2</sup>.jaar werden gerapporteerd voor Elbe, Eems, Loire en Schelde. In Humber en Ythan vindt minder productie plaats.

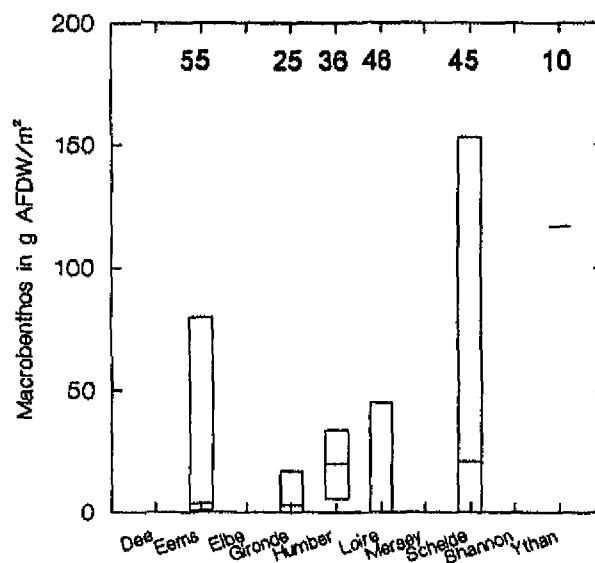
**Zoöplankton biomassa (figuur 38)** Er zijn waarden voor slechts vier estuaria. De Schelde neemt hier een middenpositie in.

**Figuur 37** Benthische (diatomeeën) primaire productie in gC/m<sup>2</sup>.jaar  
**Figuur 38** Biomassa van het zoöplankton in gC/m<sup>3</sup>



**Macrobenthos biomassa (figuur 39)** Ranges in macrobenthos biomassa zijn overal groot, doordat het intergetijdegebied plaatselijk sterk kan verschillen in geschiktheid voor bepaalde soorten. De meeste ranges beginnen waarschijnlijk daarom ook bij nul. De hoogste gemiddelde biomassa wordt gevonden in de Ythan, gevolgd door Schelde en Humber.

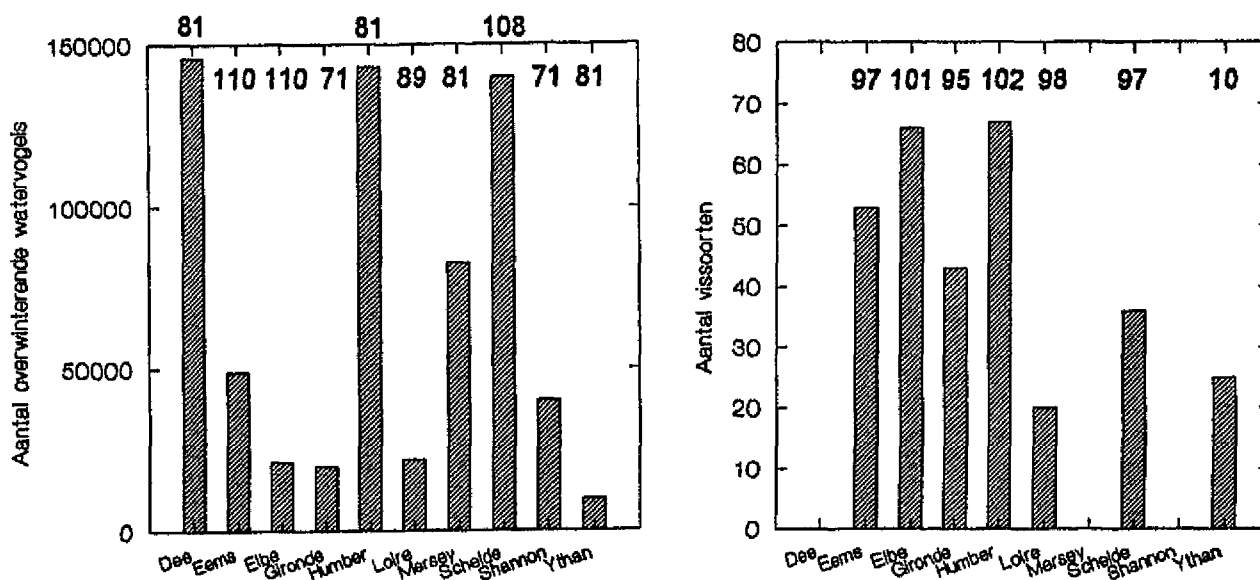
**Figuur 39** Macrobenthos biomassa in g AFDW/m<sup>2</sup>



**Overwinterende watervogels (figuur 40)** Watervogels zijn steltlopers, ganzen en eenden. Er is zoveel mogelijk gezocht naar gemiddelde aantallen voor januari, de maand waarin internationale watervogeltellingen plaatsvinden. Voor de Engelse estuaria en de Elbe en de Eems zijn gemiddelde winteraantallen gebruikt. Dee, Humber en Schelde hebben 140.000 overwinteraars. De andere estuaria herbergen minder watervogels in de winter. Een verband met estuariumoppervlak zal in 4.2 worden gelegd.

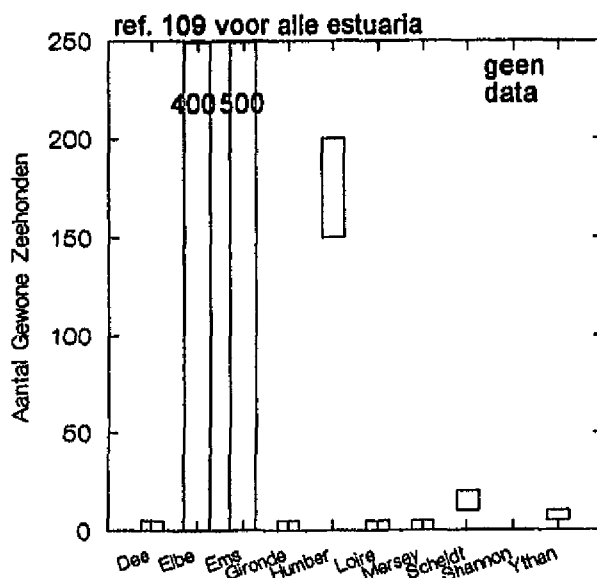
**Aantal vissoorten (figuur 41)** Het gaat hier om alle soorten die in het estuarium zijn waargenomen. Schelde, Loire en Ythan liggen onder het gemiddelde.

**Figuur 40** Aantal overwinterende watervogels in het estuarium  
**Figuur 41** Aantal vissoorten die voorkomen in het estuarium



**Aantal Gewone Zeehonden (figuur 42)** Dr P. Reijnders (IBN-DLO Texel) heeft een schatting gemaakt van recente aantallen (periode 1992-1994) van de Gewone Zeehond in de tien estuaria. Elbe en Eems hebben de grootste populaties, gevolgd door de Humber. De overige estuaria herbergen elk minder dan 10 zeehonden. Van het aantal zeehonden in de Shannon viel geen schatting te maken.

**Figuur 42** Aantal Gewone Zeehonden in het estuarium



#### 4.1.4 Antropogene beïnvloeding

**Inpolderingen** (figuur 43) Helaas zijn niet alle inpolderingen die ooit hebben plaatsgehad gevonden, maar waarschijnlijk is het grootste gedeelte van het ingepolderde oppervlak wel gevangen in de getallen. Tabel 5 geeft aan vanaf wanneer de ingepolderde oppervlakken in de estuaria bekend zijn:

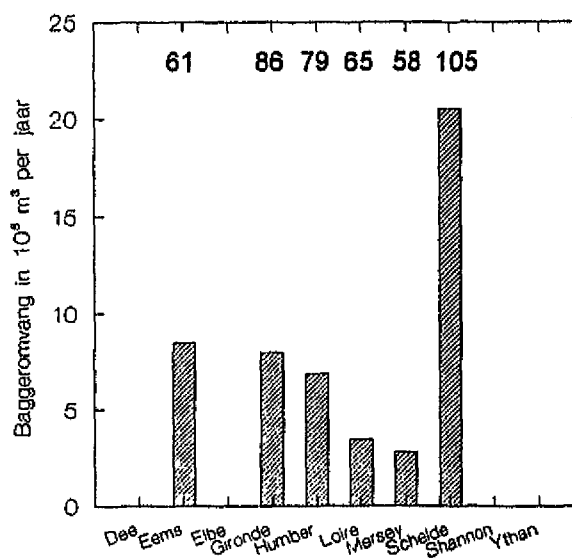
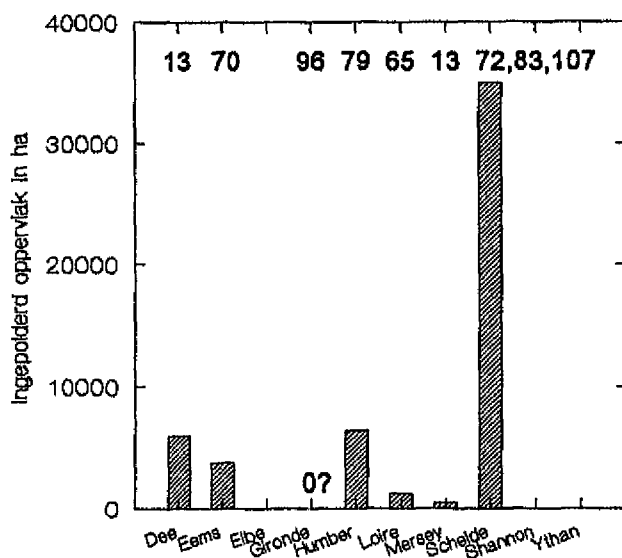
Tabel 5 Gegevens over inpolderingen in de estuaria

| Estuarium | Peildatum                                  |
|-----------|--------------------------------------------|
| Dee       | vanaf 1730                                 |
| Eems      | Duitsland vanaf 1300, Nederland vanaf 1600 |
| Humber    | 1600-1850                                  |
| Loire     | niet bekend                                |
| Mersey    | 1800-1900                                  |
| Schelde   | Nederland vanaf 1650, België vanaf 1900    |

Helaas was voor Humber en Mersey niet te achterhalen of er recentelijk nog inpolderingen hebben plaatsgevonden. In de Schelde is het grootste oppervlak ingepolderd, op afstand gevolgd door Eems, Elbe en Humber. Voor de Eems zijn alleen de inpolderingen in de Dollard en het Nederlandse gedeelte van de Waddenzee gevonden. In Loire en Mersey is aanmerkelijk minder gebied ingepolderd. Voor estuaria die in een stroomdal liggen, zoals de Gironde, zijn de mogelijkheden voor inpoldering beperkt.

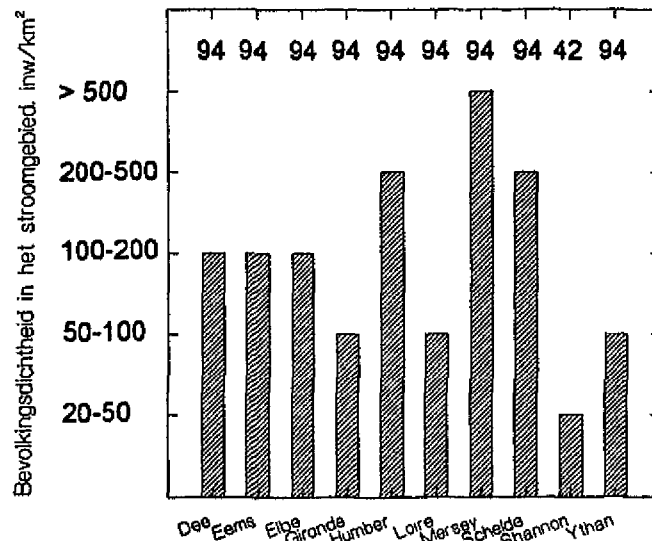
**Baggeromvang** (figuur 44) Weergegeven zijn zo recent mogelijke jaargemiddelden van de baggeromvang. Voor Humber, Loire en Mersey is de baggeromvang omgerekend van ton droge stof naar  $m^3$  met een omrekeningsfactor van 1.25 ton per  $m^3$  (Allersma 1992, ref.3).

Figuur 43 Ingepolderd oppervlak in hectare  
Figuur 44 Baggeromvang in  $10^6 m^3$  per jaar



**Urbanisatiegraad (figuur 45)** De in de figuur getoonde bevolkingsdichtheden in de stroomgebieden van de estuaria zijn gegevens van het EC instituut EUROSTAT. Voor de Shannon had men geen gegevens, daarom moest een andere referentie worden geraadpleegd. In het stroomgebied van de Mersey is de bevolkingsdichtheid het hoogst, gevolgd door Humber en Schelde.

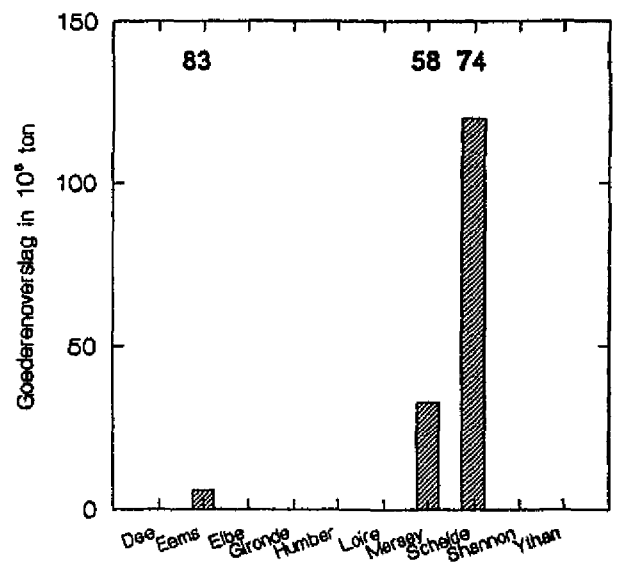
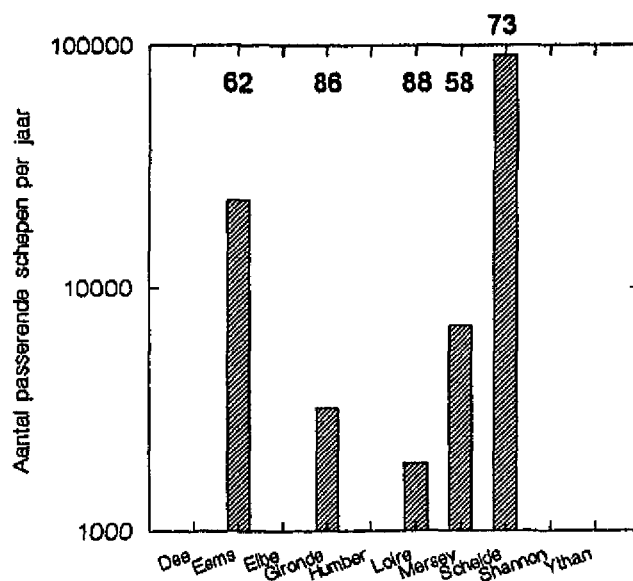
**Figuur 45** Aantal inwoners per km<sup>2</sup> in het stroomgebied



**Aantal passerende schepen en goederenoverslag per jaar (figuur 46 & 47)** De wereldhaven van Antwerpen trekt uiteraard de meeste schepen, hoewel hier een trend is naar minder, grotere schepen. Om die reden is ook naar de overslag van goederen in de havens aan de estuaria gekeken. Er zijn nog weinig getallen, maar de combinatie van getallen voor Antwerpen (1992), Terneuzen (1986) en Vlissingen (1986) aan de Schelde geeft een totaal van circa 120 miljoen ton, gevolgd door de haven van Liverpool aan de Mersey met 33 miljoen ton in 1992.

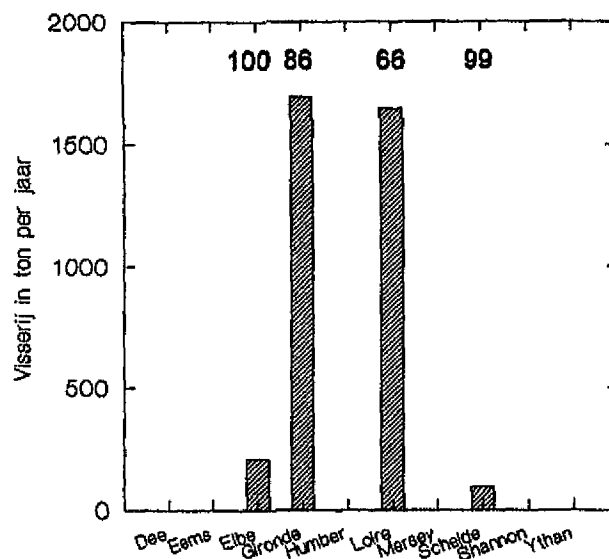
**Figuur 46** Aantal het estuarium passerende schepen per jaar

**Figuur 47** Goederenoverslag in de belangrijkste haven(s) aan het estuarium in 10<sup>6</sup> ton per jaar



**Visserij-intensiteit (figuur 48)** In de estuaria van de Loire en de Gironde zijn de visvangsten per jaar relatief hoog, terwijl in de Elbe en de Schelde veel minder wordt gevangen.

**Figuur 48** Visvangsten in ton per jaar



**Recreatie-intensiteit** Voor Schelde (1986) en Eems (1981-86) is het aantal overnachtingen van pleziervaartuigen genomen, dat een maat is voor het bevaren van het estuarium door recreanten. De waarden zijn 2500 en 5900 respectievelijk, telkens alleen voor het Nederlandse gedeelte.

## 4.2 Indices

In deze paragraaf worden de in tabel 3 genoemde indices berekend met behulp van de parameterwaarden voor de estuaria. Door tijdgebrek konden niet alle indices worden behandeld. In de tabellen zijn alleen die estuaria opgenomen, waarvoor gegevens beschikbaar waren om de betreffende index te berekenen.

### 4.2.1 Fysica

**Estuariumgetal** Dit getal geeft de verhouding tussen zee- en rivierinvloed in een estuarium, door de rivierafvoer per getijcyclus op het getijvolume (eb- + vloedvolume) te delen:  $N = Q T / V$ , met  $N$ = estuariumgetal,  $Q$ = gemiddelde debiet rivier in  $m^3/s$ ,  $T$ = getijperiode (hiervoor is  $12\frac{1}{2}$  uur genomen, ) en  $V$ = gemiddeld getijvolume in  $m^3$ . Berekening van  $N$ , in % rivierinvloed ten opzichte van de zeeinvloed, levert de volgende tabel:

Tabel 6 Berekening van het estuariumgetal

| Estuarium | Q m <sup>3</sup> /s | V 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | N in % |      |
|-----------|---------------------|----------------------------------|--------|------|
| Eems      |                     | 720                              | 1300   | 0.23 |
| Elbe      |                     | 800                              | 1560   | 2.5  |
| Gironde   |                     | 910                              | 1500   | 2.7  |
| Humber    |                     | 240                              | 2700   | 0.4  |
| Loire     |                     | 825                              | 480    | 7.7  |
| Schelde   |                     | 120                              | 2200   | 0.25 |
| Ythan     |                     | 6.2                              | 5.6    | 5.0  |

Er ontstaat een duidelijke scheiding in een groep estuaria met een grote rivierinvloed ( $N > 1\%$ : Elbe, Gironde, Loire, Ythan) en een groep estuaria met een grote zeeinvloed ( $N < 1\%$ : Eems, Humber, Schelde).

**Verblijftijd zoetwater** De verblijftijd is hier berekend door het estuariumvolume door het debiet van de rivier te delen. De verblijftijden zijn in dagen, en werden berekend met gemiddelde, minimum en maximum debiet van de rivier. Een nauwkeuriger, maar ingewikkelder methode houdt ook rekening met de invloed van het getij op de verblijftijd van het zoete water. Het gevolg is dat de verblijftijden in de tabel voor de estuaria met een grote zeeinvloed naar boven afwijken van de literatuurwaarde, omdat de verblijftijd door de getijwerking verkort wordt.

Tabel 7 Berekening verblijftijd zoetwater in het estuarium

| Estuarium | Berekende verblijftijd | Literatuurwaarde | Referentie |
|-----------|------------------------|------------------|------------|
| Eems      | 210 (14 - 3300)        | 12 - 72          | 7          |
| Gironde   | 28 (17 - 100)          | 10 - 70          | 1          |
| Loire     | 2.8 (1.5 - 19)         | 5 (0.5 - 20)     | 1          |
| Schelde   | 240 (72 - 1450)        | 75               | 1          |
| Shannon   | 110 (28 - 2300)        | 1.43             | 1          |

Voor de Gironde en de Loire, estuaria met een grote rivierinvloed, komen gemiddelde en range het best overeen met de literatuurwaarden. Voor Eems, Schelde en Shannon komt door de grote zeeinvloed de berekende verblijftijd minder goed (berekende range van de Eems omvat de literatuurrange) of helemaal niet (minimum Schelde komt overeen met literatuur-gemiddelde, berekende verblijftijden Shannon veel hoger dan literatuur) overeen. Een probleem bij de vergelijking is, dat er veel manieren zijn om een verblijftijd uit te rekenen (l. de Vries, pers. com.) en dat in referentie 1 niet de gebruikte methode is opgegeven. Ook is niet altijd bekend onder welk waterniveau het volume berekend is (Eems: gemiddelde waterstand, Gironde: hoogwater).

**Oppervlakteverhouding stroomgebied - estuarium** De ratio van het oppervlak van het totale estuarium (geulen, platen en schorren) en het oppervlak van het stroomgebied is uitgedrukt als percentage.

Tabel 8 Verhouding oppervlak stroomgebied - oppervlak estuarium

| Estuarium | Stroomgebied km <sup>2</sup> | Estuarium km <sup>2</sup> | Verhouding (%) |
|-----------|------------------------------|---------------------------|----------------|
| Eems      | 12 650                       | 484.5                     | 3.8            |
| Elbe      | 146 500                      | 612                       | 0.4            |
| Gironde   | 71 000                       | 625                       | 0.9            |
| Humber    | 24 420                       | 303.6                     | 1.2            |
| Loire     | 112 000                      | 230.5                     | 0.2            |
| Mersey    | 4 500                        | 89                        | 2.0            |
| Schelde   | 19 141                       | 351                       | 1.8            |
| Shannon   | 11 682                       | 290.5                     | 2.5            |
| Ythan     | 760                          | 2.82                      | 0.4            |

Het beeld is hetzelfde als dat bij het estuariumgetal, alleen zijn de percentages omgedraaid; >1% een relatief groot estuarium, <1% een relatief klein estuarium. De estuaria met grote rivierinvloed (Elbe, Gironde, Loire en Ythan) hebben ook een relatief klein estuarium ten opzichte van hun stroomgebied. De estuaria met grote zeeinvloed (Eems, Humber, Mersey, Schelde en Shannon) hebben juist een relatief groot estuarium ten opzichte van hun stroomgebied. Het enige verschil is dat de Gironde, met een groot estuariumgetal, nu iets meer naar de groep van estuaria met een relatief groot oppervlak opschuift.

**Lichtklimaat** Het lichtklimaat wordt berekend als extinctie maal gemiddelde diepte, dit geeft een dimensieloos getal. Het Schelde estuarium is hier het estuarium met het beste lichtklimaat, maar de berekeningsmethode is wel erg simpel. Het zou realistischer zijn, om extinctie en diepte per zone van het estuarium te gebruiken.

Tabel 9 Berekening lichtklimaat

| Estuarium | Extinctie m <sup>-1</sup> | Gemiddelde diepte m | Lichtklimaat |
|-----------|---------------------------|---------------------|--------------|
| Eems      | 3.7                       | 3                   | 11           |
| Gironde   | 5                         | 3.5                 | 17.5         |
| Schelde   | 4                         | 10                  | 40           |
| Shannon   | 1.5                       | 7                   | 10.5         |

#### 4.2.2 Chemie

**Verblijftijden van nutriënten** Verblijftijden zijn uitgerekend met de formule:

$$\frac{[\text{concentratie in estuarium}] \times \text{volume estuarium}}{[\text{concentratie in rivier}] \times \text{debiet rivier}}$$

Hiervoor zijn 'winter' waarden van de nutriënten gebruikt (maxima uit de database) en een gemiddelde rivierafvoer.

**Tabel 10** Berekende verblijftijden van nutriënten in dagen

| Estuarium | NH <sub>4</sub> | NO <sub>3</sub> | PO <sub>4</sub> | Silicaat |
|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|----------|
| Eems      | 73              | 9.1             | 13              | 7.0      |
| Gironde   | 77              | 0.78            | 1.0             | 1.1      |
| Loire     | 22              | 9.7             | 26              | 4.9      |
| Schelde   | 274             | 228             | 234             | --       |

Als de verblijftijd van een nutriënt overeenkomt met de berekende zoetwater-verblijftijd (tabel 7), dan is er sprake van conservatief gedrag van het estuarium voor dit nutriënt. Dit is het geval voor ammonium, nitraat en fosfaat in het Schelde estuarium, voor ammonium in de Gironde, en voor ammonium en fosfaat in de Loire. Bij een langere of kortere verblijftijd van het nutriënt is er sprake van respectievelijk importerendheid of exporterendheid van het estuarium. Import of export vinden plaats als gevolg van biologische en chemische omzettingen van de nutriënten in het estuarium. De berekende zoetwater-verblijftijd moet worden gebruikt omdat de verblijftijden van nutriënten op dezelfde manier, zonder rekening te houden met het getij, berekend zijn.

**Vrachten van nutriënten uit de rivier** berekend met maximum ('winter') concentraties en gemiddelde rivierafvoer, in mol per seconde.

**Tabel 11** Berekende vrachten van nutriënten uit de rivier

| Estuarium | NH <sub>4</sub> | NO <sub>2</sub> | NO <sub>3</sub> | PO <sub>4</sub> | Silicaat |
|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------|
| Eems      | 3.2             | 0.2             | 25.6            | 0.40            | 16.8     |
| Elbe      | 43.2            | --              | 259             | --              | --       |
| Gironde   | 4.6             | --              | 355             | 7.6             | 155      |
| Humber    | 100             | --              | --              | 10.1            | --       |
| Loire     | 2.2             | 0.9             | 151             | 2.1             | 289      |
| Schelde   | 85.2            | 7.7             | 44.4            | 8.6             | 32.4     |
| Shannon   | 1.7             | --              | 12.4            | --              | --       |
| Ythan     | 0.03            | --              | 0.06            | 0.00022         | 0.046    |

Grote vrachten van ammonium en fosfaat komen voor in Humber en Schelde, en duiden waarschijnlijk op een hoge antropogene belasting. Nitraat wordt in grote hoeveelheden door Elbe en Gironde vervoerd. De Gironde en de Loire hebben een grote siliciumvracht, waarschijnlijk doordat hun rivieren veel verweringsproducten uit een groot stroomgebied afvoeren. Deze relatie wordt met de volgende index nader bekeken.

**Relatie oppervlak stroomgebied - silicaat concentratie in estuarium** De verwachting is dat silicium in alle stroomgebieden per oppervlakte-eenheid ongeveer even snel verweert en in het rivierwater terecht komt. Dan zou een groot stroomgebied tot een hogere silicaatconcentratie in het estuarium moeten leiden. Voorwaarde is wel dat de stroomgebieden uit ongeveer dezelfde gesteenten bestaan, met ruwweg dezelfde verwerkingssnelheid.

Tabel 12 Relatie oppervlak stroomgebied - silicaatconcentratie (maximum) in estuarium

| Estuarium | Si mmol.m <sup>-3</sup> | Stroomgebied km <sup>2</sup> | Si µmol.m <sup>-3</sup> /km <sup>2</sup> |
|-----------|-------------------------|------------------------------|------------------------------------------|
| Eems      | 7                       | 12 650                       | 0.6                                      |
| Elbe      | 200                     | 146 500                      | 1.4                                      |
| Gironde   | 7                       | 71 000                       | 0.1                                      |
| Loire     | 610                     | 112 000                      | 5.4                                      |
| Schelde   | 190                     | 19 141                       | 9.9                                      |
| Shannon   | 10                      | 11 682                       | 0.9                                      |

De grote stroomgebieden van Elbe en Loire geven zoals verwacht een hoge silicaatconcentratie per km<sup>2</sup> stroomgebiedoppervlak. In de Schelde wordt de relatie mogelijk verstoord door menselijke invloeden. De silicaatconcentratie voor de Gironde is waarschijnlijk veel te laag.

#### 4.2.3 Biologie

**Berekenen benthische primaire productie** volgens de formules afgeleid door de Jong et al. (1994) uit artikelen van Cadée en Hegeman (1977) en Colijn en de Jonge (1984):

Cadée:  $P = 1.22 B + 1.77$  ( $r^2 = 0.86$ , Westelijke Waddenzee)

Colijn:  $P = 1.06 B + 13.91$  ( $r^2 = 0.99$ , Eems-Dollard)

met  $P$  = primaire productie in gC/m<sup>2</sup>.j en  $B$  = biomassa in g Chlorofyl-a/m<sup>2</sup>.jaar in de bovenste cm van het sediment.

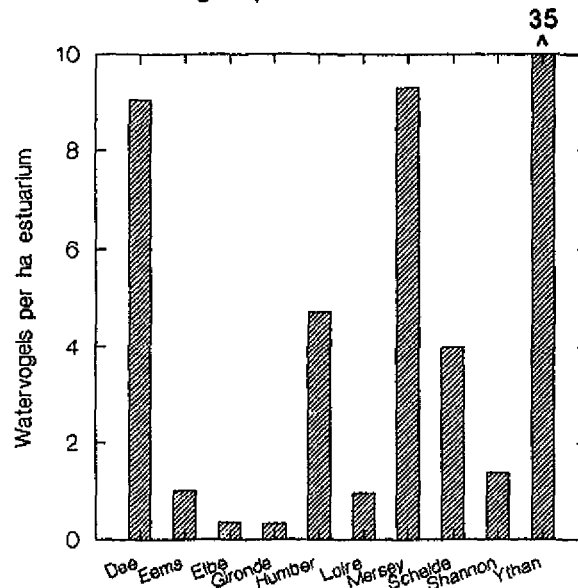
Tabel 13 Berekende en gemeten benthische primaire productie (zie ook fig. 37)

| Estuarium | Primaire productie in gC/m <sup>2</sup> .jaar |                |                          |
|-----------|-----------------------------------------------|----------------|--------------------------|
|           | volgens Cadée                                 | volgens Colijn | volgens literatuur[ref.] |
| Eems      | 83 (37 - 303)                                 | 85 (44 - 276)  | 50 - 210 [7]             |
| Elbe      | 112                                           | 109            | 200 [37]                 |
| Gironde   | 75 (14 - 160)                                 | 78 (25 - 152)  | geen metingen [6]        |
| Loire     | 87 (21 - 148)                                 | 88 (31 - 141)  | 135 (25 - 250) [64]      |
| Schelde   | 140 (7.2 - 514)                               | 134 (19 - 459) | 136 [12]                 |
| Ythan     | 23                                            | 32             | 31 (8.4 - 82) [10]       |

Alle berekende producties, behalve die van de Elbe, hebben dezelfde orde van grootte als de producties uit de literatuur, hoewel het maximum in de Loire in de berekening lager uitvalt. Het afwijken van de Elbe valt niet te verklaren met behulp van de referentie, waarin niets over de methoden wordt vermeld.

**Aantal vogels per hectare (figuur 49)** Hier is het totale aantal watervogels over het totale estuarium verdeeld. In de Ythan is de dichtheid - op deze manier berekend - erg hoog in vergelijking met de andere estuaria. In de andere estuaria varieert de dichtheid tussen de 0.3 en de 10 vogels per hectare.

**Figuur 49** Aantal overwinterende watervogels per hectare van het estuarium



#### 4.2.4 Antropogene beïnvloeding

**Overgebleven gebied na inpoldering** Het huidige oppervlak van een estuarium gedeeld door dat oppervlak plus het ingepolderde oppervlak geeft het percentage van het gebied dat nog over is sinds het begin van de inpolderingen. Het percentage is afhankelijk van het tijdstip vanaf wanneer de inpolderingen bekend zijn, dit is ook in de tabel opgenomen. Het is mogelijk dat er nog eerdere inpolderingen hebben plaatsgehad in het estuarium. Van de Schelde en de Dee blijkt het minste over te zijn.

**Tabel 14** Overgebleven gebied na inpoldering sinds peildatum

| Estuarium | % overgebleven | peildatum                   |
|-----------|----------------|-----------------------------|
| Dee       | 73             | 1730                        |
| Eems      | 93             | D sinds 1300, NL sinds 1600 |
| Humber    | 87             | 1600-1850                   |
| Loire     | 95             | ?                           |
| Mersey    | 95             | 1800-1900                   |
| Schelde   | 50             | NL sinds 1650, B sinds 1900 |

**Baggerwerk gerelateerd aan geuloppervlak** Om de baggeromvang te schalen naar de grootte van het estuarium, is de gebaggerde hoeveelheid in ton per jaar gedeeld door het oppervlak van de geulen in het estuarium. Hierbij is van de veronderstelling uitgegaan dat in elk estuarium op ongeveer dezelfde manier wordt gebaggerd. De Schelde heeft absoluut per jaar verweg de hoogste baggeromvang, maar wordt in hoeveelheid per hectare per jaar overtroffen door de Mersey, terwijl de Humber bijna net zo hoog uitkomt als de Schelde.

Tabel 15 Baggeromvang per hectare geul van het estuarium

| Estuarium | baggeromvang in m <sup>3</sup> /ha geul.jaar |
|-----------|----------------------------------------------|
| Eems      | 369                                          |
| Gironde   | 140                                          |
| Humber    | 409                                          |
| Loire     | 193                                          |
| Mersey    | 847                                          |
| Schelde   | 703                                          |

## 5 Conclusies

### 5.1 Het Schelde estuarium in vergelijking met andere estuaria

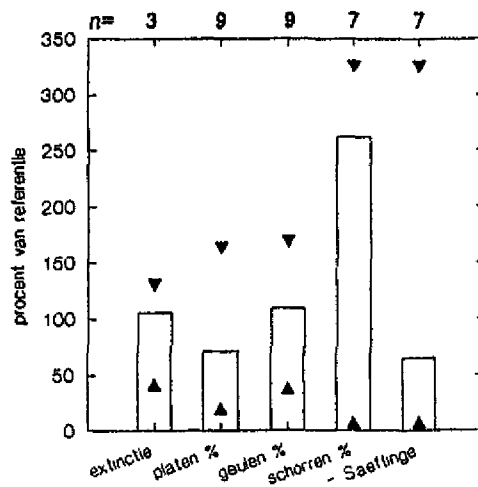
In deze paragraaf zal het Schelde estuarium met de referentie-estuaria worden vergeleken op grond van de in hoofdstuk 4 getoonde resultaten. Tevens zal het Schelde estuarium naar het idee van de 'amoebe-benadering' worden vergeleken met het gemiddelde van de geografische referenties. Dit is alleen zinvol voor die parameters, waarvoor met menselijke sturing het systeem zich in de richting van het gemiddelde zou kunnen ontwikkelen. Nutriënten zijn dus wel, maar oppervlak van het stroomgebied bijvoorbeeld is niet meegenomen in deze analyse. Er wordt met nadruk op gewezen, dat de 'amoebe-benadering' slechts is toegepast om een idee te krijgen van de verhouding tussen het Schelde estuarium en de referenties. Het was niet de bedoeling, een waardeoordeel aan de uitkomsten te verbinden. In de oorspronkelijke vorm van de 'amoebe-benadering' wordt uitgegaan van een ongestoorde referentie, terwijl alle referentie-estuaria wel zekere mate door menselijk handelen zijn en worden beïnvloed. Een belangrijke beperking van de toepassing van de 'amoebe-benadering' met deze gegevens is, dat er veel lacunes zijn en dus zelden alle referenties meetellen in het gemiddelde. Hoeveel referenties zijn gebruikt is boven de figuren aangegeven.

#### Fysica

Het Schelde estuarium is een estuarium met een laag estuariumgetal. Dit betekent dat de invloed van de zee ten opzichte van die van de rivier groot is. Het estuariumoppervlak bestaat voor een relatief groot deel uit schorren. Echter, wanneer het Verdrongen Land van Saeftinge buiten beschouwing gelaten wordt, is het aandeel schorren juist klein in vergelijking met de referenties. Het aandeel van geulen en platen in het totaal oppervlak is gemiddeld ten opzichte van de referenties. Mosselbanken zijn niet meer aanwezig. Er zijn te weinig gegevens van de referenties om de sedimentsamenstelling goed te kunnen vergelijken. De helderheid van het water is vergelijkbaar met die van de Eems en de Elbe.

In figuur 50 is te zien dat het Schelde estuarium altijd binnen de range van de referenties ligt, terwijl het aandeel platen naar beneden en het aandeel schorren naar boven afwijkt van het gemiddelde van de referenties. Als Saeftinge niet meegerekend wordt, ligt het aandeel schorren juist onder het gemiddelde.

Figuur 50 'Amoebe' voor een aantal fysieke factoren. Het gemiddelde van de referenties is 100% op de Y-as, minimum en maximum zijn met zwarte driehoekjes weergegeven. De witte staven zijn de parameterwaarden voor het Schelde estuarium, uitgedrukt in procent van het gemiddelde van de referenties. Boven de grafiek staat een n-waarde die aangeeft over hoeveel referenties het gemiddelde is berekend. Voor het aandeel van schorren in het estuarium is ook een waarde voor het Schelde estuarium zonder het Verdrongen Land van Saeftinge opgenomen.

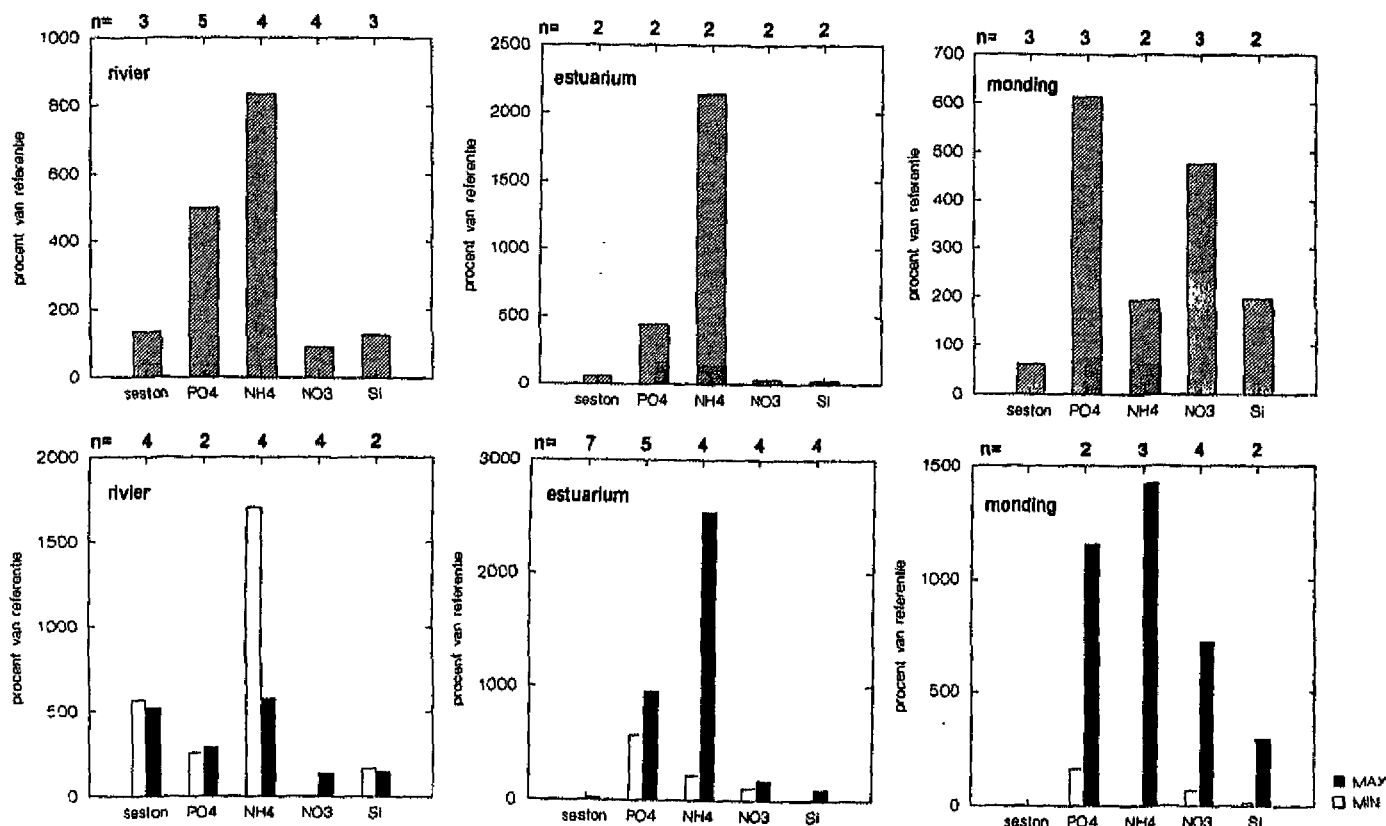


**Chemie**

Het sestongehalte in het Schelde estuarium is niet extreem hoog. Bij de nutriënten vallen de extreem hoge concentraties van fosfaat en ammonium op, die in rivier, estuarium en monding boven de concentraties in de referenties liggen. De Schelde gedraagt zich conservatief voor ammonium, nitraat en fosfaat. Zuurstofloosheid komt voor van Gent tot de Nederlandse grens. In de Elbe en de Mersey treedt ook zuurstofloosheid op.

Uit figuur 51 blijkt nogmaals dat voor met name fosfaat en ammonium het Schelde estuarium ver boven gemiddelde en range van de referenties ligt, zowel in de rivier en het estuarium als in de monding.

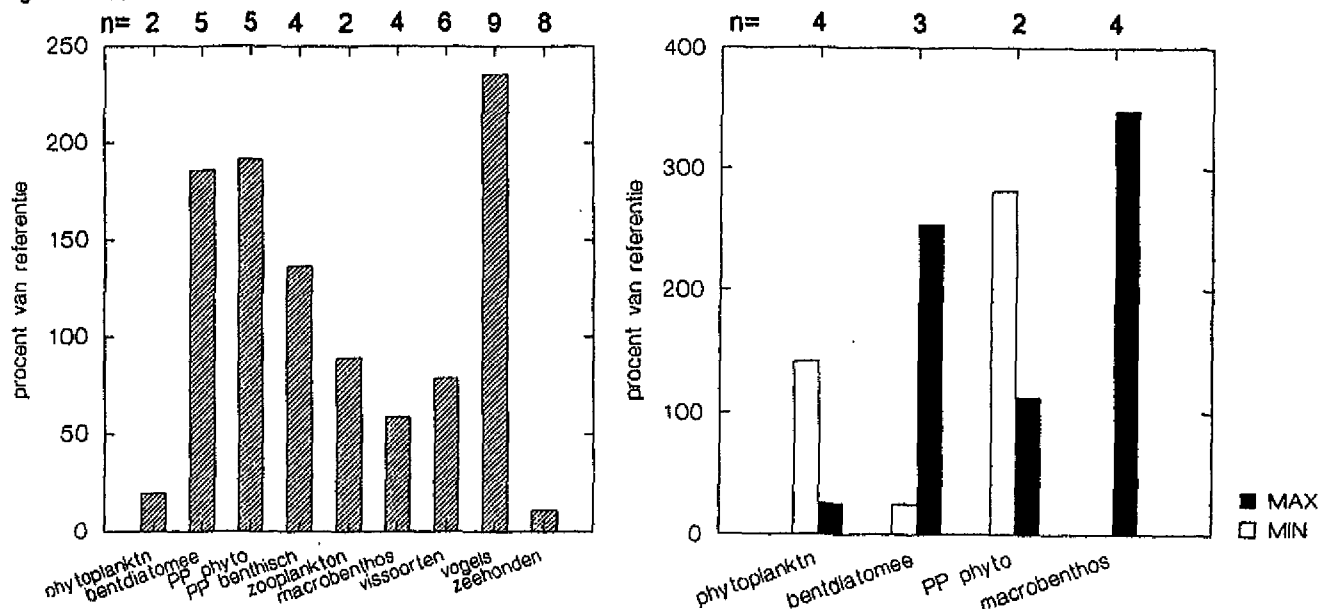
**Figuur 51 'Amoebe' voor gemiddelde (linker kolom) en minimum- & maximum (rechter kolom) concentraties van seston en nutriënten in rivier, estuarium en monding. Het gemiddelde van de referenties is 100% op de Y-as. De staven zijn de parameterwaarden voor het Schelde estuarium, uitgedrukt in procent van het gemiddelde van de referenties. In de 'amoebe' voor minima en maxima zijn de waarden voor het Schelde estuarium vergeleken met de gemiddelde minima en maxima van de referenties. Boven de grafiek staat een n-waarde die aangeeft over hoeveel referenties het gemiddelde is berekend.**

**Biologie**

De biomassa van benthische diatomeeën is relatief hoog, terwijl de fytoplankton-biomassa vrij laag is. Berekende primaire productie is relatief hoog voor benthische diatomeeën, en relatief laag (netto productie) voor fytoplankton. Macrobenthos en vooral vogels zijn goed vertegenwoordigd, de vogeldichtheid is gemiddeld. Het aantal vissoorten ligt iets onder het gemiddelde.

De 'amoebe' laat eenzelfde beeld zien, echter hier is voor fytoplankton bruto in plaats van netto productie gebruikt. De hoge maxima van benthische diatomeeën en macrobenthos zijn te verklaren uit de intensieve studies in het Schelde estuarium, met veel monsterpunten en daardoor een grote range. Macrobenthos ligt hier onder de 100% door vergelijking met maar twee referenties, waarvan er een erg hoge waarde heeft.

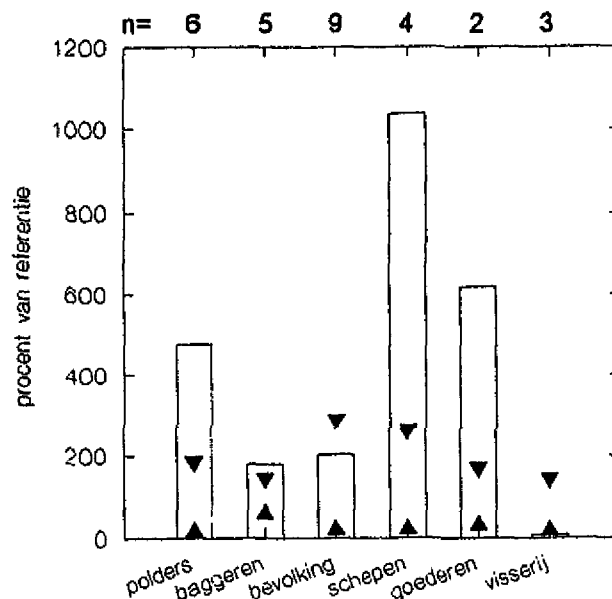
**Figuur 52** 'Amoebe' voor de biologische parameters, links voor gemiddelde en rechts voor minimum en maximumwaarden. Het gemiddelde van de referenties is 100% op de Y-as. De staven zijn de parameterwaarden voor het Schelde estuarium, uitgedrukt in procent van het gemiddelde van de referenties. Boven de grafiek staat een n-waarde die aangeeft over hoeveel referenties het gemiddelde is berekend.



### Antropogene beïnvloeding

Dat de antropogene beïnvloeding van het Schelde estuarium groot is, blijkt duidelijk uit het feit dat voor bijna alle parameters de hoogste waarde wordt bereikt. Inpoldering, baggeromvang en scheepvaartintensiteit zijn veruit het hoogst, terwijl de bevolkingsdichtheid relatief hoog is. De visserij lijkt relatief onbelangrijk, voor de referenties zijn weinig gegevens. Over de recreatie-intensiteit in het Schelde estuarium in vergelijking met de referenties valt door gebrek aan gegevens nog geen uitspraak te doen. De 'amoebe' bevestigt het beeld van grote antropogene beïnvloeding. Afgezien van de visserij liggen alle parameterwaarden boven de 100%, en inpolderingen, baggeromvang, scheepvaartintensiteit en goederenoverslag liggen zelfs boven de range van de referenties.

**Figuur 53** 'Amoebe' voor antropogene beïnvloeding. Het gemiddelde van de referenties is 100% op de Y-as, minimum en maximum zijn met zwarte driehoekjes weergegeven. De witte staven zijn de parameterwaarden voor het Schelde estuarium, uitgedrukt in procent van het gemiddelde van de referenties. Boven de grafiek staat een n-waarde die aangeeft over hoeveel referenties het gemiddelde is berekend.



#### *Algemene conclusie*

Het Schelde estuarium kan worden gekarakteriseerd als een sterk door de zee beïnvloed estuarium, met veel schorren. Het schoroppervlak wordt echter sterk bepaald door het Land van Saeftinge. Het estuarium wordt zwaar belast met stikstof en fosfaat, en er treedt regelmatig zuurstofloosheid op. Het estuarium werd in belangrijke mate gevormd door inpolderingen, en staat tegenwoordig onder druk door baggerwerk. Het intergetijdegebied herbergt een hoge biomassa van benthische diatomeeën en macrobenthos, waar veel vogels op kunnen fourageren. Ook het grote schorrenoppervlak is van belang voor veel ganzen en eenden. De visfauna heeft echter een minder dan gemiddelde soortenrijkdom.

### **5.2 Karakterisering van de referentie-estuaría**

#### *Dee*

Het estuarium van de Dee ligt op de grens van Wales en Engeland aan de Liverpool Bay. Het oppervlak is relatief klein in vergelijking tot de andere referenties, en bestaat voor het grootste deel uit platen. Schorren zijn ook relatief goed vertegenwoordigd. Er hebben veel inpolderingen plaatsgehad, waardoor er nog maar 70% van het estuariumoppervlak over is, en de ligging van geulen, platen en schorren drastisch is veranderd (fig. 10.5.5 in Davidson et al. 1991). Over de Dee zijn verder erg weinig gegevens gevonden in de categorieën chemie, biologie en antropogene beïnvloeding. Het lijkt, afgezien van de inpolderingen, een relatief weinig verstoord estuarium, dat relatief zeer veel overwinterende vogels herbergt.

#### *Eems*

Het estuarium van de Eems ligt op de grens van Nederland en Duitsland, waar de rivier via de Waddenzee uitmondt in de Noordzee. Het estuarium is relatief ondiep en heeft een grote zeeïnvloed. Het relatief grote oppervlak bestaat voor bijna de helft uit platen. Schorren zijn ook aanwezig, maar er is aan Duitse en Nederlandse zijde veel schor ingepolderd. In vergelijking tot de Schelde is het estuarium minder vervuild, hoewel er ook lage zuurstofconcentraties kunnen optreden. Het ecosysteem is goed ontwikkeld, en is erg goed bestudeerd, een model is beschreven in Baretta & Ruardij (1988, ref. 55). Menselijke beïnvloeding vindt voornamelijk plaats door baggerwerk om de haven van Emden bereikbaar te houden. Verder wordt het estuarium voor visserij en watersport gebruikt.

#### *Elbe*

Het estuarium van de Elbe mondt in de Waddenzee uit, en wordt gekarakteriseerd door een grote rivierïnvloed. De gemiddelde rivierafvoer ligt bovenin de range, evenals het totale estuariumoppervlak, terwijl het getijvolume gemiddeld is in de groep. Het aandeel platen in het estuarium is vrij groot, schorren zijn redelijk goed vertegenwoordigd. De vervuiling van het estuarium met nutriënten lijkt onder het niveau van de Schelde te liggen. Echter het is bekend dat de vervuiling met toxicanten de visstand sterk heeft gereduceerd (Möller 1989, 1991, refs. 100 en 101). Phytoplankton en benthische diatomeeën en zeehonden zijn relatief goed vertegenwoordigd. Het aantal overwinterende vogels is relatief laag, waarschijnlijk omdat de vogels niet alleen in het estuarium zitten maar zich over het gehele Waddengebied verspreiden. Over antropogene beïnvloeding zijn weinig gegevens gevonden, maar waarschijnlijk zal die invloed aanzienlijk zijn, vooral vanuit de havenstad Hamburg.

#### *Gironde*

Het estuarium vormt de monding van de rivieren Garonne en Dordogne in de Atlantische Oceaan. De Gironde heeft een grote rivierinvloed en het grootste oppervlak in de groep. Er zijn opvallend weinig platen (ca. 10%) en vrijwel geen schorren, terwijl het aandeel geulen het grootst is in de groep. De seston en silicaatconcentraties zijn relatief hoog in het estuarium, overige nutriënten bereiken geen hoge waarden (met uitzondering van ammonium in de rivieren). Zoöplankton en ook benthische diatomeeën zijn goed vertegenwoordigd, vogels veel minder. Er wordt in het estuarium relatief vrij veel gebaggerd en gevisd. Omdat het estuarium in een stroomdal ligt, zijn er weinig mogelijkheden voor inpolderingen.

#### *Humber*

De Humber ligt aan de Noordzeekust van Engeland. Het estuarium wordt gevoed door een paar kleine rivieren met in totaal een relatief lage afvoer. De zeeinvloed overheerst, de Humber heeft het grootste getijvolume in de groep. Het oppervlak is gemiddeld, iets minder dan de helft ervan bestaat uit platen en schorren. In de rivieren bereiken fosfaat en ammonium relatief hoge waarden, terwijl in het estuarium nitraat- en zuurstofconcentraties relatief hoog zijn. Over de biologie zijn weinig gegevens gevonden. Macrobenthos, vogels en zeehonden zijn relatief goed vertegenwoordigd. Het stroomgebied is relatief dichtbevolkt. In het estuarium vonden veel inpolderingen plaats en er wordt ook relatief vrij veel gebaggerd.

#### *Loire*

Het estuarium van de Loire, met Nantes als grootste havenstad, ligt iets ten noorden van de Gironde. De rivierinvloed is erg groot in dit estuarium, het estuariumgetal is het grootste in de groep. De afvoer van de Loire kan zo groot zijn dat de maximale troebelheidszone tot in de monding verschoven wordt (Meybeck et al. 1988, ref. 34). Het estuariumoppervlak is gemiddeld in de groep, en bestaat voor meer dan 75% uit geulen, terwijl er slechts 50 ha schorren zijn. In het estuarium zijn vooral fosfaat- en silicaatconcentraties relatief hoog, Meybeck et al. (1988, ref. 34) noemt het estuarium van de Loire een van de meest geëutrofeerde estuaria. Gemiddelde en range van het zuurstofgehalte zijn vergelijkbaar met de Schelde. Fytoplankton en benthische diatomeeën bereiken hoge biomassa's en productie, terwijl er relatief weinig vogels overwinteren. Er vindt relatief veel visserij plaats, terwijl de baggeromvang onder het gemiddelde van de groep ligt.

#### *Mersey*

De Mersey stroomt langs de havenstad Liverpool en mondt iets ten noorden van de Dee uit in Liverpool Bay. Over de hydraulica van het estuarium zijn weinig gegevens gevonden. De rivierafvoer is relatief klein, het estuariumoppervlak ook. Het oppervlak bestaat voor meer dan 50% uit platen en schorren. Het getijverschil is het hoogste in de groep. Voor wat betreft de chemie is alleen het sestongehalte in het estuarium gevonden, dat is relatief hoog. In ref. 58 wordt vermeld dat sommige delen van het estuarium tot de meest vervuilde wateren van Engeland behoren. Er zijn vrij veel vogels en weinig zeehonden, verdere gegevens over biologie zijn niet gevonden. Het estuarium heeft de hoogste baggeromvang uitgedrukt per hectare geul in de groep, echter absoluut gezien is de baggeromvang relatief klein. De bevolkingsdichtheid in het stroomgebied is het hoogst in de groep, terwijl de haven van Liverpool voor een vrij grote goederenoverslag zorgt.

#### *Shannon*

De rivier de Shannon stroomt langs de havenstad Limerick in Ierland en mondt uit in de Atlantische Oceaan. De rivierafvoer is relatief laag, maar bijna twee keer zo hoog als in de Schelde. Het estuarium heeft een oppervlak van gemiddelde grootte, dat voor ca. 75% uit geulen bestaat. Gegevens over schoroppervlak konden niet worden gevonden. Over chemie en biologie is weinig informatie gevonden, de indruk is dat het estuarium niet erg vervuild is met nutriënten. Er overwintert een redelijk groot aantal steltlopers. De bevolkingsdichtheid in het stroomgebied is relatief laag, verder zijn er geen gegevens over antropogene beïnvloeding gevonden.

#### *Ythan*

Dit estuarium ligt aan de oostkust van Schotland en is het kleinste in de groep. Rivierafvoer en getijvolume vallen in het niet vergeleken met de andere estuaria, maar de rivierinvloed is bijna net zo groot als in de Loire. Het estuariumoppervlak bestaat voor 70% uit platen. Er zijn ook schorren, maar gegevens over het oppervlak zijn niet gevonden. Het is het minst vervuilde estuarium in de groep, met hoge dichtheden van macrobenthos, zoöplankton en vogels (per ha, fig.50). Het ecosysteem is zeer goed beschreven (refs. 9, 10, 14). Baird en Milne (1981, ref.10) spreken over 'mild pollution' door lozingen van rioolwater van het plaatsje Ellon (8000 inwoners). Verder is er geen informatie over antropogene beïnvloeding gevonden, maar de verwachting is dat die relatief zeer klein is.

### 5.3 Typologie van estuaria

In deze paragraaf wordt een poging gedaan een typologie van estuaria op te stellen, gebaseerd op een compacte set van parameters en indices. Hiervoor wordt de geschiktheid van de parameters en indices uit tabel 3 beoordeeld door ze met behulp van de resultaten van de vergelijking te toetsen aan de in 3.2 genoemde criteria (karakteriserend en onderscheidend, kwantitatief, beschikbaarheid van gegevens, stuurbaarheid). De parameters en indices die hieraan het best voldoen, blijven over, en worden hieronder opgesomd.

#### *Fysica*

Het **estuariumgetal** geeft een goede samenvatting van de verhouding van zee- en rivierinvloed in een estuarium. **Getijverschil** is een belangrijke, goed gedocumenteerde parameter, die niet in het estuariumgetal is verwerkt, en daarom afzonderlijk wordt genoemd. Lengte van het estuarium is niet zo erg karakteristiek omdat in veel estuaria de getij-invloed door sluizen wordt begrensd. Geomorfologische basisinformatie is nodig in de vorm van **oppervlakten van geulen** (onder gemiddeld laagwater), **platen** (boven gemiddeld laagwater) en **schorren** in het estuarium, gerekend vanaf het einde van de getij-indringing op de rivier tot en met de monding van het estuarium in zee. **Sedimentsamenstelling** (**mediane korrelgrootte**, **kleigehalte**, **POC gehalte**) wordt in dit rapport summier behandeld, maar is belangrijk voor het karakteriseren van een estuarium. Het **lichtklimaat** (**extinctie vermenigvuldigd met gemiddelde diepte**) geeft potenties voor pelagische primaire productie aan. **Estuariumvolume** en **oppervlak van het stroomgebied** zijn nodig voor het berekenen van respectievelijk verblijftijden van water en nutriënten, en het percentage antropogene belasting van het estuarium met nutriënten. Het **type** van het estuarium volgens Fairbridge geeft de vorm van het estuarium aan, het type volgens Pritchard vat de mate van menging en de vorm van de zoutgradiënt samen.

Hydraulische ruwheid van de bodem is erg moeilijk te berekenen en erg variabel binnen een estuarium, en is daardoor niet geschikt als *parameter voor de typologie*. Het belang van het aantal parallelle geulen van een estuarium voor het karakter ervan zou nader onderzocht moeten worden. Over de aanwezigheid van harde substraten bleek het moeilijk kwantitatieve informatie te verzamelen.

#### *Chemie*

Voor het karakteriseren van een estuarium op chemisch gebied is een basisset van chemische parameters nodig. Deze set bevat **seston, POC, nutriënten ( $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{PO}_4$ , Silicaat) en zuurstof**. Bij een indeling van het estuarium in zones is het **zoutgehalte** van belang. Met rivier, estuarium en mondingsconcentraties en een aantal fysische parameters (rivierafvoer, estuariumvolume, getijvolume) kunnen **gradiënten en vrachten** worden berekend, die met literatuurwaarden kunnen worden vergeleken. Het is ook belangrijk de **mate van antropogeniteit** van de vrachten te berekenen, door ze te vergelijken met 'natuurlijke' vrachten door verwerking van de stoffen in het stroomgebied (zie Beleidsplan Westerschelde, Deelrapport 1, paragraaf 3.4). Het antropogene deel van de vrachten is in principe stuurbaar. **Conservativiteit of im- of exporterendheid** van een estuarium voor een bepaalde stof kunnen uit berekende gradiënten worden afgeleid, maar zullen vaak reeds in de literatuur zijn beschreven.

#### *Biologie*

De organismen aan de basis van de voedselketen, **benthische diatomeeën en fytoplankton** in het water, moeten in ieder geval in de typologie voorkomen. Uit de gemeten **biomassa's** kan op standaard manier een **potentiële primaire productie** worden berekend. Met ratio's van allochtone versus autochtone productie en benthische versus pelagische productie wordt een idee verkregen van de herkomst van de koolstof voor deze productie en de verdeling van de productie tussen bodem en waterkolom. De bruikbaarheid van deze ratio's is echter niet getest voor dit rapport. **Macrobenthos biomassa** is belangrijk als voedsel voor vogels (steltlopers), die een karakteristieke en belangrijke natuurwaarde van het estuarium vertegenwoordigen. Van vogels kunnen overwinterende aantallen en dichtheden **per hectare** worden gebruikt, liefst opgesplitst naar groep (steltlopers, ganzen, eenden) of fourageertype (benthivoren, piscivoren, herbivoren). De **visstand (soortenaantal of dichtheid per hectare)** geeft een idee van de compleetheid van de estuariene voedselketen in het water. Deze parameters zijn slechts indirect stuurbaar, maar ze zijn wel noodzakelijk om het ecosysteem in grote lijnen te karakteriseren. **Globale gegevens** zijn over het algemeen beschikbaar.

#### *Antropogene beïnvloeding*

Directe en grootschalige sturing van de fysische structuur en processen in een estuarium kan worden veroorzaakt door **inpolderingen en baggeractiviteiten**. Vanwege de grote verschillen in oppervlak tussen estuaria is het zinvol de **baggeromvang ook per hectare** uit te drukken. Als belangrijke gebruiksfuncties van een estuarium moeten **scheepvaartintensiteit per jaar** in een estuarium en **goederenoverslag per jaar** van de havens aan een estuarium als parameters worden opgenomen. Voor beïnvloeding van het estuarium door recreatie moet nog een goede maat worden gevonden, waarvoor voldoende gegevens beschikbaar zijn. Dat bleek namelijk niet het geval voor het aantal overnachtingen door pleziervaartuigen, dat voor dit rapport als parameter was genomen. Invloeden van **bevolkingsdichtheid** blijken ook uit vrachten van nutriënten en de **mate van antropogeniteit** daarvan, de parameter bevolkingsdichtheid is niet noodzakelijk in de typologie. **Visserij op schelpdieren** moet als

parameter worden opgenomen omdat het de voedselbeschikbaarheid voor vogels kan beïnvloeden. Visserij op vis zegt iets over de toestand van het visbestand (al opgenomen onder biologie), maar ook over de druk daarop door de mens.

Tabel 16 Definitieve lijst van parameters en indices voor een typologie van estuaria

| Categorie                       | Parameter                                                                                                                                                                                                 | Index                                                                                                      |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Fysica</b>                   | rivieraafvoer Q<br>getijvolume V<br>getijperiode T<br>getijverschil<br>estuariumvolume<br>gemiddelde diepte<br>oppervlak geul/plaat/schor<br>oppervlak stroomgebied<br>extinctie<br>sedimentsamenstelling | estuariumgetal $N = QT/V$<br>lichtklimaat<br>type volgens Fairbridge<br>type volgens Pritchard             |
| <b>Chemie</b>                   | monding/estuarium/rivier<br>concentraties van seston, POC,<br>$NO_3$ , $PO_4$ , silicaat en $O_2$<br>zoutgehalte                                                                                          | gradiënten in estuarium<br>(conservativiteit, im/export)<br>vrachten in rivier<br>mate van antropogeniteit |
| <b>Biologie</b>                 | benthische en pelagische<br>biomassa en productie<br>macrobenthos biomassa<br>overwinterende vogels<br>visdichtheid/soortenaantal                                                                         | vogels/hectare<br>ratio benthische/pelagische<br>productie<br>ratio allo/autochtone productie              |
| <b>Antropogene beïnvloeding</b> | inpoldering<br>baggeromvang<br>scheepvaartintensiteit<br>goederenoverslag<br>vis- en schelpdiervisserij                                                                                                   | % overgebleven na inpoldering<br>baggeromvang per ha geul                                                  |

#### 5.4 Wegen voor verder onderzoek

Bij een verdere uitwerking van de typologie kunnen verbeteringen en detailleringen worden aangebracht. Verder is het mogelijk nieuwe wegen in te slaan en bijvoorbeeld ook historische vergelijkingen te maken.

##### *Verbeteringen en detailleringen*

Het belangrijkste probleem bij het opzetten van de TYPOS database was dat de gegevens moeilijk te vinden waren terwijl de beschikbare tijd beperkt was. Veel van de parameterwaarden konden niet voor elk estuarium worden opgespoord, waardoor de resultaten veel lacunes vertonen. Hoewel de indruk is, dat de vergelijking hier niet erg onder geleden heeft, verdient het toch aanbeveling, om in een mogelijk vervolgproject bij onderzoeksinstituten in de buurt van de estuaria op bezoek te gaan om de gegevens meteen bij de bron te halen. Zo wordt de dekking in de database veel groter en is het duidelijker hoe de parameterwaarden berekend zijn. Macrobenthos biomassa kan bijvoorbeeld in gram AFDW per vierkante meter monsterpunt, plaatareaal of totaal estuarium worden uitgedrukt, en in de literatuur is het vaak niet duidelijk welke omrekening er is gebruikt.

Mogelijkheden voor toepassing van clustering analyse met de CANOCO methode op de gegevens ontstaan wanneer in de database geen of vrijwel geen parameterwaarden meer ontbreken (R. Duin, pers. comm.).

Lengte of oppervlak van het ecologische waardevolle zoetwatergetijdegebied (gelegen tussen de grens van de zoutindringing en de grens van de getij-indringing) zijn parameters om in een vervolg op deze studie te onderzoeken.

Bij biologische parameters bestaat het probleem dat veel verschillen worden veroorzaakt door verschillen in meetintensiteit en meetmethode. Een mogelijkheid tot standaardiseren is het berekenen van de primaire productie in plaats van het gebruiken van gemeten waarden. Hoe dit probleem voor de bepaling van gemiddelde biomassa's moet worden opgelost is nog een vraag.

De belangrijkste detaillering die kan worden aangebracht is het indelen van het estuarium in zones aan de hand van de zoutgradiënt. Een probleem hierbij is, dat in de literatuur zone-indelingen met verschillende begrenzingen worden gebruikt. Er zullen waarschijnlijk originele zoutgradiënten nodig zijn om de zones af te grenzen. Door deze zonering zal het mogelijk zijn vooral chemische en biologische, maar ook morfologische processen in het estuarium beter te karakteriseren.

Er dient nog veel meer onderzoek worden gedaan naar de bruikbaarheid van de in dit rapport genoemde en nieuwe indices. Door de beperkte duur van het project kon hier slechts een begin mee worden gemaakt. Vooral het berekenen van de mate van antropogeniteit van de nutriëntenbelasting van de estuaria zou een vruchtbare index kunnen zijn om op een nieuwe manier naar de samenstelling van deze belastingen te kijken. Bij het toepassen van indices zijn er mogelijkheden voor het gebruik van formules voor ecosysteem processen uit bestaande estuarium modellen zoals het MOSES model (Soetaert et al. 1992, TYPOS ref. 8).

Conservativiteit of im/exporterendheid van een estuarium voor seston, POC en nutriënten zijn te berekenen of in de literatuur te vinden. De resultaten kunnen helpen bij het verkrijgen van een algemeen beeld van de processen die zich in een estuarium afspelen. Bij een vervolg op het TYPOS project verdient het aanbeveling, de chemie langs deze lijn meer in het licht van processen te beschouwen.

De groep van referenties bevat nu estuaria die aanzienlijk verschillen in oppervlak en mate van rivier- of zeeinvloed. Dat is voor het ontwerpen van een typologie een gunstige situatie, echter voor een meer gedetailleerde vergelijking van het Schelde estuarium met andere estuaria zou misschien een nieuwe selectie van referenties noodzakelijk zijn. Er zouden dan twee of drie zoveel mogelijk met het Schelde estuarium overeenkomende estuaria moeten worden uitgekozen, bijvoorbeeld de Mersey en de Humber.

#### *Nieuwe wegen*

De twee projecten binnen het project Oostwest die bouwstenen voor streefbeelden voor het Schelde estuarium moeten genereren, kunnen worden gezien als delen van een vierluik van mogelijke onderzoekswegen:

| habitats                                                                                                                           | processen                                                                                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vergelijking van habitatarealen in het Schelde estuarium met historische gegevens op basis van luchtfoto's (project S. Huijs, RUU) | Vergelijking van huidige en historische estuariumkenmerken van het Schelde estuarium (mogelijk nieuw project) |
| Vergelijking van habitatarealen in de Schelde en andere estuaria (mogelijk nieuw project)                                          | Vergelijking van estuariumkenmerken van het Schelde estuarium en andere estuaria (project TYPOS)              |

### 5.5 Bouwstenen voor het opstellen van streefbeelden

In deze laatste paragraaf wordt een poging gedaan, uit de resultaten van het TYPOS onderzoek ideeën te halen, die als bouwstenen zouden kunnen dienen voor een streefbeeld voor het Schelde estuarium. In een streefbeeld moet worden beschreven hoe het estuarium er in de toekomst uit zou kunnen zien, en welke maatregelen zouden moeten worden genomen om die toestand te bereiken. De typologie en de historische referenties geven hier eerder een nieuwe onderbouwing van reeds binnen de waterstaat bestaande ideeën, dan nieuwe oplossingen voor nog niet eerder ontdekte problemen. Het gaat vooral om terugdringing van de grote antropogene beïnvloeding van het estuarium, door het sturen van geschikte parameters. De plaats van het Schelde estuarium ten opzichte van de referenties ligt voor een klein aantal karakteristieken, zoals bijvoorbeeld het lage estuariumgetal en het hydrologische type, vast en vertegenwoordigt het eigen karakter van het systeem.

Ontpolderen van gebieden langs de randen van het Schelde estuarium, het weer teruggeven aan het estuarium van polders, geeft mogelijkheden het systeem, dat nu door inpolderingen in dynamiek heeft ingeboet, weer meer natuurlijkheid te geven. Door uitbreiding van de komberging van het estuarium zullen via een morfologische evenwichtsrelatie de geulen ook dieper worden. Daardoor zal het

onderhoudsbaggerwerk, nu een van de belangrijkste antropogene invloeden op het estuarium, kunnen verminderen. Een bijkomend voordeel van ontpoldering is het ontstaan van meer schorren. Afgezien van het Land van Saeftinghe zijn er in het estuarium weinig schorren, in vergelijking tot een aantal referenties (Dee, Elbe, Humber). De belasting van het Schelde estuarium met stikstof en fosfaat is erg hoog in vergelijking met de referenties, en de mate van antropogeniteit ligt volgens het Beleidsplan Westerschelde (Deelrapport 1, paragraaf 3.4, 1989) tussen de 80 en 90 %. Een belangrijke bouwsteen voor een streefbeeld is het verlagen van deze percentages om een natuurlijker systeem terug te krijgen. Hierbij moeten echter wel modelberekeningen worden uitgevoerd om de consequenties van snelle verlaging van de belasting voor het chemisch en ecologische functioneren van het estuarium te schatten. Ook verdient het aanbeveling, voor de referenties de mate van antropogeniteit van de belasting uit te rekenen om de getallen voor de Schelde in perspectief te kunnen plaatsen. De visserij in het Schelde estuarium is door achteruitgang van de visstand, veroorzaakt door toenemende vervuiling en zuurstofloosheid, in de afgelopen decennia in omvang afgenomen. In de Elbe had een vergelijkbare ontwikkeling plaats. Als vervuiling en zuurstofloosheid in het Schelde estuarium teruggedrongen zouden kunnen worden, krijgt de visstand een kans zich weer te herstellen. De functie van het Schelde estuarium voor overwinterende watervogels (steltlopers, ganzen en eenden) is belangrijk. Alleen de Dee en de Humber herbergen vergelijkbare vogelaantallen in de winter. Handhaving van deze functie voor vogels in het Schelde estuarium vereist maatregelen die de beschikbaarheid van habitats en voedsel waarborgen. Effecten van verandering van de vorm van platen op de voedselbeschikbaarheid voor steltlopers worden momenteel onderzocht.

## 5.6 Algemene conclusie van het TYPOS project

Het Schelde estuarium komt uit deze studie naar voren als een sterk antropogeen beïnvloed systeem, zowel in morfologische (inpolderingen, baggeromvang) als in chemische (nutriënten, zuurstofloosheid) zin. De biologische respons hierop is duidelijk aantoonbaar voor vispopulaties. Voor bodemdieren en vogels is dit minder het geval. Daarbij moet er echter rekening worden gehouden met de beperkte beschikbaarheid van gegevens voor de verschillende estuaria, hetgeen grenzen stelt aan een meer uitgebreide evaluatie van effecten op de biota. Voor het Schelde estuarium zijn veel meer gegevens beschikbaar dan in dit rapport worden gepresenteerd. Het verdient aanbeveling om in een eventuele vervolgstudie de estuaria per saliniteitszone te analyseren, omdat intensiteit en aard van biologische en chemische processen tussen de zones nogal kunnen verschillen.

## 6 Referenties

### 6.1 Geraadpleegde algemene literatuur over estuaria

- Biggs, RB & LE Cronin (1981) Special characteristics of estuaries. In: Nelson, BJ & LE Cronin (eds) *Estuaries and nutrients*. Humana press, Clifton NJ, p. 3-23
- Cadée, GC & J Hegeman (1974) *Primary production of the benthic microflora living on tidal flats in the Dutch Wadden Sea*. *Neth. J. Sea Res.* 11: p24-41.
- Colijn, FC & VN de Jonge (1984) Primary production of the microphytobenthos in the Ems-Dollard estuary. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 14: p185-196.
- Davidson, NC, D d'A Laffoley, JP Doody, LS Way, J Gordon, R Key, MW Pienkowski, R Mitchell & KL Duff (1991) *Nature conservation and estuaries in Great Britain*. Estuaries Review, Nature Conservancy Council, Peterborough, 422 p.
- Fairbridge, R (1980) The estuary: its definition and geodynamic cycle. In: Olausson, E & I Cato (eds) *Chemistry and biochemistry of estuaries*. John Wiley & Sons, New York, p. 1-35
- Jong, DJ de, PH Nienhuis & BJ Kater (1994) Microphytobenthos in the Oosterschelde estuary (the Netherlands), 1981-1990; consequences of a changed tidal regime. In: Nienhuis, PH & AC Smaal (Eds.) *The Oosterschelde Estuary*. Kluwer Acad. Publ.
- Nichols, MM & RB Biggs (1985) *Estuaries*. In: Davis, RA Jr (Ed) *Coastal sedimentary environments*, Springer, p77-186.
- Pritchard, D (1963) Observations of circulation in coastal plain estuaries. *Estuaries* ..: 37-44
- Werkgroep Waterbeheer Westerschelde** (1989) *Beleidsplan Westerschelde, Deelrapport 1: Zuurstofhuishouding en nutriëntenhuishouding*. RWS DGW/Directie Zeeland, 77p.

### 6.2 Referenties van de TYPOS Database

- 1 Winter, W de (1993) Inventory of the ecology and hydrography of the European tidal estuaries. JEEP-92 report, 128p.
- 2 Kerngroep Westerschelde (1989) Beleidsplan Westerschelde. RWS 6 reports.
- 3 Allersma, E (1992) *Studie inrichting oostelijk deel Westerschelde, analyse van het fysisch systeem*. WL report Z 368, 81p.
- 4 Schaik, de Jong & v/d Pluijm (1988) Vegetatie buitendijkse gebieden Westerschelde. Nota GWA0-88.1003
- 5 Maldegem, DC van (1993) De slibbalans van het Schelde-estuarium. Nota GWA0 91.081, 87p.
- 6 Anonymus (1993) *Getijtafels voor Nederland 1994*. Sdu uitgeverij den Haag, 161p.
- 7 Jonge, VN de (1992) Physical processes and dynamics of microphytobenthos in the Ems estuary (the Netherlands). PhD thesis, Univ. Groningen, 176p.
- 8 Soetaert, K, PMJ Herman & H Scholten (1992) MOSES: Model of the Scheldt estuary. *Ecolmod report EM-3*, 67p.
- 9 Baird, D & RE Ulanowicz (1993) Comparative study on the trophic structure, cycling and ecosystem properties of four tidal estuaries. *Mar.Ecol.Prog.Ser.* 99: p221-237.
- 10 Baird, D & H Milne (1981) Energy flow in the Ythan estuary, Aberdeenshire, Scotland. *Est.Coast.Shelf Sci.* 13: p455-472.
- 11 Allersma, E (1993) *Geulen in estuaria: 1-D modellering van evenwijdige geulen*. WL report H1828.
- 12 Jong, DJ de & VN de Jonge (in prep.) Dynamics of microphytobenthic chlorophyll-a in the Scheldt Estuary. JEEP-Hydrobiologia issue.
- 13 Davidson, NC, D d'A Laffoley, JP Doody, LS Way, J Gordon, R Key, MW Pienkowski, R Mitchell & KL Duff (1991) *Nature conservation and estuaries in Great Britain*. Nature Conservancy Council, 422p.

- 14 **Leach, JH** (1971) Hydrology of the Ythan Estuary with reference to distribution of major nutrients and detritus. *J.mar.biol.ass.UK* 51: p137-157.
- 15 **Dijkema, KS (ed.)** (1984) Salt marshes in Europe. EC Nature and Environment Series No 30, 178p.
- 16 **Williams, R & NR Collins** (1985) Zooplankton atlas of the Bristol Channel and Severn estuary. *Inst. Mar. Env. Res. Plymouth*, 169p.
- 17 **Rincé, Martin-Jézéquel & Ravail** (1989) Ecological observations on plankton of the Loire estuary. *Cah.Biol.Mar.*30: p201-216.
- 18 **Preston, MR & P Prodduturu** (1992) Tidal variations of particulate carbohydrates in the Mersey Estuary. *Est.Coast.Shelf Science* 34: p37-48.
- 19 **ARGE Elbe** (1986) Das Abflussjahr 1985. ARGE, 199p.
- 20 **Duinker, JC, MTJ Hillebrand, RF Nolting & S Wellershaus** (1982) The river Elbe: processes affecting the behaviour of metals and organichlorines during estuarine mixing. *Neth. J. Sea Res.* 15: p141-169.
- 21 **Colijn, F** (1982) Light absorption in the waters of the Ems-Dollard estuary and its consequences for the growth of phytoplankton and microphytobenthos. *Neth. J. Sea Res.* 15: p196-216.
- 22 **Laane, RWPM, H Etcheber & JC Relexans** (1987) Particulate organic matter in estuaries and its ecological implication for macrobenthos. *Mitt. Geol.-Paläont. Inst.* 64: p71-91.
- 23 **Kromkamp, J, J Peene, A Sandee & J Sinke** (1993) Primary production by phytoplankton and microphytobenthos in the turbid Western Scheldt estuary (the Netherlands). JEEP report Faro workshop.
- 24 **Brockmann, U** (1993) Comparison of particulate carbohydrates and phosphorus in five estuaries. JEEP-92 report Faro workshop: p17-24.
- 25 **Castel, J** (1993) Ecological structure of the Gironde estuary (1991-1992). JEEP-92 report Faro workshop: p89-97.
- 26 **Jonge, VN de & JEE van Beusekom** (1993) Possible relations between pelagic grazers, resuspended microphytobenthos and phytoplankton in the Ems estuary. JEEP-92 report Faro workshop: p99-112.
- 27 **Meire, PM, JJ Seys, TJ Ysebaert & J Coosen** (1991) A comparison of the macrobenthic distribution and community structure between two estuaries in SW Netherlands. ECSA 19 Proceedings: p221-230.
- 28 **Helder, W, RTP de Vries & M Rutgers van der Loeff** (1983) Behaviour of nitrogen nutrients and dissolved silica in the Ems-Dollard Estuary. *Can.J.Fish.Aquat.Sci.* 40 suppl.1: p188-200.
- 29 **Jonge, VN de** (1983) Relations between annual dredging activities, suspended matter concentrations, and the development of the tidal regime in the Ems estuary. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*40 suppl.1: p289-300.
- 30 **Jonge, VN de & LA Villerius** (1989) Possible role of carbonate dissolution in estuarine phosphate dynamics. *Limnol. Oceanogr.* 34: p332-340.
- 31 **Bent, EJ & R Goulder** (1981) Planktonic bacteria in the Humber estuary; seasonal variation in population density and heterotrophic activity. *Mar.Biol.* 62: p35-45.
- 32 **Ormaza-Gonzales, FI & PJ Statham** (1991) The occurrence and behaviour of different forms of phosphorus in the waters of four English estuaries. ECSA 19 Proceedings: p77-83.
- 33 **Despres, M et al.** (1991) Dynamique des populations de *Macoma balthica* (L.) dans les estuaries du Nord-Ouest de l'Europe: Première synthèse. ECSA 19 Proceedings: p159-166.
- 34 **Meybeck, M, G Cauwet, S Dessery, M Somville, D Goulet & G Billen** (1988) Nutrients (Organic C,P,N,Si) in the eutrophic river Loire (France) and its estuary. *Est. Coast. Shelf Sci.* 27: p595-624.
- 35 **Relexans, JC, M Meybeck, G Billen, M Brugeaille, H Etcheber & M Somville** (1988) Algal and microbial processes involved in particulate organic matter dynamics in the Loire estuary. *Est. Coast. Shelf Sci.* 27: p625-644.
- 36 **Key, RS** (1983) Ecology of the infauna of Spurn Bight mudflats: an area proposed for reclamation. PhD Thesis, Univ. Hull.
- 37 **Brockmann, U** (1992) Ecological structure of the Elbe. JEEP-92 report Plymouth workshop: p3-11.
- 38 **Duwe, KC** (1990) Hydrography and numerical modelling of Elbe and Shannon estuaries. EC Shanelbe report: p9-23.
- 39 **Brockmann, U** (1990) Nutrients and suspended material in Shannon and Elbe estuaries. EC Shanelbe report: p24-43.
- 40 **Fast, T, C Gätje, L Kies, T McMahon, J Patching, R Raine & A Seelig** (1990) Plant biomass and primary production in the Elbe and Shannon estuaries. EC Shanelbe report: p58-69.

- 41 **Brennan, B** (1990) Intercalibration report from working group 2/3. EC Shanelbe report: p83-90.
- 42 **McMahon, TG** (1990) A review of the available literature on the Shannon estuary. EC Shanelbe report: p159-229.
- 43 **Monteny, F, M Elskens & W Baeyens** (1993) The behaviour of copper and zinc in the Scheldt estuary. *Neth. J. Aquat. Ecol.* 27: p279-286.
- 44 **Zwolsman, JGG & GTM van Eck** (1993) Dissolved and particulate trace metal geochemistry in the Scheldt estuary, SW Netherlands (Water column and sediments). *Neth. J. Aquat. Ecol.* 27: p287-300.
- 45 **Ysebaert, T, P Meire, D Maes & J Buijs** (1993) The benthic macrofauna along the estuarine gradient of the Scheldt estuary. *Neth. J. Aquat. Ecol.* 27: p327-341.
- 46 **Marchand, J** (1993) The influence of seasonal salinity and turbidity maximum variations on the nursery function of the Loire estuary (France). *Neth. J. Aquat. Ecol.* 27: p427-436.
- 47 **Rijkswaterstaat** (1993) Waterkwaliteitsgegevens Deltagebied 1992. RIKZ.
- 48 **Hoffmann, M** (1993) Vegetatiekundig-ecologisch onderzoek van de buitendijkse gebieden langs de Zeeschelde met vegetatiekartering. Report Univ. Gent, 223p.
- 49 **Frandzel, T** (1993) Research on the dynamics of microphytobenthos in the Western Scheldt 1989-1993. Rijkswaterstaat RIKZ report, 10p.
- 50 **Edwards, A, R Freestone & C Urquhart (Eds.)** (1987) The water quality of the Humber estuary, 1986. Humber Estuary Committee, 27p.
- 51 **BOEDE** (1983) Biologisch Onderzoek Eems-Dollard Estuarium. BOEDE 1983-1, 267p.
- 52 **WORSRO/SAWES** (1993) Database of water parameters used for SAWES water quality model for the Scheldt estuary (Rupelmonde - Vlissingen) 1980-1992. RIKZ floppy.
- 53 **Harten, H & H Vollmers** (1978) The estuaries of the German North Sea coast. *Die Küste* 32: p50-65.
- 54 **Baretta, JW** (1983) The zooplankton of the Ems estuary: quantitative data. *Ecology of the Wadden Sea* 4: p145-153.
- 55 **Baretta, JW & P Ruurdij** (1988) Tidal Flat Estuaries. Simulation and analysis of the Ems estuary. Springer Verlag, Berlin, 353p.
- 56 **Cadée, GC** (1987) Organic carbon in the Ems river and estuary: a comparison of summer and winter conditions. *Mitt.Geol.Paläont.Inst.* 64: p359-374.
- 57 **Cauwet, G & JM Martin** (1987) Organic carbon transported by French rivers. *Mitt. Geol. Paläont.Inst.* 52: p475-481.
- 58 **Estuary Project Group, Mersey Basin Campaign** (1993) Mersey estuary management plan - First year report. Univ. of Liverpool report, 44p.
- 59 **Stuurgroep Waddenprovincies** (1989) Watersportonderzoek Waddenzee 1988. Report, Leeuwarden, 55p.
- 60 **Petterson, G** (1990) De watersport op de Westerschelde. Westerschelde Studies Studierapport no.11, 81p.
- 61 **Essink, K** (1993) Ecologische effecten van baggeren en storten van baggerspecie in het Eems-Dollard estuarium en de Waddenzee. Report DGW-93.020, 64p.
- 62 **Bakker, J et al.** (1991) Trends en toestanden zoute wateren 1980-1990. Een goede start voor beheer en verkenning. Report GWWS-91.004.
- 63 **Anonymus** (1984) Rapport final du Comité Scientifique pour l'Environnement de l'estuaire de la Loire. *Rap.Scient.Tech. CNEXO* 55, 158.
- 64 **Marchand, J & P Elie** (1983) Contribution à l'étude des peuplements benthiques de l'estuaire de la Loire. Report CSEEL, Nantes 3, 128p.
- 65 **Migniot, C** (1993) Bilan de l'hydrologie et de l'hydrosédimentaire de l'estuaire de la Loire au cours des 2 derniers décennies. Rapport APEEL/PANSN, 179p.
- 66 **Guérault, D, Y Desauvay & P Beillois** (1993) La pêche professionnelle des poissons migrateurs dans l'estuaire de la Loire en 1989. Rapport IFREMER DRV 93.009, 15p.
- 67 **Goinard, N** (1993) Importance économique des espèces à écophase estuarienne dans le golfe de Gascogne. *Rap. APEEL/ADERET* 2201AB, 36p.
- 68 **Manickam, S** (1982) Etude hydrologique et sédimentologique de la zone de transition entre la Loire fluviale et l'estuaire. Thesis, Univ. Nantes, 281p.
- 69 **Sauriau, PGS** (1991) Etude des populations de mulets dans l'estuaire de la Loire. Bilan des études 1989-1990. Rapport APEEL, 123p.
- 70 **Dijkema, KS** (1987) Changes in saltmarsh area in the Netherlands Wadden Sea after 1600. Chapter 4 in: Huiskes, AHL, CWPM Blom & J Rozema (eds.) Vegetation between land and sea. Junk, Dordrecht, p42-49.

- 71 Smit, CJ (1983) The importance of the Wadden Sea for estuarine birds Ecology of the Wadden Sea, Report 6: p280-289.
- 72 Meire, P, G Rossaert, N De Regge, T Ysebaert & E Kuijken (1992) Het Schelde-estuarium: Ecologische beschrijving en een visie op de toekomst. Report IN/RUG, IN nr. A 92.57, 150p.
- 73 Ras, SL & MJ Schaleven (1993) Calamiteitenbetrijdingsmiddelen bij scheepvaartwegen in Zeeland. RWS Dir. Zeeland, AX 92.129, 27p.
- 74 Havenbedrijf Antwerpen (1993) Jaarboek 1992. Havenbedrijf Antwerpen, 32p.
- 75 Winter, W de (1993) JEEP-92 Database. Paradox for Windows format floppies.
- 76 Cadée, GC & RWPM Laane (1983) Behaviour of POC, DOC and fluorescence in the freshwater tidal compartment of the river Ems. Mitt. Geol. Paläont. Inst. 55: p331-342.
- 77 Cadée, GC & J Hegeman (1974) Primary production in the Dutch Wadden Sea. *Neth. J. Sea Res.* 8: p240-259.
- 78 National Rivers Authority (1993) The quality of the Humber estuary (1980-1990). report, ISBN 1873160313
- 79 Institute of Estuarine and Coastal Studies, University of Hull (1994) The Humber Estuary: Coastal processes and conservation. Report, Univ. Hull, 55p.
- 80 Dijkema, KS, C Veld & G van Tienen (1988) Ecologische basiskaarten van de Waddenzee t.b.v oliebestrijding. RIN & RWS, 9 maps 1:50000.
- 81 Waters, RJ & PA Cranswick (1993) The wetland bird survey 1992-1993: Wildfowl and wader counts. BTO/WWT/RSPB/JNCC report 110.
- 82 Homeier, H (1969) Der Gestaltwandel der Ostfriesischen Küste im Laufe der Jahrhunderte; ein Jahrtausend Ostfriesischer Deichgeschichte. Selbstverlag, Pewsum.
- 83 Technische Scheldecommissie, subcommissie Westerschelde (1984) Studierapport verdieping Westerschelde, programma 48/43', deel1. Middelburg/Antwerpen, 174p.
- 84 Meininger, PL, CM Berrevoets & RCW Strucker (1994) Watervogeltellingen in het zuidelijk Deltagebied 1987-1991. Report RIKZ-94.005, 381p.
- 85 Nichols, MM & RB Biggs (1985) Estuaries. In: Davis, RA Jr (Ed) Coastal sedimentary environments, Springer, p77-186.
- 86 Castel, J Letter of 13 July 1994
- 87 Allen, GP, JC Salomon, P Bassoulet, Y du Penhoat & C de Grandpré (1980) Effects of tides on mixing and suspended sediment transport in macrotidal estuaries. *Sedimentary Geology* 26: p89-90.
- 88 Marchand, J Letter of 24 June 1994
- 89 Marchand, J Letter of 1 July 1994
- 90 Sly, PG (1989) Sediment dispersion: part 2, characterisation by size of sand fraction and percent mud. *Hydrobiologia* 176/177: p111-124.
- 91 McDowell, DM & BA O'Connor (1977) Hydraulic behaviour of estuaries. Macmillan Press, 292p.
- 92 Jones, NV & RS Key (1989) The biological value of mudflats in the Humber estuary (England): Areas proposed for land reclamation. *Proceedings SUIEC Vol.2*: p19-32.
- 93 Turner, A & GE Millward (1994) Partitioning of trace metals in a macrotidal estuary. Implications for contaminant transport models. *Est.Coast.Shelf Science* 39: p45-58.
- 94 EUROSTAT (1993) European Watersheds and population densities poster.
- 95 Castel, J (1992) Gironde estuary - List of species. JEEP-92 project, 13p.
- 96 Castel, J Letter of 8 September 1994
- 97 Hovekamp, F & HW van der Veer (1993) De visfauna van de Nederlandse estuaria: een vergelijkend onderzoek. NIOZ-Rapport 1993-13, 121p.
- 98 Marchand, J Facsimile message of 20 September 1994
- 99 Ravensbergen, GJ & RJ Scheele (1990) De visserij op de Westerschelde. Westerschelde Studies Studierapport No. 7: 39p.
- 100 Möller, H (1991) Zusammensetzung und Gesundheitszustand der Fisch-Fauna der Tideelbe. *Wasserwirtschaft-Wassertechnik* 6: p245-248.
- 101 Möller, H 1989 Changes in fish stocks and fisheries: the lower Elbe river. In: Petts, GE (ed.) Historical change of large alluvial rivers: Western Europe. John Wiley & Sons, p203-219.
- 102 Howard, K & C Urquhart (1988) The water quality of the Humber estuary, 1987. Humber estuary Committee, 11p.
- 103 Soetaert, K & PMJ Herman (1994) One foot in the grave: zooplankton drift into the esterschelde estuary (The Netherlands). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 105: p19-29.
- 104 Benzie, JAH, KB Pugh & MB Davidson (1991) The rivers of North East Scotland: physicochemical characteristics. *Hydrobiologia* 218: p93-106.
- 106 Delft Hydraulics (WL) (1994) Etude Hydrologique de l'Estuaire de la Loire. Report 1109/Z581

- 105 Pieters, T, C Storm, T Walhout & T Ysebaert (eds.) (1991) Het Schelde-estuarium, meer an een vaarweg. Nota GWWWS-91.081, 135p.
- 107 Spek, AJF van der (1993) Getij-simulatie voormalige getijdebekken. Deel 1: de Westerschelde in 1650 en 1800. IMAU Report R93-10, 47p.
- 108 Ysebaert, T (1994) Lezing: Vogels in het Schelde estuarium, leven tussen hoop en vrees. Symposium NVAE 26 may 1994
- 109 Reijnders, P (1994) Pers. comm. 27 Oktober 1994
- 110 Meltotte, H, J Blew, J Frikke, H-U Rösner & CJ Smit (1994) Numbers and distribution of waterbirds in the Wadden Sea. Results and evaluation of 36 simultaneous counts, 1980-1991. Wader Study Group Bulletin Special Issue, in press

### 6.3 Referenties per estaurium

#### Literatuur Dee estuarium

- 13 Davidson, NC, D d'A Laffoley, JP Doody, LS Way, J Gordon, R Key, MW Pienkowski, R Mitchell & KL Duff (1991) Nature conservation and estuaries in Great Britain. Nature Conservancy Council, 422p.
- 94 EUROSTAT (1993) European Watersheds and population densities poster.
- 109 Reijnders, P (1994) Pers. comm. 27 Oktober 1994
- 93 Turner, A & GE Millward (1994) Partitioning of trace metals in a macrotidal estuary. Implications for contaminant transport models Est.Coast.Shelf Science 39: p45 - 58
- 81 Waters, RJ & PA Cranswick (1993) The wetland bird survey 1992-1993: Wildfowl and wader counts. BTO/WWT/RSPB/JNCC report, 110p.

#### Literatuur Eems estuarium

- 62 Bakker, J et al. (1991) Trends en toestanden zoute wateren 1980-1990. Een goede start voor beheer en verkenning. Rapport GWWWS-91.004.
- 54 Baretta, JW (1983) The zooplankton of the Ems estuary: quantitative data. Ecology of the Wadden Sea 4: p145-153.
- 55 Baretta, JW & P Ruurdij (1988) Tidal Flat Estuaries. Simulation and analysis of the Ems estuary. Springer Verlag, Berlin, 353p.
- 51 BOEDE (1983) Biologisch Onderzoek Eems-Dollard Estuarium. BOEDE rapport 1983-1, 267p.
- 56 Cadée, GC (1987) Organic carbon in the Ems river and estuary: a comparison of summer and winter conditions. Mitt. Geol. Paläont. Inst. 64: p359-374.
- 21 Colijn, F (1982) Light absorption in the waters of the Ems-Dollard estuary and its consequences for the growth of phytoplankton and microphytobenthos. Neth. J. Sea Res. 15: p196-216.
- 70 Dijkema, KS (1987) Changes in saltmarsh area in the Netherlands Wadden Sea after 1600. Chapter 4 in: Huiskes, AHL, CWPM Blom & J Rozema (eds.) Vegetation between land and sea. Junk, Dordrecht, p42-49.
- 15 Dijkema, KS (ed.) (1984) Salt marshes in Europe. EC Nature and Environment Series No 30, 178p.
- 80 Dijkema, KS, C Veld & G van Tienen (1988) Ecologische basiskaarten van de Waddenzee t.b.v oliebestrijding. RIN & RWS, 9 kaarten 1:50000.
- 61 Essink, K (1993) Ecologische effecten van baggeren en storten van baggerspecie in het Eems-Dollard estuarium en de Waddenzee. Rapport DGW-93.020, 64p.
- 94 EUROSTAT (1993) European Watersheds and population densities poster.
- 53 Harten, H & H Vollmers (1978) The estuaries of the German North Sea coast. Die Küste 32: p50-65.
- 97 Hovekamp, F & HW van der Veer (1993) De visfauna van de Nederlandse estuarla: een vergelijkend onderzoek. NIOZ-Rapport 1993-13: 121p.
- 7 Jonge, VN de (1992) Physical processes and dynamics of microphytobenthos in the Ems estuary (the Netherlands). PhD thesis Univ. Groningen, 176p.
- 26 Jonge, VN de & JEE van Beusekom (1993) Possible relations between pelagic grazers, resuspended microphytobenthos and phytoplankton in the Ems estuary. JEEP-92 report workshop Faro, p99-112.

- 22 Laane, RWPM, H Etcheber & JC Relexans (1987) Particulate organic matter in estuaries and its ecological implication for macrobenthos. *Mitt. Geol.-Paläont. Inst.* 64: p71-91.
- 27 Meire, PM, JJ Seys, TJ Ysebaert & J Coosen (1991) A comparison of the macrobenthic distribution and community structure between two estuaries in SW Netherlands. *ECSA 19 Proceedings*, p221-230.
- 110 Meltofte, H, J Blew, J Frikke, H-U Rösner & CJ Smit (1994) Numbers and distribution of waterbirds in the Wadden Sea. Results and evaluation of 36 simultaneous counts, 1980-1991. *Wader Study Group Bulletin Special Issue*, in press
- 109 Reijnders, P (1994) Pers. comm. 27 Oktober 1994
- 59 Stuurgroep Waddenprovincies (1989) Watersportonderzoek Waddenzee 1988. Rapport, Leeuwarden, 55p.
- 83 Technische Scheldecommissie, subcommissie Westerschelde (1984) Studierapport verdieping Westerschelde, programma 48/43' deel1. Middelburg/Antwerpen, 174p.

#### Literatuur Elbe estuarium

- 19 ARGE Elbe (1986) Das Abflussjahr 1985. ARGE, 199p.
- 39 Brockmann, U (1990) Nutrients and suspended material in Shannon and Elbe estuaries. *EC Shanelbe report*, p24-43.
- 37 Brockmann, U (1992) Ecological structure of the Elbe. *JEEP-92 workshop Plymouth*, p3-11.
- 15 Dijkema, KS (ed.) (1984) Salt marshes in Europe. *EC Nature and Environment Series No 30*, 178p.
- 20 Duinker, JC, MTJ Hillebrand, RF Nolting & S Wellershaus (1982) The river Elbe: processes affecting the behaviour of metals and organochlorines during estuarine mixing. *Neth. J. Sea Res.* 15: p141-169.
- 94 EUROSTAT (1993) European Watersheds and population densities poster.
- 40 Fast, T, C Gätje, L Kies, T McMahon, J Patching, R Raine & A Seelig (1990) Plant biomass and primary production in the Elbe and Shannon estuaries. *EC Shanelbe report*, p58-69.
- 53 Harten, H & H Vollmers (1978) The estuaries of the German North Sea coast. *Die Küste* 32: p50-65.
- 27 Meire, PM, JJ Seys, TJ Ysebaert & J Coosen (1991) A comparison of the macrobenthic distribution and community structure between two estuaries in SW Netherlands. *ECSA 19 proceedings*: p221-230.
- 110 Meltofte, H, J Blew, J Frikke, H-U Rösner & CJ Smit (1994) Numbers and distribution of waterbirds in the Wadden Sea. Results and evaluation of 36 simultaneous counts, 1980-1991. *Wader Study Group Bulletin Special Issue*, in press
- 101 Möller, H (1989) Changes in fish stocks and fisheries: the lower Elbe river. In: Petts, GE (ed.) *Historical change of large alluvial rivers: Western Europe*. John Wiley & Sons, p203-219.
- 100 Möller, H (1991) Zusammensetzung und Gesundheitszustand der Fisch-Fauna der Tideelbe. *Wasserwirtschaft-Wassertechnik* 6: p245-248.
- 109 Reijnders, P (1994) Pers. comm. 27 Oktober 1994

#### Literatuur Gironde estuarium

- 87 Allen, GP, JC Salomon, P Bassoulet, Y du Penhoat & C de Grandpré (1980) Effects of tides on mixing and suspended sediment transport in macrotidal estuaries. *Sedimentary Geology* 26: p69-90.
- 95 Castel, J (1992) Gironde estuary - List of species. *JEEP-92 project rapport*, 13p.
- 25 Castel, J (1993) Ecological structure of the Gironde estuary (1991-1992). *JEEP-92 report workshop Faro*, p89-97.
- 86 Castel, J (1994) Letter of 13 July 1994.
- 96 Castel, J (1994) Letter of 8 September 1994.
- 57 Cauwet, G & JM Martin (1987) Organic carbon transported by French rivers. *Mitt. Geol. Paläont. Inst.* 52: p475-481.
- 15 Dijkema, KS (ed.) (1984) Salt marshes in Europe. *EC Nature and Environment Series No 30*, 178p.
- 94 EUROSTAT (1993) European Watersheds and population densities poster.
- 22 Laane, RWPM, H Etcheber & JC Relexans (1987) Particulate organic matter in estuaries and its ecological implication for macrobenthos. *Mitt. Geol.-Paläont. Inst.* 64: p71-91.

- 85 Nichols, MM & RB Biggs (1985) Estuaries. In: Davis, RA Jr (Ed) Coastal sedimentary environments, Springer, p77-186.
- 109 Reijnders, P (1994) Pers. comm. 27 Oktober 1994
- 71 Smit, CJ (1983) The importance of the Wadden Sea for estuarine birds. Ecology of the Wadden Sea, Report 6: p280-289.
- 1 Winter, W de (1993) Inventory of the ecology and hydrography of the European tidal estuaries. JEEP-92 rapport, 128p.

#### Literatuur Humber estuarium

- 31 Bent, EJ & R Goulder (1981) Planktonic bacteria in the Humber estuary; seasonal variation in population density and heterotrophic activity. Mar.Biol.62: p35-45.
- 13 Davidson, NC, D d'A Laffoley, JP Doody, LS Way, J Gordon, R Key, MW Pienkowski, R Mitchell & KL Duff (1991) Nature conservation and estuaries in Great Britain. Nature Conservancy Council, 422p.
- 50 Edwards, A, R Freestone & C Urquhart (Eds.) (1987) The water quality of the Humber estuary, 1986. Humber Estuary Committee, 27p.
- 94 EUROSTAT (1993) European Watersheds and population densities poster.
- 102 Howard, K & C Urquhart (1988) The water quality of the Humber estuary, 1987. Humber Estuary Committee, 11p.
- 92 Jones, NV & RS Key (1989) The biological value of mudflats in the Humber estuary (England): Areas proposed for land reclamation. Proceedings SUDEC Vol.2: p19-32.
- 36 Key, RS (1983) Ecology of the infauna of Spurn Bight mudflats: an area proposed for reclamation. PhD Thesis, Univ. Hull.
- 78 National Rivers Authority (1993) The quality of the Humber estuary (1980-1990). Rapport, ISBN 1873160313.
- 109 Reijnders, P (1994) Pers. comm. 27 Oktober 1994
- 81 Waters, RJ & PA Cranswick (1993) The wetland bird survey 1992-1993: Wildfowl and wader counts. BTO/WWT/RSPB/JNCC rapport, 110p.

#### Literatuur Loire estuarium

- 63 Anonymus (1984) Rapport final du Comit, Scientifique pour l'Environnement de l'estuaire de la Loire. Rap.Scient.Tech. CNEXO 55, 158p.
- 106 Delft Hydraulics (WL) (1994) Etude Hydrologique de l'Estuaire de la Loire. Report T1109/Z581
- 94 EUROSTAT (1993) European Watersheds and population densities poster.
- 66 Guérault, D, Y Desauvay & P Beillois (1993) La peche professionnelle des poissons migrateurs dans l'estuaire de la Loire en 1989. Rapport IFREMER DRV 93.009, 15p.
- 46 Marchand, J (1993) The influence of seasonal salinity and turbidity maximum variations on the nursery function of the Loire estuary (France). Neth. J. Aquat. Ecol. 27: p427-436.
- 88 Marchand, J (1994) Letter of 24 June 1994.
- 89 Marchand, J (1994) Letter of 1 July 1994.
- 98 Marchand, J (1994) Facsimile message of 20 September 1994.
- 64 Marchand, J & P Elle (1983) Contribution à l'étude des peuplements benthiques de l'estuaire de la Loire. Rapport CSEEL, Nantes 3: 128p.
- 34 Meybeck, M, G Cauwet, S Dessery, M Somville, D Goulet & G Billen (1988) Nutrients (Organic C,P,N,Si) in the eutrophic river Loire (France) and its estuary. Est. Coast. Shelf Sci.27: p595-624.
- 65 Migniot, C (1993) Bilan de l'hydrologie et de l'hydrosédimentaire de l'estuaire de la Loire au cours des 2 derniers décennies. Rapport APEEL/PANSN, 179p.
- 109 Reijnders, P (1994) Pers. comm. 27 Oktober 1994
- 35 Relexans, JC, M Meybeck, G Billen, M Brégeille, H Etcheber & M Somville (1988) Algal and microbial processes involved in particulate organic matter dynamics in the Loire estuary. Est. Coast. Shelf Sci. 27: p625-644.
- 17 Rincé, Y, V Martin-Jézéquel & B Ravail (1989) Ecological observations on plankton of the Loire estuary. Cah.Biol.Mar. 30: p201-216.
- 1 Winter, W de (1993) Inventory of the ecology and hydrography of the European tidal estuaries. JEEP-92 rapport, 128p.

### Literatuur Mersey estuarium

- 13 Davidson, NC, D d'A Laffoley, JP Doody, LS Way, J Gordon, R Key, MW Pienkowski, R Mitchell & KL Duff (1991) Nature conservation and estuaries in Great Britain. Nature Conservancy Council, 422p.
- 15 Dijkema, KS (ed.) (1984) Salt marshes in Europe. EC Nature and Environment Series No 30, 178p.
- 58 Estuary Project Group, Mersey Basin Campaign (1993) Mersey estuary management plan - First year report. Univ. of Liverpool rapport, 44p.
- 94 EUROSTAT (1993) European Watersheds and population densities poster.
- 91 McDowell, DM & BA O'Connor (1977) Hydraulic behaviour of estuaries. Macmillan Press, 292p.
- 18 Preston, MR & P Prodduturu (1992) Tidal variations of particulate carbohydrates in the Mersey Estuary. Est. Coast. Shelf Science 34: p37-48.
- 109 Reijnders, P (1994) Pers. comm. 27 Oktober 1994
- 90 Sly, PG (1989) Sediment dispersion: part 2, characterisation by size of sand fraction and percent mud. Hydrobiologia 178/177: p111-124.
- 81 Waters, RJ & PA Cranswick (1993) The wetland bird survey 1992-1993: Wildfowl and wader counts. BTO/WWT/RSPB/JNCC rapport, 110p.

### Literatuur Schelde estuarium

- 3 Allersma, E (1992) Studie inrichting oostelijk deel Westerschelde, analyse van het fysisch systeem. WL rapport Z 368, 81p.
- 24 Brockmann, U (1993) Comparison of particulate carbohydrates and phosphorus in five estuaries. JEEP-92 report workshop Faro: p17-24.
- 94 EUROSTAT (1993) European Watersheds and population densities poster.
- 74 Havenbedrijf Antwerpen (1993) Jaarboek 1992. Havenbedrijf Antwerpen, 32p.
- 97 Hovekamp, F & HW van der Veer (1993) De visfauna van de Nederlandse estuaria: een vergelijkend onderzoek. NIOZ-Rapport 1993-13: 121p.
- 12 Jong, DJ de & VN de Jonge (in press) Dynamics of micropytobenthic chlorophyll-a in the Scheldt Estuary. JEEP-Hydrobiologia nummer.
- 23 Kromkamp, J, J Peene, A Sandee & J Sinke (1993) Primary production by phytoplankton and microphytobenthos in the turbid Western Scheldt estuary (the Netherlands). JEEP report Faro workshop: p??-??.
- 5 Maldegem, DC van (1993) De slibbalans van het Schelde-estuarium. Nota GWAO 91.081, 87p.
- 72 Meire, P, G Rossaert, N De Regge, T Ysebaert & E Kuljken (1992) Het Schelde-estuarium: Ecologische beschrijving en een visie op de toekomst. Rapport IN/RUG, IN nr. A 92.57, 150p.
- 43 Monteny, F, M Eiskens & W Baeyens (1993) The behaviour of copper and zinc in the Scheldt estuary. Neth. J. Aquat. Ecol. 27: p279-286.
- 60 Petterson, G (1990) De watersport op de Westerschelde. Westerschelde Studies Studierapport no.11, 81p.
- 105 Pieters, T, C Storm, T Walhout & T Ysebaert (eds.) (1991) Het Schelde-estuarium, meer dan een vaarweg. Nota GWWS-91.081, 135p.
- 73 Ras, SL & MJ Schaleven (1993) Calamiteitenbetrijdingsmiddelen bij scheepvaartwegen in Zeeland. Rapport RWS Directie Zeeland, AX 92.129, 27p.
- 99 Ravensbergen, GJ & RJ Scheele (1990) De visserij op de Westerschelde. Westerschelde Studies Studierapport No. 7, 39p.
- 109 Reijnders, P (1994) Pers. comm. 27 Oktober 1994
- 4 Schaik, de Jong & v/d Pluijm (1988) Vegetatie buitendijkse gebieden Westerschelde. DGW Nota GWAO-88.1003.
- 107 Spek, AJF van der (1993) Getij-simulatie voormalige getijdebekkens. Deel 1: de Westerschelde in 1650 en 1800. IMAU Report R93-10, 47p.
- 103 Soetaert, K & PMJ Herman (1994) One foot in the grave: zooplankton drift into the Westerschelde estuary (The Netherlands). Mar. Ecol. Prog. Ser. 105: p19-29.
- 8 Soetaert, K, PMJ Herman & H Scholten (1992) MOSES: Model of the Scheldt estuary. Ecolmod rapport EM-3, 67p.
- 83 Technische Scheldecommissie, subcommissie Westerschelde (1984) Studierapport verdieping Westerschelde, programma 48/43' deel1. Middelburg/Antwerpen, 174p.

- 1 Winter, W de (1993) Inventory of the ecology and hydrography of the European tidal estuaries. JEEP-92 rapport, 128p.
- 52 WORSRO/SAWES (1993) Database of water parameters used for SAWES water quality model for the Scheldt estuary (Rupelmonde - Vlissingen) 1980-1992. RIKZ floppy.
- 108 Ysebaert, T (1994) Lezing: Vogels in het Schelde estuarium, leven tussen hoop en vrees Symposium NVAE 26 may 1994
- 45 Ysebaert, T, P Meire, D Maes & J Buijs (1993) The benthic macrofauna along the estuarine gradient of the Scheldt estuary. *Neth. J. Aquat. Ecol.* 27: p327-341.
- 44 Zwolsman, JJG & GTM van Eck (1993) Dissolved and particulate trace metal geochemistry in the Scheldt estuary, SW Netherlands (Water column and sediments). *Neth. J. Aquat. Ecol.* 27: p287-300.

#### Literatuur Shannon estuarium

- 41 Brennan, B (1990) Intercalibration report from working group 2/3. EC Shanelbe report, p83-90.
- 39 Brockmann, U (1990) Nutrients and suspended material in Shannon and Elbe estuaries. EC Shanelbe report, p24-43.
- 40 Fast, T, C Gätje, L Kies, T McMahon, J Patching, R Raine & A Seelig (1990) Plant biomass and primary production in the Elbe and Shannon estuaries. EC Shanelbe report, p58-69.
- 42 McMahon, TG (1990) A review of the available literature on the Shannon estuary. EC Shanelbe report, p159-229.
- 71 Smit, CJ (1983) The importance of the Wadden Sea for estuarine birds. Ecology of the Wadden Sea, Report 6: p280-289.
- 1 Winter, W de (1993) Inventory of the ecology and hydrography of the European tidal estuaries. JEEP-92 rapport, 128p.

#### Literatuur Ythan estuarium

- 10 Baird, D & H Milne (1981) Energy flow in the Ythan estuary, Aberdeenshire, Scotland. *Est. Coast. Shelf Sci.* 13: p455-472.
- 9 Baird, D & RE Ulanowicz (1993) Comparative study on the trophic structure, cycling and ecosystem properties of four tidal estuaries. *Mar.Ecol.Prog.Ser.* 99: p221-237.
- 104 Benzie, JAH, KB Pugh & MB Davidson (1991) The rivers of North East Scotland: physicochemical characteristics. *Hydrobiologia* 218: p93-106.
- 13 Davidson, NC, D d'A Laffoley, JP Doody, LS Way, J Gordon, R Key, MW Pienkowski, R Mitchell & KL Duff (1991) Nature conservation and estuaries in Great Britain. Nature Conservancy Council, 422p.
- 94 EUROSTAT (1993) European Watersheds and population densities poster.
- 14 Leach, JH (1971) Hydrology of the Ythan Estuary with reference to distribution of major nutrients and detritus. *J. mar. biol. ass. UK* 51: p137-157.
- 109 Reijnders, P (1994) Pers. comm. 27 Oktober 1994
- 81 Waters, RJ & PA Cranswick (1993) The wetland bird survey 1992-1993: Wildfowl and wader counts. BTO/WWT/RSPB/JNCC rapport, 110p.

#### **6.4 Adressen van geraadpleegde personen per estuarium**

**Eems** RIKZ Haren,

Dhr. O. Steen, Wasser- und Schifffahrtsamt Emden, Postfach 2451, D 26704 Emden,  
tel. 00 49 4921 8021, fax 00 49 4921 802379

**Elbe** Dr U. Brockmann, Institute for Biogeochemistry and Marine Chemistry, University of Hamburg,  
fax 00 49 404123 5235 (geen antwoord)

**Gironde** Dr J Castel, Laboratoire d'Océanographie Biologique, Centre d'Océanographie et de Biologie  
Marine, 2, Rue du Prof. Jolyet, F 33120 Arcachon, tel. 00 33 56831022, fax 00 33 56835104

**Humber** Mrs. L. Evans, Project Officer Humber Estuary, English Nature, fax 00 44 924 201507  
Dr NV Jones, School of Life Sciences, University of Hull, Hull HU6 7RX, UK,  
tel. 00 44 482 465511, fax 00 44 482 465458

**Loire** Mme. Dr J. Marchand, Laboratoire de Biologie Marine, Université de Nantes, 2, rue de la  
Houssinière, F 44072 Nantes CEDEX 03, fax 00 33 40293251

**Schelde** RIKZ Middelburg

**Shannon** Dr JG Wilson, Environmental Sciences Unit, Trinity College, Dublin, fax 00 353 16772694  
(geen antwoord)

**Alle estuaria, informatie over zeehonden:** Dr P. Reijnders, IBN-DLO Texel, tel. 02220 69700

**Bijlage: Deelnemers Workshop Typologie 22 April 1994**

Inleidingen door:

- E. Allersma (WL): Hydrodynamica,
- P. Augustinus (RUU): Geomorfologie,
- R. Laane (RIKZ): Chemie,
- N. Dankers (IBN-DLO): Oecologie/Biologie,
- P. Herman (NIOO-CEMO): Oecologie/Modellen.

Overige deelnemers:

- C. Heip (NIOO-CEMO),
- M. Kuyper (WL),
- P. Meire (IN),
- J. de Vlas (NBLF),
- L. de Jong (RWS-Directie Zeeland),
- S. Huijs (RIKZ/RUU),
- A. Smaai (voorzitter),
- N. Cadée,
- J. Coosen,
- D. de Jong,
- T. Pieters,
- I. de Vries (allen RIKZ)

Verslag RIKZ/OS 94.816

## Bijlage: Overzicht van parameterwaarden voor de tien estuaria

## FYSICA

| Variable                                   | Dee   | Elbe            | Ems        | Gironde        | Humber        |
|--------------------------------------------|-------|-----------------|------------|----------------|---------------|
| riverafvoer m <sup>3</sup> /s              | -     | 720(130-3800)   | 80(5-1200) | 910(250-1500)  | 240(169-1500) |
| getijvolume 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | -     | 1300            | 1560       | 1000-2000      | 2200-3200     |
| getijverschil m                            | -     | 2.85(2.45-3.25) | 2.2        | 4.5            | 5(2-7)        |
| volume 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>      | -     | -               | 1440       | 2175           | -             |
| lengte m                                   | -     | 170             | 100        | 95             | 64            |
| gem. diepte m                              | -     | -               | 3          | 3.5-4          | -             |
| opp. platen ha                             | 10873 | 27500           | 23970      | 5000           | 12102         |
| opp. geulen ha                             | 3120  | 31140           | 23030      | 57000          | 16835         |
| opp. schorren ha                           | 2108  | 2560            | 1450       | 400            | 1419          |
| totaal opp. ha                             | 16101 | 61200           | 48450      | 62400          | 30356         |
| mosselbank ha                              | -     | -               | 110        | 0              | -             |
| zeegrasveld ha                             | -     | -               | 15         | -              | -             |
| stroomgebied ha                            | -     | 146500          | 12650      | 71000          | 24420         |
| klei % sediment                            | -     | -               | 0.1-18     | 34             | -             |
| mediane korrelgr.                          | -     | 30-50           | 16-155     | -              | 1.19-6.7      |
| POC % sediment                             | -     | -               | 0.2-5      | 1-3            | 0.2-4.7       |
| extinctie K <sub>d</sub>                   | -     | 5               | 3.7        | 5              | -             |
| type (Pritchard)                           | -     | B               | D          | B              | -             |
| temperatuur °C                             | -     | -               | 5-20       | 13.6(3.7-26.5) | -             |

## BIOLOGIE

| Variable                                   | Dee    | Elbe  | Ems                | Gironde     | Humber    |
|--------------------------------------------|--------|-------|--------------------|-------------|-----------|
| fytoplankton<br>mg Chla/m <sup>3</sup>     | -      | 5-74  | -                  | 7-20        | -         |
| benth. diatomeeën<br>g Chla/m <sup>2</sup> | -      | 90    | 67 (29-247)        | 60 (10-130) | -         |
| PP benthisch<br>gC/m <sup>2</sup> .jaar    | -      | 200   | 50-210             | -           | 33 (4-60) |
| PP pelagisch<br>gC/m <sup>2</sup> .jaar    | -      | 128   | 60-400             | 10          | -         |
| macrobenthos<br>gAFDW/m <sup>2</sup>       | -      | -     | 3.8 (1-80)         | 3 (0-17)    | 20 (6-34) |
| zooplankton gC/m <sup>3</sup>              | -      | -     | 0.016 (0.005-0.05) | 0.025-0.086 | -         |
| aantal vissoorten                          | -      | 66    | 53                 | 43          | 67        |
| aantal over-<br>winterende vogels          | 145760 | 21500 | 49000              | 20000       | 143065    |
| zeehonden                                  | <5     | 400   | 500                | <5          | 150-200   |

## FYSICA

| Variable                                   | Loire          | Mersey      | Scheldt      | Shannon       | Ythan         |
|--------------------------------------------|----------------|-------------|--------------|---------------|---------------|
| rivierafvoer m <sup>3</sup> /s             | 825 (120-1540) | 56 (7-1200) | 120 (20-400) | 207 (10-817)  | 6.2 (4.2-8.9) |
| getijvolume 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 480            | -           | 2200         | -             | 4-7.2         |
| getijverschil m                            | 4.1 (1.6-6)    | 6 (7-9)     | 3.82 (2.5-5) | 3.3           | 2 (7-3.1)     |
| volume 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>      | 320            | -           | 2500         | 1990          | -             |
| lengte m                                   | 94             | -           | 160          | 105           | 8             |
| gem. diepte m                              | 10             | -           | 10           | -             | -             |
| opp. platen ha                             | 5200           | 5407        | 10840.5      | 7160          | 200.5         |
| opp. geulen ha                             | 17800          | 3307        | 20598        | 21890         | 81.5          |
| opp. schorren ha                           | 50             | 200         | 3682         | 0             | -             |
| totaal opp. ha                             | 23050          | 8914        | 35120.7      | 29050         | 282           |
| mosselbank ha                              | 94             | -           | 0            | 0             | 21            |
| zeegrasveld ha                             | 0              | -           | 5            | -             | -             |
| stroomgebied ha                            | 112000         | 4500        | 19141        | 11682         | 760           |
| klei % sediment                            | 75 (5-98)      | -           | -            | -             | -             |
| mediane korrelgr.                          | 50 (1-960)     | -           | 75-235       | -             | -             |
| POC % sediment                             | 10 (6-17)      | -           | 0-9          | 1.34 (0.77-2) | -             |
| extinctie K <sub>d</sub>                   | -              | -           | 4            | 1.5           | -             |
| type (Pritchard)                           | B              | -           | D            | C             | -             |
| temperatuur °C                             | 12 (8-23)      | -           | 4-25         | 10 (4-14)     | 3-20          |

## BIOLOGIE

| Variabele                                  | Loire        | Mersey | Schelde       | Shannon | Ythan             |
|--------------------------------------------|--------------|--------|---------------|---------|-------------------|
| fytoplankton<br>mg Chla/m <sup>3</sup>     | 73 (4-292)   | -      | 8.1 (6.4-26)  | 2.5-18  | 10                |
| benth. diatomeeën<br>g Chla/m <sup>2</sup> | 70 (16-120)  | -      | 113 (4.5-420) | -       | 17                |
| PP bentisch<br>gC/m <sup>2</sup> .jaar     | 135 (25-250) | -      | 136           | -       | 31 (8.4-82.5)     |
| PP pelagisch<br>gC/m <sup>2</sup> .jaar    | 230 (4-1200) | -      | 250 (90-900)  | 22      | 100               |
| macrobenthos<br>gAFDW/m <sup>2</sup>       | 0-45         | -      | 21 (0-153)    | -       | 117               |
| zooplankton gC/m <sup>3</sup>              | -            | -      | 0.06          | -       | 0.119 (0.02-0.19) |
| aantal vissoorten                          | 20           | -      | 36            | -       | 25                |
| aantal over-<br>winterende vogels          | 22000        | 82942  | 140000        | 40000   | 9971              |
| zeehonden                                  | <5           | <5     | 10-20         | -       | <10               |

**CHEMIE**

| Variable                  | Dee | Elbe    | Ems           | Gironde        | Humber        |
|---------------------------|-----|---------|---------------|----------------|---------------|
| Seston rivier             | 120 | 10-60   | 250           | 20-120         | -             |
| Seston estuarium          | -   | 50-550  | 100 (20-400)  | 250 (26-1700)  | 330-1900      |
| Seston monding            | 193 | -       | 10            | 8-220          | -             |
| POC rivier                | -   | -       | 3.7           | 2.5 (0.25-517) | -             |
| POC estuarium             | -   | -       | 0.5-8         | 0.2-5          | -             |
| POC monding               | -   | -       | 0.8 (0.5-1.2) | 2.5            | -             |
| PO <sub>4</sub> rivier    | -   | -       | 5             | 1.6 (0.16-8.4) | 20 (6-42)     |
| PO <sub>4</sub> estuarium | -   | 4-7     | 0.02-0.3      | 0.02-0.3       | 5(2-6)        |
| PO <sub>4</sub> monding   | -   | -       | 1.2           | 0.5-1          | -             |
| NH <sub>4</sub> rivier    | -   | 10-80   | 40            | 2-5            | 130 (10-417)  |
| NH <sub>4</sub> estuarium | -   | 10-80   | 0.07-14       | 0.1-14         | 13 (9-19)     |
| NH <sub>4</sub> monding   | -   | 2-8     | 9             | 0-2            | -             |
| NO <sub>2</sub> rivier    | -   | -       | 2.5           | -              | -             |
| NO <sub>2</sub> estuarium | -   | 2.5-10  | 1-6           | 0.35           | -             |
| NO <sub>2</sub> monding   | -   | -       | 1.5           | -              | -             |
| NO <sub>3</sub> rivier    | -   | 330-360 | 220 (70-320)  | 130 (21-390)   | -             |
| NO <sub>3</sub> estuarium | -   | 100-400 | 0.07-14       | 0.4-11         | 310 (120-420) |
| NO <sub>3</sub> monding   | -   | 10-25   | 24            | 10-50          | -             |
| Si rivier                 | -   | -       | 150 (30-210)  | 90-170         | -             |
| Si estuarium              | -   | 25-200  | 0.07-7        | 0.07-7         | -             |
| Si monding                | -   | -       | 15            | 30-40          | -             |
| O <sub>2</sub> rivier     | -   | -       | -             | 9 (5.5-13)     | -             |
| O <sub>2</sub> estuarium  | -   | 5-10    | 0-11          | 7 (1.5-10.8)   | 8 (7.5-9.3)   |
| O <sub>2</sub> monding    | -   | -       | -             | -              | -             |

Eenheden: Seston, POC, Si en O<sub>2</sub> in mg/l, nutriënten µmol/l**ANTROPOGENE BEÏNVLOEDING**

| Variabele                    | Dee     | Elbe    | Ems              | Gironde | Humber  |
|------------------------------|---------|---------|------------------|---------|---------|
| inpolderingen                | 6000    | -       | 3800             | 0       | 6398.7  |
| baggerwerk per jaar          | -       | -       | 8.5 (5.6-11.7)   | 8       | 8.6     |
| inwoners per km <sup>2</sup> | 100-200 | 100-200 | 100-200          | 50-100  | 200-500 |
| schepen per jaar             | -       | -       | 23000            | 3220    | -       |
| goederen ton/jaar            | -       | -       | 5.8              | -       | -       |
| visserij ton/jaar            | -       | 205     | -                | 1694    | -       |
| recreatie nacht/j            | -       | -       | 5900 (4700-7000) | -       | -       |

# CHEMIE

| Variable                  | Loire         | Mersey   | Scheldt       | Shannon | Ythan             |
|---------------------------|---------------|----------|---------------|---------|-------------------|
| Seston rivier             | 35.5 (28-44)  | -        | 177 (89-370)  | 5-60    | -                 |
| Seston estuarium          | 2-1000        | 500-3000 | 98 (6-270)    | 10-140  | -                 |
| Seston monding            | 2             | -        | 42 (6-116)    | -       | -                 |
| POC rivier                | 2.7 (1.5-4.6) | -        | -             | -       | 1.4               |
| POCestuarium              | 7-30          | -        | -             | -       | 1.7               |
| POC monding               | 0.61          | -        | -             | -       | 1.99              |
| PO <sub>4</sub> rivier    | 2.5           | -        | 29 (7.7-72)   | -       | 0.035             |
| PO <sub>4</sub> estuarium | 10 (0-23)     | -        | 33 (6.8-70)   | -       | -                 |
| PO <sub>4</sub> monding   | 0.55          | -        | 3.6 (0.4-5.9) | -       | 0.01 (0.006-0.02) |
| NH <sub>4</sub> rivier    | 2.7           | -        | 370 (100-710) | 1.5-8   | 4.6               |
| NH <sub>4</sub> estuarium | 21            | -        | 364 (10-807)  | -       | -                 |
| NH <sub>4</sub> monding   | 2.4           | -        | 11 (0-57)     | -       | -                 |
| NO <sub>2</sub> rivier    | 1.1           | -        | 20 (1.4-64)   | -       | -                 |
| NO <sub>2</sub> estuarium | -             | -        | 8.4 (3.6-15)  | -       | -                 |
| NO <sub>2</sub> monding   | -             | -        | 2.4 (0-29)    | -       | -                 |
| NO <sub>3</sub> rivier    | 183           | -        | 120 (7.1-370) | 12-60   | 9.5               |
| NO <sub>3</sub> estuarium | 630           | -        | 169 (57-350)  | -       | -                 |
| NO <sub>3</sub> monding   | 11            | -        | 56 (3.9-159)  | 4-12    | 0.3 (0.04-0.6)    |
| Si rivier                 | 350           | -        | 210 (96-270)  | -       | 7.4               |
| Si estuarium              | 486 (30-610)  | -        | -             | 10      | -                 |
| Si monding                | 20            | -        | 23 (1.7-59)   | -       | 0.1 (0.07-0.2)    |
| O <sub>2</sub> rivier     | -             | -        | 1.28 (0-4.7)  | -       | -                 |
| O <sub>2</sub> estuarium  | 4 (0.5-9)     | 0-7      | 4.3 (0-8.8)   | -       | -                 |
| O <sub>2</sub> monding    | -             | -        | 9 (6-15)      | -       | -                 |

Eenheden: Seston, POC, Si en O<sub>2</sub> in mg/l, nutriënten µmol/l

# ANTROPOGENE BEÏNVLOEDING

| Variabele                    | Loire  | Mersey | Schelde | Shannon | Ythan  |
|------------------------------|--------|--------|---------|---------|--------|
| inpoederen                   | 1245   | 490    | 35000   | -       | -      |
| baggerwerk per jaar          | 4.3    | 3.5    | 20.5    | -       | -      |
| inwoners per km <sup>2</sup> | 50-100 | >500   | 200-500 | 20-50   | 50-100 |
| scheepspas-sages per jaar    | 1900   | 7000   | 91000   | -       | -      |
| goederen ton/jaar            | -      | 33     | 120     | -       | -      |
| visserij ton/jaar            | 1648   | -      | 90.9    | -       | -      |
| recreatie nacht/j            | -      | -      | 2500    | -       | -      |