

Opdrachtgever:

**Rijkswaterstaat RIKZ**

## **Pilot Vergelijkend Estuarium Onderzoek**

Verkenning van de mogelijkheid om  
middels een systeemanalyse van  
estuaria de draagkracht van het  
Schelde-estuarium te bepalen

Bureaustudie



A1834

Januari 2007



Opdrachtgever **Rijkswaterstaat RIKZ**

Titel **Pilot Vergelijkend Estuarium Onderzoek;  
Verkenning van de mogelijkheid om middels een  
systeemanalyse van estuaria de draagkracht van  
het Schelde-estuarium te bepalen**

Samenvatting In deze verkenning is de haalbaarheid onderzocht van het Vergelijkend Estuarium Onderzoek, zoals voorgesteld in een plan van aanpak dat is opgesteld voor het project LTV O&M. Het betreft een plan van aanpak voor een meerjarige studie waarin het Schelde-estuarium wordt vergeleken met andere estuaria. Onderzocht is of er voldoende bruikbare informatie beschikbaar is van estuaria en parameters om een vergelijkend estuarium onderzoek te kunnen uitvoeren. Ook is onderzocht of de analyse en vergelijking van estuaria bruikbare informatie oplevert voor het Schelde estuarium.

In deze verkenning zijn gegevens verzameld en vergeleken over de fysische, chemische en biologische kenmerken en de menselijke activiteiten in vier estuaria (het Schelde-estuarium, het Humber-estuarium, het Seine-estuarium en Chesapeake Bay). Deze verkenning doet vermoeden dat er voldoende gegevens beschikbaar zijn voor een groter aantal estuaria om het Vergelijkend Estuarium Onderzoek uit te kunnen voeren. De verkenning van de mogelijkheden voor het uitvoeren van een kwantitatieve analyse van estuaria oefening levert het vertrouwen dat een kwantitatieve analyse in het Vergelijkende Estuarium Onderzoek praktisch uitvoerbaar en zinvol is. Verwacht wordt dat het Vergelijkend Estuarium Onderzoek nieuwe inzichten zal opleveren in de draagkracht van estuaria.

Referenties telefonische aanvraag van een offerte 20 oktober 2006  
Alkyon offerte A1834P1r1 bij brief A1834le1 27 oktober 2006  
Rijkswaterstaat opdrachtno 4500061826,

| Document Specificaties                                  | Inhoud              | Status                                          |
|---------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------------------------------|
| Rapport nummer: A1837R1r2                               | tekst pagina's : 63 | <input type="checkbox"/> voorlopig              |
| Sleutelwoorden: estuarium, morfologie, ecologie, chemie | tabellen : 1        | <input type="checkbox"/> concept                |
| Project nummer: A1834                                   | figuren : 12        | <input checked="" type="checkbox"/> eindrapport |
| Bestand: A1834R1r2                                      | appendices : -      |                                                 |



# Samenvatting

## Doel van deze verkenning

In het project LTV O&M is een plan van aanpak ontwikkeld voor het uitvoeren van een Vergelijkend Estuarium Onderzoek [A1]. Het betreft een plan van aanpak voor een meerjarige studie waarin het Schelde-estuarium wordt vergeleken met andere estuaria. De voorgestelde aanpak is een nieuwe wijze van het beschouwen van estuaria. Voordat een definitieve start wordt gemaakt met dit complexe onderzoek is eerst in de hier beschreven verkenning de uitvoerbaarheid getest van de voorgestelde aanpak. Onderzocht is of:

1. Er voldoende bruikbare informatie beschikbaar is van estuaria en parameters om een vergelijkend estuarium onderzoek te kunnen uitvoeren;
2. De analyse en vergelijking van estuaria, zoals voorgesteld in het plan van aanpak, bruikbare informatie oplevert voor het Schelde estuarium.

De meerwaarde van Vergelijkend Estuarium Onderzoek heeft betrekking op het inzichtelijk maken van verbanden en relaties binnen en tussen de fysische, biologische, chemische en antropogene elementen van estuaria. Door in het onderzoek ook de menselijke activiteiten te betrekken levert het voorbeelden op van de effecten van menselijke ingrepen.

## Voldoende bruikbare informatie van estuaria en parameters

In deze verkenning is gebruik gemaakt van informatie over het Schelde-estuarium, het Humber-estuarium (oostkust Verenigde Koninkrijk, Noordzee), het Seine-estuarium (noordwestkust Frankrijk, Kanaal) en Chesapeake Bay (oostkust USA, Atlantische Oceaan). Voor deze vier estuaria zijn gegevens van de parameters uit het Plan van Aanpak voor het Vergelijkend Estuarium Onderzoek [A1] op het gebied van fysische, chemische en biologische kenmerken en de menselijke activiteiten verzameld.

Deze verkenning heeft in korte tijd een grote hoeveelheid nuttige gegevens opgeleverd. Dit doet vermoeden dat er voldoende gegevens beschikbaar zijn voor het uitvoeren van het Vergelijkend Estuarium Onderzoek.

Het lijkt bovendien goed mogelijk om voor een groter aantal estuaria vergelijkbare sets van gegevens te verzamelen.

Voor het Vergelijkend Estuarium Onderzoek is het belangrijk dat bij de gegevens ook de metagegevens beschikbaar komen. Daarmee kan de kwaliteit van de gegevens worden bepaald, waardoor een betrouwbare vergelijking van estuaria kan plaatsvinden.

Belangrijke aanvullingen op de gegevens die uit literatuur worden verzameld, kunnen worden verkregen door het benaderen en opzoeken van beheers- en onderzoeksinstellingen. Dit zal vermoedelijk leiden tot een meer complete dataset.

## Aanzet voor analyse en vergelijking van estuaria

Een eerste analyse van de verzamelde gegevens voor de overeenkomsten en verschillen tussen de vier estuaria en de mogelijk daaraan ten grondslag liggende oorzaken. De mogelijkheden voor het uitvoeren van een kwantitatieve analyse van estuaria zijn verkend voor een beperkt aantal parameters (arealen en vogelaantallen). Deze eerste oefening levert het vertrouwen dat een kwantitatieve analyse in het Vergelijkende Estuarium Onderzoek praktisch uitvoerbaar en zinvol is. Meer uitgebreide datasets maken bovendien analyses met statistische methoden mogelijk.

### **Aanwijzingen voor limiterende factoren**

Limiterende factoren zijn parameters of mechanismen die remmend lijken te werken op andere parameters of mechanismen. Zo kan bijvoorbeeld een getijdegeul die geen watervoerende functie meer heeft, nog lang aanwezig blijven als er nauwelijks sediment in het water aanwezig is. De aanvoer van sediment is dan voor de opvulling van de geul een limiterende factor. Het benoemen van limiterende factoren is geen expliciet onderdeel geweest van deze verkenning. Desondanks benoemen we er enkele, om te onderzoeken of de voorgestelde werkwijze daadwerkelijk haalbaar is.

Het achterhalen van kwantitatieve verbanden om daarmee de limiterende factoren te achterhalen lijkt als studiemethode veelbelovend. De waarde die kan worden toegekend aan de limiterende factoren is mede afhankelijk van het begrip van de onderliggende processen en mechanismen. Het Vergelijkend Estuarium Onderzoek levert waarschijnlijk nieuwe inzichten in deze processen en mechanismen.

Uit deze verkenning blijkt dat er sprake is van een hiërarchie in factoren. Sommige factoren hebben een meer directe invloed op de draagkracht van het estuarium dan andere factoren.

### **Haalbaarheid en toegevoegde waarde van Vergelijkend Estuarium Onderzoek**

De verwachting is dat voldoende informatie van estuaria en parameters beschikbaar kan komen voor het uitvoeren van het voorgestelde Vergelijkend Estuarium Onderzoek. Ook het uitvoeren van een kwantitatieve analyse en vergelijking van estuaria lijkt haalbaar. Verwacht wordt dat het Vergelijkend Estuarium Onderzoek nieuwe inzichten zal opleveren in de draagkracht van estuaria. Deze kennis zal kunnen bijdragen aan het vergroten van de kennis van het Schelde estuarium en het formuleren van een lange termijn visie. Het is echter niet zo dat het uitvoeren van een Vergelijkend Estuarium Onderzoek hét antwoord zal geven op alle inhoudelijke vragen en beheersvragen rond het Schelde-estuarium. De complexe relaties tussen morfologie, waterbeweging, chemie, ecologie en het menselijke gebruik maken het onwaarschijnlijk dat dit in een eenvoudig model is te vatten.



# Inhoud

Lijst van tabellen

Lijst van figuren

|     |                                                                                            |    |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1   | Inleiding.....                                                                             | 1  |
| 1.1 | Doel van het Vergelijkend Estuarium Onderzoek                                              | 1  |
| 1.2 | Doel van deze verkenning                                                                   | 1  |
| 1.3 | Aanpak                                                                                     | 3  |
| 2   | De vier onderzochte estuaria.....                                                          | 5  |
| 2.1 | Inleiding                                                                                  | 5  |
| 2.2 | Het Schelde-estuarium                                                                      | 6  |
| 2.3 | Het Seine-estuarium                                                                        | 11 |
| 2.4 | Het Humber-estuarium                                                                       | 15 |
| 2.5 | Chesapeake Bay                                                                             | 18 |
| 3   | Parameters.....                                                                            | 23 |
| 3.1 | Inleiding                                                                                  | 23 |
| 3.2 | Fysische parameters                                                                        | 23 |
| 3.3 | Chemische parameters                                                                       | 25 |
| 3.4 | Biologische parameters                                                                     | 26 |
| 3.5 | Menselijke activiteiten                                                                    | 27 |
| 3.6 | Beschikbaarheid van gegevens en de mogelijkheden voor het Vergelijkend Estuarium Onderzoek | 28 |
| 4   | Analyse: Een eerste vergelijking van estuaria.....                                         | 29 |
| 4.1 | Inleiding                                                                                  | 29 |
| 4.2 | Overeenkomsten                                                                             | 29 |
| 4.3 | Verschillen                                                                                | 30 |
| 4.4 | Voorbeelden van kwantitatieve vergelijkingen                                               | 31 |
| 4.5 | De toepasbaarheid van kwantitatieve analyse voor het Vergelijkend Estuarium Onderzoek      | 35 |
| 5   | Aanwijzingen voor limiterende factoren in estuaria.....                                    | 37 |
| 5.1 | Inleiding                                                                                  | 37 |
| 5.2 | De grootte van het estuarium en de draagkracht                                             | 37 |
| 5.3 | Licht als belangrijkste limiterende factor voor primaire productie                         | 37 |
| 5.4 | N-P-Si-O: nutriënten en zuurstof als limiterende factoren                                  | 38 |
| 5.5 | Van primaire productie tot draagkracht: het belang van de voedselketen                     | 39 |
| 5.6 | Schorren en zoetwatermoerassen                                                             | 39 |
| 5.7 | De bruikbaarheid van limiterende factoren in het Vergelijkend Estuarium Onderzoek          | 40 |
| 6   | Haalbaarheid Vergelijkend Estuarium Onderzoek.....                                         | 43 |
| 6.1 | Inleiding                                                                                  | 43 |
| 6.2 | Beschikbaarheid van gegevens                                                               | 43 |
| 6.3 | Vergelijken                                                                                | 43 |



|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| 6.4 De toegevoegde waarde van Vergelijkend Estuarium Onderzoek | 44 |
| 6.5 Risico's van het Vergelijkend Estuarium Onderzoek          | 45 |
| 6.6 Haalbaarheid                                               | 45 |
| 7 Conclusies en aanbevelingen .....                            | 47 |
| 7.1 Conclusies                                                 | 47 |
| 7.2 Aanbevelingen                                              | 48 |

Referenties

Tabellen

## Lijst van tabellen

Tabel 1: Waarden voor parameters van de vier estuaria.

## Lijst van figuren<sup>\*)</sup>

Figuur 1.1: Fotomosaïek van de vier bestudeerde estuaria (de schalen verschillen).

Figuur 1.2: Het estuarium als 'bio-reactor' (uit [A1]).

Figuur 4.1: Illustratie van de drie compartimenten die door de saliniteitsgradiënt worden bepaald.

Figuur 4.2: Illustratie van de vijf compartimenten waarin de primaire productie in estuaria plaatsvindt.

Figuur 4.3a: Figuur met daarin het totale oppervlakte van de vier estuaria ten opzichte van het intergetijdeareaal (inclusief schorren).

Figuur 4.3b: Figuur met daarin het totale oppervlakte van de drie Europese estuaria ten opzichte van het intergetijdeareaal (inclusief schorren).

Figuur 4.4: Grafiek met het totale oppervlakte van de vier estuaria ten opzichte van de totale vogelaantallen.

Figuur 4.5: Grafiek met daarin het oppervlak intergetijde plaat van de drie Europese estuaria ten opzichte van de aantallen zoutwatervogels.

Figuur 4.6: Dichtheid van vier soorten steltlopers in de drie Europese estuaria.

Figuur 4.7: Grafiek met de verhouding van de aantallen zoutwatervogels en zoetwatervogels uitgezet ten opzichte van de verhouding tussen de lengte van het estuarium stroomopwaarts en stroomafwaarts vanaf de (gemiddelde) locatie van het ETM.

Figuur 5.1: De 'bio-reactor' met voedselpiramide waarvan een deel wegvalt door de beperkingen die zuurstofloze en -arme condities opleggen aan de aanwezigheid van zoöplankton.

Figuur 5.2: De 'bio-reactor' met voedselpiramide waarvan een deel wegvalt door de selectieve predatie van (de larven) van bepaalde filterfeeders.

Figuur 5.3: Een meer uitgebreide en complexe weergave van de estuariene 'bio-reactor' met driedeling op basis van saliniteit (zout-brak-zoet), vier compartimenten met primaire productie, en de voedselpiramides.

*\*) Alle figuren zijn in de tekst opgenomen.*



# 1 Inleiding

## 1.1 Doel van het Vergelijkend Estuarium Onderzoek

In het project LTV O&M is een plan van aanpak ontwikkeld voor het uitvoeren van een Vergelijkend Estuarium Onderzoek [A1]. Het betreft een plan van aanpak voor een meerjarige studie waarin het Schelde-estuarium wordt vergeleken met andere estuaria. Het Vergelijkend Estuarium Onderzoek volgens het plan van aanpak [A1] omvat een interdisciplinaire vergelijking van het Schelde-estuarium met een aantal estuaria waarbij de onderzoeksvraag moeten worden beantwoord:

1. Wat zijn de limiterende factoren voor de ecologische ontwikkeling en draagkracht van het Schelde-estuarium?

Verder zal in het Vergelijkend Estuarium Onderzoek [A1] de vraag moeten beantwoord:

2. Welke factoren bepalen de ontwikkelingen (sedimentatie en erosie) van de intergetijde gebieden (platen en slikken) in het Schelde-estuarium?

De voorgestelde aanpak is vergelijkbaar met gedragsmodellering, zoals die in de geomorfologie wordt gebruikt, maar omvat een veel breder aandachtgebied. Het houdt het midden tussen een louter beschrijvend onderzoek en een studie met inzet van specifieke procesmodellen ('first-principle' modellen).

## 1.2 Doel van deze verkenning

In de voorgestelde aanpak voor het Vergelijkend Estuarium Onderzoek [A1] zal moeten worden geprobeerd om een onderliggend systeem te herkennen in de ecologie, chemie, hydrodynamica en morfologie van estuaria. Op deze wijze wordt geprobeerd om structuur aan te brengen in het 'alles hangt met alles samen' dat estuaria kenmerkt. Het plan van aanpak voor deze veelomvattende en uitgebreide studie ligt klaar [A1]. Maar voordat een definitieve start wordt gemaakt met dit complexe onderzoek, wordt eerst in deze verkenning de uitvoerbaarheid getest. Het doel van deze verkenning is tweeledig:

1. Onderzoeken in hoeverre informatie van estuaria en parameters beschikbaar is voor het uitvoeren van vergelijkend estuarium onderzoek;
2. Onderzoeken of de analyse en vergelijking van estuaria, zoals voorgesteld in het plan van aanpak, bruikbare informatie oplevert voor het Schelde estuarium

Bovendien wordt geprobeerd om een eerste aanzet te geven voor enkele limiterende factoren achter de draagkracht van het Schelde-estuarium.

### Kanttekening

In deze verkenning staat het vaststellen van de haalbaarheid en bruikbaarheid van het Vergelijkend Estuarium Onderzoek voor het beleid en het beheer van het Schelde-estuarium voorop. Deze verkenning is derhalve slechts een vingeroefening voor de uitvoering van het daadwerkelijke Vergelijkend Estuarium Onderzoek. Iedere uitspraak of voorlopige conclusie van vakinhoudelijke aard in dit rapport doet feitelijk niet terzake. Waar het hier om gaat is een verkenning naar de voorgestelde methodologie van het Vergelijkend Estuarium Onderzoek.

## Schelde



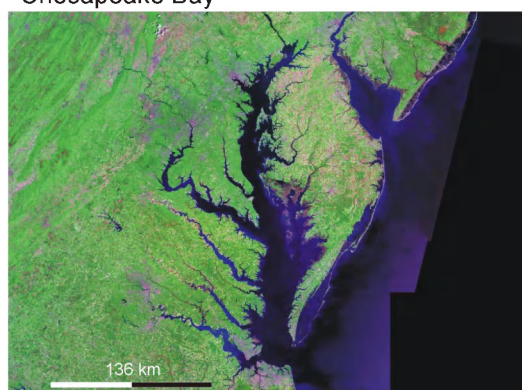
## Seine



## Humber



## Chesapeake Bay



Figuur 1.1: Fotomozaïek van de vier bestudeerde estuaria (de schalen verschillen).

## 1.3 Aanpak

Deze erkenning is in een zeer kort tijdbestek uitgevoerd, waarbij het vaststellen van de haalbaarheid steeds vooraan heeft gestaan in de keuzes bij het zoeken naar informatie. Volledigheid is in dit verkennende stadium niet nagestreefd. Op voorhand is een keuze gemaakt om deze verkenning te concentreren op vier estuaria en op een beperkt aantal parameters. Extra aandacht is uitgegaan naar de soorten en habitats die in het kader van Natura2000 speciale bescherming genieten.

### Estuaria

De het doel van het Vergelijkend Estuarium Onderzoek is het Schelde-estuarium, de keuze voor de drie andere estuaria is arbitrair. Voor de uitwerking is gezocht naar informatie over het Schelde-estuarium, het Humber-estuarium (oostkust Verenigde Koninkrijk, Noordzee), het Seine-estuarium (noordwestkust Frankrijk, Kanaal) en Chesapeake Bay (oostkust USA, Atlantische Oceaan) (figuur 1.1). Tijdens de verkenning bleek dat ook voor verschillende andere dan de bovengenoemde estuaria relatief veel informatie beschikbaar is, bijvoorbeeld omdat onderzoeks- of (her-) inrichtingsprogramma's lopen of gelopen hebben. Dit geldt bijvoorbeeld voor verschillende Portugese estuaria, vanwege de EU-kaderrichtlijn Water. Voor estuaria in de USA loopt een groot programma (van de Environmental Protection Agency) waarin ook veel informatie beschikbaar is. Ook voor de Oosterschelde en Waddenzee (weliswaar getijdebekkens zonder grote zoetwatertoevoer, maar in veel aspecten wel vergelijkbaar met het Schelde-estuarium) is ook bijzonder veel informatie beschikbaar.

### Parameters

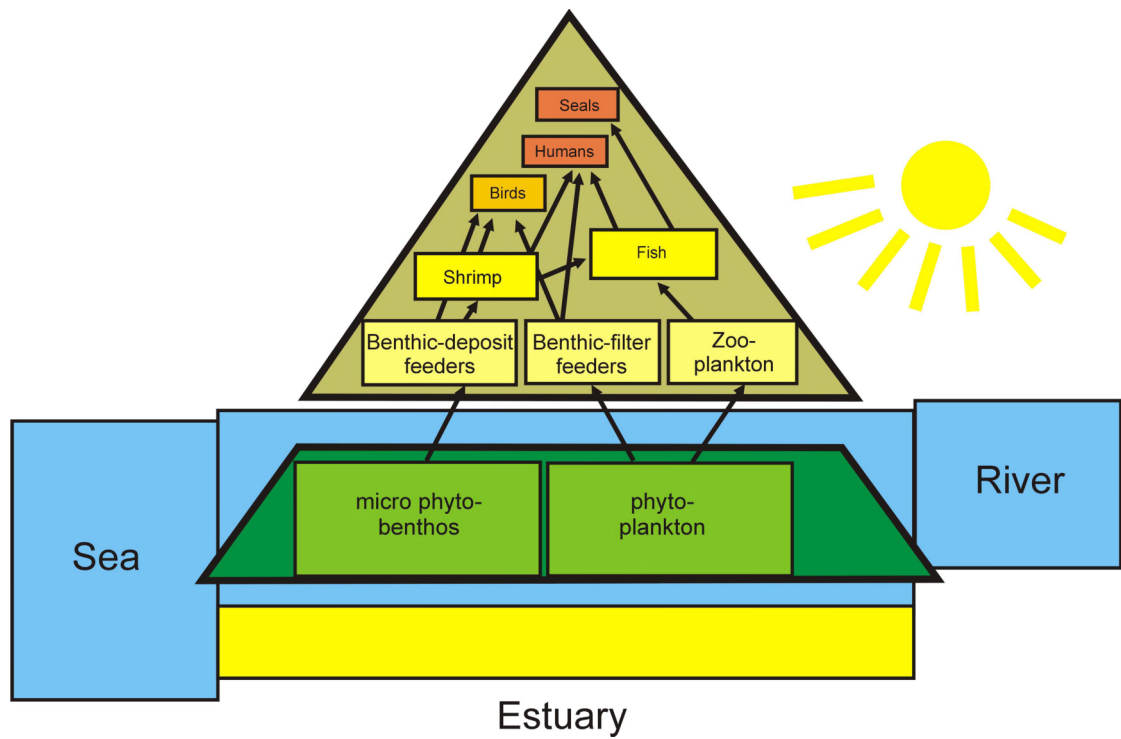
In het Plan van Aanpak voor het Vergelijkend Estuarium Onderzoek is een uitgebreide lijst gepresenteerd van parameters voor het beschrijven en vergelijken van de estuaria. Deze lijst is als handvat gebruikt voor het uitvoeren van de verkenning.

Tijdens het onderzoek is gebleken dat voor sommige parameters relatief veel of makkelijk toegankelijk informatie beschikbaar is. Hiervan wordt melding gemaakt in hoofdstuk 3.

### Analyse

De analyse is uitgevoerd aan de hand van de uitgangspunten die zijn gepresenteerd in de T.o.R. 'Carrying capacity and inter-tidal morphology of the Westerschelde' [A1]. Centraal daarin staat de benadering van het estuarium als 'bio-reactor' (figuur 1.2). Gezocht wordt naar de limiterende factoren voor de productie en aanwezigheid van verschillende groepen organismen.

De hier gekozen vergelijking van maximaal vier estuaria leent zich niet voor een statistische analyse. Wel is een voorbeeld uitgewerkt van een vergelijking tussen ecologische en morfologische grootheden. Daarbij zijn de aanwijzingen voor de belangrijkste limiterende factoren voor de verschillende estuaria onderling vergeleken. Deze vingeroefening is uitgevoerd om een indruk te krijgen van de haalbaarheid van de voorgestelde methodologie.



**Figuur 1.2:** Het estuarium als 'bio-reactor' (uit [A1]).

## 2 De vier onderzochte estuaria

### 2.1 Inleiding

Voor vier estuaria zijn parameters opgezocht in ons beschikbare bronnen. Dit betrof wetenschappelijke tijdschriften, rapporten en informatie uit openbare databases (die via het internet beschikbaar zijn). De lijst met parameters uit het Plan van Aanpak [A1] is hiervoor als richtlijn gebruikt. De lijst met parameters is nog niet compleet en nog niet volledig ingevuld, vanwege het verkennende karakter van deze studie.

Enkele parameterwaarden voor het Schelde-estuarium, het Humber-estuarium, het Seine-estuarium en Chesapeake Bay zijn weergegeven in tabel 1. De vier estuaria worden in dit hoofdstuk besproken. De parameters uit tabel 1 komen daarbij ter sprake, zodat duidelijk is uit welke bronnen is geput voor het samenstellen van de tabel.

In deze verkenning wordt nog geen melding gemaakt van de (geschatte) kwaliteit van de gegevens. Wel is vastgesteld dat het in veel gevallen moeilijk is om de bijbehorende metagegevens te achterhalen. Voorbeelden van metagegevens die ontbreken zijn:

- Data of jaartallen van de metingen waarop de gepresenteerde getallen zijn gebaseerd;
- Referentieniveaus ten opzichte waarvoor hoogte of diepte is bepaald;
- Bij vogelaantallen wordt niet altijd vermeld of het piekaantallen of gemiddelden zijn en ontbreekt meestal de wijze van waarnemen (bij hoogwater of laagwater, locatie);
- Bij watertemperatuur en chemie wordt niet altijd vermeld of het gemiddelde waarden over de waterkolom of van het oppervlakte betreffen.

In het Vergelijkend Estuarium Onderzoek zal veel tijd en inspanning moeten worden gestoken in het achterhalen van de metagegevens. Alleen wanneer deze metagegevens beschikbaar zijn wordt duidelijke of parameters zinvol kunnen worden vergeleken.

## 2.2 Het Schelde-estuarium

Het Schelde-estuarium grenst aan de zuidelijke Noordzee en ligt deels in Nederland en deels in België. Het meest benedenstrooms liggende Nederlandse deel wordt de Westerschelde genoemd. In België wordt de Schelde bovenstrooms van Gent de Bovenschelde genoemd en benedenstrooms van Gent de Zeeschelde. Het Schelde-estuarium is onderwerp van het lopende Langetermijnvisie Schelde-estuarium (LTV-)programma waar de voorliggende Pilot Vergelijkend Estuarium Onderzoek deel van uit maakt. Het Schelde-estuarium is ook onderzocht in verschillende (EU-) onderzoeksprogramma's. Belangrijk toegepast onderzoek en kennisontwikkeling [W1] is gericht op het in kaart brengen en voorspellen van menselijke ingrepen. De verdieping van de vaarweg wordt gezien als een belangrijke ingreep [W2].

### Fysische kenmerken

Het stroomgebied van het Schelde-estuarium heeft een oppervlak van ongeveer 22.000 km<sup>2</sup> [W3]. Het estuariene bereik van de Schelde is ongeveer 160 km lang en loopt van Vlissingen tot aan Gent. Naast de Schelde zijn de Rupel en de Durme belangrijke toevoerende rivieren. In Gent wordt de estuariene invloed verder stroomopwaarts beperkt door een sluis. Ook in de andere toevoerende rivieren beperken waterbouwkundige werken verdere stroomopwaartse estuariene invloeden [W3].

De Schelde heeft een oppervlakte van 354 km<sup>2</sup>, waarvan 12% in de Zeeschelde. Het oppervlak van de Westerschelde in 1990 bedraagt 30.930 ha, waarvan 35% uit intergetijdegebied (zandplaten, slibbige platen en schorren) bestaat [W3]. Het oppervlak van de Zeeschelde in 1990 bedraagt 4.923 ha, waarvan 1.411 ha in het intergetijdebereik (slibbige platen, schorren en moeras) [W3].

De jaargemiddelde rivierafvoer (berekend over de periode 1990-2004) in het Schelde-estuarium is 104 m<sup>3</sup>/s [W3]. Van jaar tot jaar varieert het jaargemiddelde debiet van 43 m<sup>3</sup>/s tot 207 m<sup>3</sup>/s, waarbij geen duidelijk trend herkenbaar is. De rivierafvoer varieert ook per seizoen. De wintergemiddeld afvoer is 180 m<sup>3</sup>/s en de zomergemiddelde afvoer 60 m<sup>3</sup>/s. Het geobserveerde maximum debiet is 600 m<sup>3</sup>/s en het geobserveerde minimum 20 m<sup>3</sup>/s. Bij lage afvoeren wordt bij Gent een belangrijk deel van de rivierafvoer omgeleid via kanalen, waarbij het grootste gedeelte via het kanaal van Gent naar Terneuzen naar de Westerschelde wordt afgevoerd.

De gemiddelde getijslag in het estuarium loopt op van 3,82 m bij de monding (Vlissingen) tot 5,24 m bij Kruibeke (82 km van de monding). Meer stroomopwaarts neemt de getijslag weer af tot 1,96 m bij Melle (154 km van de monding) [W3]. De verblijftijd van het rivierwater in het estuarium varieert van één tot drie maanden, afhankelijk van de hoogte van de rivierafvoer [W4].

De waterkolom van het estuarium is goed gemengd. Stratificatie komt alleen bij zeer hoge rivierafvoeren voor [W5]. De overgang van het zoete naar het zoute bereik kan ongeveer 20 km opschuiven bij hoge rivierafvoeren en ligt tussen Antwerpen en de Belgisch-Nederlandse grens. Het Estuariene Troebelheids Maximum (ETM, ook wel Maximum Turbidity Zone - MTZ) ligt ongeveer 110 tot 50 km van de monding [W6]. In het estuarium wordt meer stroomopwaarts nog een gebied met hoge troebelheid gevonden (waarvoor ook de termen zoetwater ETM of MTZ wordt gebruikt), evenals in de monding [W6]. De waarden voor de zwevend stof (SPM) variëren van 0 tot 700 mg/l [W5]. De waarden dicht bij de bodem kunnen oplopen tot grammen per liter [W6].

De watertemperatuur in het estuarium varieert van 24 °C in de zomer tot 0 °C en lager in de winter.

Het sedimentbudget van het Schelde-estuarium is een voortdurend onderwerp van onderzoek. Getallen [uit W7] voor de sedimentatie in het estuarium bedragen  $1 \cdot 10^6$  kg per jaar, waarvan het land van Saefthinge naar schatting meer dan 25% voor zijn rekening neemt. De import van zwevend stof vanuit zee bedraagt jaarlijks ongeveer  $79 \cdot 10^6$  kg. Uit recente studies van de sedimentbalans [W8] blijkt echter dat de sedimentvoorraad van de Westerschelde tegenwoordig afneemt. Deze afname is nog groter dan het verlies door het winnen van zand, zodat wordt gesproken van de natuurlijke export van sediment [W1]. In het Schelde-estuarium lijkt dus sprake geweest te zijn van een omslag van sedimenttransport het estuarium in, naar sedimenttransport het estuarium uit.

### Chemische kenmerken

De nutriëntbelasting in het estuarium is beduidend hoger dan de natuurlijke achtergrondwaarden als gevolg van allerlei menselijke activiteiten (onder andere landbouw, industrie, waterafvoer uit rioolzuiveringsinstallaties en tot voor kort ongezuiverde rioolwaterafvoer). Naar schatting is de waarde van P (fosfor) tenminste een factor 2 hoger dan onder natuurlijke omstandigheden [W5]. Billen e.a. [W9] geven waarden voor de nutriënten in de Zeeschelde: N (stikstof in ammonium<sup>1</sup>) 0-12 mg/l, N (stikstof in nitraat<sup>2</sup>) 4-8 mg/l, P 0-5 mg/l en Si (Silicium) van 0-10 mg/l.

De aanvoer van nutriënten is de afgelopen jaren afgenomen. Ook is de verhouding tussen N, P en Si verschoven. Dit komt door de afname van de belasting met de verschillende nutriënten [A6]. Ook worden de nutriënten in andere verhoudingen gebruikt bij de chemische en biologische processen in het estuarium. Mogelijk is hierdoor de limiterende werking van P overgenomen door N [W9].

In de Schelde zijn de afgelopen jaren verschillende studies uitgevoerd waarin deelaspecten van de nutriëntfluxen door delen van het estuarium zijn onderzocht. Het betreft onder andere de fluxen van Si [W10] en N [W11] in en uit zoetwater-intergetijdmoerassen. In het in [W10] onderzochte moeras werd het aan deeltjes gebonden Si dat het moeras binnen kwam weer in opgeloste vorm beschikbaar. Dit type moerassen kunnen een substantiële rol spelen in het (re-)mineraliseren van Si. De fluxen van N in zoetwater-intergetijdmoerassen leveren in de huidige situatie een bijdrage van 1,5 tot 3,5 % aan de nitrificatie in het Schelde-estuarium [W11].

Een opvallend kenmerk van het Schelde-estuarium is het optreden van zuurstofarme tot zuurstofloze condities in het brakke bereik [W3]. De aanwezigheid hiervan wordt geheel toegeschreven aan de belasting van het gebied met ongezuiverd rioolwater [W3 & W12]. Het rioolwater levert direct een bijdrage aan de afname van het zuurstofgehalte doordat het organische C wordt gereduceerd. De afbraak van een deel van de primaire productie uit het zoete bereik vindt hier ook plaats en draagt bij aan de afname van het zuurstofgehalte. Een derde bijdrage aan de afname van de zuurstof wordt geleverd door de omzetting van ammoniak in nitraat. Dit proces, waarbij primaire productie door autotrofe nitrificerende bacteriën plaatsvindt die ammoniak in nitraat en nitraat in nitriet omzetten, is flink afgenomen in de afgelopen jaren [W13]. Hoewel de mate van

---

<sup>1</sup> Ammonium:  $\text{NH}_4^+$ , wordt in de literatuur ook opgegeven in  $\mu\text{mol/l}$ .

<sup>2</sup> Nitraat in water:  $\text{NO}_3^-$  wordt in de literatuur ook opgegeven in  $\mu\text{mol/l}$ .

zuurstofloosheid is afgenomen in de laatste jaren treedt het verschijnsel nog steeds op in het voorjaar en in de zomer [W5].

Van het Schelde-estuarium zijn uitgebreide gegevens beschikbaar van zware metalen [W14], inclusief balansen [W15] en de verdeling over verschillende compartimenten (deeltjes, opgelost, sediment [W16], opgenomen in dieren W14 en W17). Ook over de ontwikkelingen in de belasting met zware metalen in de loop van de jaren is veel informatie beschikbaar, bijvoorbeeld in Baeyens e.a. [W18] en de bijdragen in deze special uitgave [onder ander W19, W20 en W21]. In het zoute en brakke bereik van het Schelde-estuarium is de toxiciteit van de metalen beperkt doordat deze voor een belangrijk worden gebonden en niet beschikbaar zijn voor opname door organismen [W16]. De belasting met andere ecotoxicologische stoffen, waaronder PCB's en PAKs, dioxines, gebromeerde vlamvertragers en hormoonverstorende stoffen, waaronder tributilin leveren wel beperkingen op voor organismen die hiervoor gevoelig zijn.

De chemische karakteristieken verschillen duidelijk tussen het zoete, brakke en zoute bereik. Voor het vergelijkende estuarium onderzoek betekent dit dat een vergelijking van één gemiddelde waarde per estuarium waarschijnlijk weinig zegt over de chemie, maar veel meer over de grootte van het zoete ten opzichte van het zoute bereik. Het is bij de uitvoering van het Vergelijkende Estuarium Onderzoek noodzakelijk om zoete, brakke en zoute zones te definiëren en voor elke zone een gemiddelde waarde te achterhalen.

### **Biologische kenmerken**

De biologische kenmerken van het Schelde-estuarium verschillen voor de zoete, brakke en zoute zones en ook hiervoor kan worden vastgesteld dat voor een goede vergelijking van estuaria kentallen en kenmerken voor elk van deze zones gebruikt moeten worden.

De primaire productie in het Schelde estuarium is het hoogst in het bovenstroomse zoetwatergedeelte van het estuarium en loopt terug in zeewaartse richting [W5, W13 en W14]. De gemiddelde jaarlijkse gehalten voor chlorofyl *a* zijn een maat voor de hoeveelheid fytoplankton. De waarden voor chlorofyl *a* liggen tussen de 20 en 45 µg/l voor de Bovenschelde. In het brakke en het zoute deel van het estuarium ligt deze waarde onder de 10 µg/l [W13]. Observaties laten zien dat grote verschillen kunnen optreden in de locaties waar in verschillende jaren de hoge primaire productie plaatsvindt. In 2001 lag de piek van de primaire productie bij Vlissingen, in plaats van bij Antwerpen. Uitgedrukt in grammen C varieert de primaire productie door phytoplankton per jaar van ruim 500 g/m<sup>2</sup> tot 80 g/m<sup>2</sup> [W13].

De bijdrage van microfytobenthos aan de primaire productie van het estuarium is kleiner dan de bijdrage van het fytoplankton [W22]. De bijdrage van het microfytobenthos aan de primaire productie is geschat op 15 tot 20 % [W23].

Het gebied waar zuurstofarme en zuurstofloze condities optreden wordt gekenmerkt door zeer hoge microbiële activiteit [W24]. De productie door bacteriën overstijgt hier de primaire productie door fytoplankton [W13]. In dit gedeelte van de Schelde werd tot voor kort geen vis aangetroffen [W13]. Naast de bacteriën bestond de voedselketen hier uit oligochates (tubifex). De productie van fytoplankton wordt hier beperkt door de beperkte lichtindringing, als gevolg van de hoge troebelheid [o.a. W13 en W23].

In de (zoute) Westerschelde bestaat het fytoplankton vooral uit diatomeeën en in het brakke en zoete bereik uit algen [W3 & W25]. De verklaring die hiervoor is gegeven,

namelijk dat diatomeeën minder tolerant zijn voor lagere lichtcondities, blijkt in laboratoriumexperimenten met gebiedseigen plankton niet op te gaan [W25]. Ook beperkingen door de saliniteit kunnen de verschillen niet volledig verklaren. Blijkbaar zijn verschillende andere factoren limiterend voor groene algen dan voor diatomeeën

Het zoöplankton verschilt ook voor de verschillende zones van het estuarium, met rotiferen in het zoete bereik en copepoden in het zoute bereik [W26 en W27]. In het zuurstofarme bereik van het estuarium ontbreekt het zoöplankton grotendeels [W26]. Stroomafwaarts van het zuurstofarme deel worden grote aantallen aasgarnaaltjes (*Neomysis*) aangetroffen [W28].

In [W29 en in W1] worden getallen genoemd voor de macrobenthische biomassa langs de saliniteitsgradiënt in het estuarium. De hoogste biomassa's (boven de 25 g/m<sup>2</sup> asvrij drooggewicht) worden gevonden in het intergetijdebereik in het zoute deel van het estuarium. Meer stroomopwaarts nemen deze waarden af tot onder de 10 g/m<sup>2</sup>. Het type macrobenthos verschuift ook langs de zoutgradiënt, van vooral filtrerende bodemdieren in het zoute bereik naar een dominantie voor omnivore soorten in het mesohaliene bereik.

In [W30] worden getallen gepresenteerd voor de aanwezigheid van benthos op platen in het mesohaliene bereik (net over de Belgisch-Nederlandse grens). Hierin is ook gekeken naar de aanwezigheid in verschillende momenten van het jaar (april en september) en de verdeling over de sedimentkolom. De afwezigheid van grotere benthos soorten wordt door de auteurs [W29] geheel toegeschreven aan verschillen in abiotische parameters zoals de lage saliniteit in de winter.

De biomassa van pelagische vis (haring *Clupea harengus* en sprot *Sprattus sprattus*) in het middendeel van het Schelde-estuarium varieert van 2g tot 200g per 1000 liter [W31]. In [W32] wordt gerapporteerd over de dichtheden (aantallen individuen) van verschillende vissoorten op basis van eerder onderzoek. De aantallen variëren van 110 per 1000 m<sup>3</sup> voor Lozano's grondel *Pomatoschistus lozanoi* tot 1,3 en 1 voor wijting *Merlangius merlangus* en harnasmannetje *Agonus cataphractus*.

In de Westerschelde komen tegenwoordig maximaal 50 gewone zeehonden voor en enkele bruinvissen [W32]. De zeehonden brengen jaarlijks enkele jongen groot.

In het Zeekennisrapport [W1] wordt in een intermezzo de historische ontwikkeling van vogels in de Westerschelde beschreven, waarbij enkele ontwikkelingen zijn uitgelicht. Dit zijn de toegenomen aantallen planteneterende eenden en ganzen, de sterke afname van het aantal duikeenden en de beperkte afname van het aantal zwemmende en duikende viseters. Verder wordt opgemerkt dat het gebied vooral van belang is als doortrekgebied en niet als overwinteringsgebied. In [W35] worden maximale aantallen voor de 12 kwalificerende soorten van de Westerschelde gepresenteerd (op basis van waarnemingen 1999-2002).

### Menselijke activiteiten

Het Schelde-estuarium heeft een zeer hoge bewoningsdichtheid in het stroomgebied. Tevens is het een zeer belangrijke vaarweg die grote havens bedient. De menselijke invloed op het watersysteem is groot. Dit bestaat onder andere uit extra belasting van de rivier met nutriënten en organisch materiaal, het op diepte houden van havenbekkens en vaargeulen (baggeren, storten en zandwinnen) en de aanleg en het op hoogte houden van dijken.

In de Westerschelde wordt gevestigd op garnalen, schelpdieren (met name kokkels *Cerastoderma edule*) en verschillende soorten vis [W32].

In de loop der eeuwen is een belangrijk deel van het areaal intergetijdegebied in het Schelde-estuarium door bedijking aan het estuarium onttrokken. De aanleg van dammen heeft de verbinding tussen de Ooster- en de Westerschelde beëindigd. Hierbij is het nuttig om te realiseren dat de Oosterschelde tot in de Middeleeuwen de verbinding tussen de Schelde en de Noordzee vormde. Deze rol is sinds het jaar 1000 geleidelijk overgenomen door de Westerschelde.

De havens bij Antwerpen, Vlissingen en Terneuzen (en enkele kleinere havens) worden door baggeren op diepte gehouden. Ook de vaargeul naar de haven van Antwerpen wordt door baggeren op diepte gehouden. Het jaarlijks baggervolume is ongeveer  $10 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  tot  $18 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ . Jaarlijks wordt ongeveer  $3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  zand aan het estuarium onttrokken voor de zandhandel. Ook wordt in de Zeeschelde jaarlijks gemiddeld  $367 \cdot 10^6 \text{ kg}$  drooggewicht aan vervuild fijn sediment gebaggerd en afgevoerd [W3].

De overslag in de haven van Antwerpen was in 2005  $160 \cdot 10^6$  ton ([www.portofantwerp.be](http://www.portofantwerp.be)) en dit wordt door ongeveer 15.000 zeeschepen verzorgd. In de Nederlandse havens aan het Scheldebekken wordt jaarlijks  $26,7 \cdot 10^6$  ton overgeslagen [W36].

### **Bruikbaarheid voor het Vergelijkend Estuarium Onderzoek**

Van het Schelde-estuarium is een bijzonder grote hoeveelheid gegevens beschikbaar op alle vlakken. Naast de reguliere en langlopende meetprogramma's zijn voor verschillende nationale en internationale onderzoeksprojecten gegevens verzameld. In sommige gevallen blijkt de grens tussen Nederland en België een verschil in meettechnieken of -strategieën op te leveren, die de vergelijking over de grens bemoeilijkt (zie de voorbeelden voor chlorofyl en SPM in [W5]). Dit is slechts zelden onoverkomelijk.

Het Vergelijkend Estuarium Onderzoek is gericht op het Schelde-estuarium en wat dat betreft staat de bruikbaarheid niet ter discussie. Het is daarom beter om hier de vraag te stellen of het Schelde-estuarium een buitenbeentje is in het brede spectrum van estuaria. Uit eerdere vergelijkingen van deelaspecten van het estuaria in [W12 en referenties daarin en in A11] is gebleken dat op onderdelen het estuarium een middenmoter is (bijvoorbeeld wat betreft de troebelheid) en op andere gebieden een uitschieter (destijds bijvoorbeeld wat betreft de belasting met organische stoffen). Desondanks blijkt vergelijken mogelijk en levert de vergelijking belangrijke inzichten op in het functioneren van het estuarium.

## 2.3 Het Seine-estuarium

Het Seine-estuarium ligt in Frankrijk aan de Atlantische kust bij het Kanaal. Het estuarium is 'intensively managed' en er heeft veel onderzoek plaatsgevonden, onder andere in het kader van het Seine Laval programma (<http://seine-aval.crihan.fr/>). Hierover is uitgebreid gerapporteerd in een speciale uitgave van *Estuaries* [S1]. De Port2000 -)uitbreiding van het haventerrein van Le Havre heeft ook bruikbare onderzoeksresultaten opgeleverd [S2].

### Fysische kenmerken

Het Seine-estuarium heeft een trechtervorm tot 30 km landinwaarts. Verder stroomopwaarts bepalen de meanderbochten van de rivier de geometrie [S3]. De totale lengte van het estuarium bedraagt 160 km. Verdere invloed van het getij wordt beperkt door een dam in de rivier. Het stroomgebied van de Seine is ongeveer 79.000 km<sup>2</sup>.

De getijslag bedraagt maximaal 8,5 m, met een gemiddelde hoogte bij doortij van 3 m en bij springtij van 7,5 m. De Seine heeft een jaarlijks gemiddelde afvoer van 410 m<sup>3</sup>/s, waarbij maxima van 2.200 m<sup>3</sup>/s voorkomen en minima van 40 m<sup>3</sup>/s. Deze minimale afvoer wordt mede instandgehouden door spaarbekkens die in de rivier zijn aangelegd [S5]. Het getij in de monding bereikt stroomsnelheden tot 2,5 m/s [S3].

Sinds het begin van de 20<sup>e</sup> eeuw is ongeveer 78% van het intergetijdegebied van het Seine-estuarium verloren gegaan door opslibbing, bedijking en gebruik voor havens. In de 19<sup>e</sup> eeuw was nog sprake van 130 km<sup>2</sup> intergetijde areaal en dit was geslonken tot minder dan 30 km<sup>2</sup> in het jaar 2000 [S6]. De havenuitbreiding van Le Havre heeft het areaal met nog eens 20% doen afnemen. In de huidige situatie worden aan de noordzijde van de (vaar)geul in de monding slibbige intergetijde platen en schorren aangetroffen en aan de zuidzijde slibrijke intergetijde zandplaten.

De diepte van de geul is 5 tot 6 m en de vaargeul wordt door intensief baggeren op diepte gehouden tot aan de haven van Rouen, 120 km stroomopwaarts. De vaargeul ligt ingeklemd tussen twee geleidingsdammen die in de loop van de 20<sup>e</sup> eeuw zijn aangelegd.

De watertemperatuur is maximaal 20°C in de zomer en daalt tot onder de 1°C in de winter.

Het estuarium is gedurende het gehele jaar goed gemengd. Temperatuurstratificatie komt niet voor. Wel kan bij hoge rivierafvoeren (> 500 m<sup>3</sup>/s) kan in de monding van het estuarium zoet-zoutstratificatie optreden [S6]. In het estuarium is sprake van een duidelijk Estuarien TroebelheidsMaximum (ETM). De locatie van het ETM varieert met de rivierafvoer en kan gedurende het jaar met 20 km verschuiven [S3]. Tegenwoordig ligt het ETM bij hoge rivierafvoeren in de Seine-monding. De gemiddelde positie van het ETM is in de loop van afgelopen eeuw zeewaarts verschoven [S4]. De reden voor de verplaatsing is volgens [S4] de aanleg van de reguleringswerken in het estuarium en op de rivier.

De waarden voor het gehalte aan zwevend stof variëren van 0,1 g/l tot 1,0 g/l [S3], maar er worden ook waarden tot 2,9 g/l gerapporteerd [S5]. De totale hoeveelheid zwevend sediment varieert tussen 30 en 400 \*10<sup>6</sup> kg in de geul, waarbij de hoogste waarden worden bereikt bij springtij en lage rivierafvoeren [S3]. De flux van zwevend stof (SPM) uit de rivier is 6.4\*10<sup>8</sup> kg/jaar.

Tot het einde van de 19<sup>e</sup> eeuw werd jaarlijks ongeveer  $5,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  sediment gesedimenteerd in het estuarium. Deze waarde is afgenomen tot  $2,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  in de 20<sup>e</sup> eeuw [S3], hoewel in een andere publicatie [S4] wordt gesproken over een sedimentatiesnelheid van  $5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  in de periode 1972-1992. Jaarlijks wordt  $5 \cdot 10^9 \text{ kg}$  sediment gebaggerd in het estuarium [S6] en dit materiaal wordt buiten het estuarium gestort [S4].

### **Chemische kenmerken**

De nutriëntenbelasting van het Seine-estuarium is hoog, door de toegenomen toevoer door de landbouw in het drainagegebied en door de aanvoer van (gezuiverd) afvalwater. De waterkwaliteit in de Seine wordt al 45 jaar lang gemeten en daardoor is een lange waarnemingenreeks beschikbaar om de veranderingen te bestuderen [S7]. De waarden voor N in nitraat zijn toegenomen van 1-2 mg/l tot 3-7 mg/l en die voor N in ammonium liggen onder de 1 mg/l. De waarden voor P schommelen tegenwoordig tussen de 0 en 0,7 mg/l. De waarden van Si variëren van 0 tot 10 mg/l en de waarden hiervan zijn vrijwel niet verandert door menselijke invloeden [S7].

De toevoer van N (in nitraat en ammonium) is sinds 1950 met ongeveer een factor 5 toegenomen en die van P met een factor 3.

Het zuurstofgehalte in het estuarium fluctueert in de tijd en door het estuarium [S5]. De laagste waarden (zuurstofarm  $< 2 \text{ mg/l}$ ) worden in de zomer bereikt in het zoete bereik van het estuarium. Tijdens lage rivierenafvoeren dalen de waarden tot een bereik van 0-10 mg/l. In het estuarium worden twee zuurstofminima gevonden. Een minimum ligt dichtbij een zeer grote waterzuiveringsinstallatie bij Parijs en het andere ligt stroomafwaarts op de overgang waar natuurlijke processen het nitraat uit het rivierwater omzetten in ammonium [S5].

Het Seine-estuarium is in het verleden zwaar belast met Cadmium (Cd), afkomstig uit de kunstmestindustrie [S1]. Hoewel de stort van het vervuilde materiaal sinds begin jaren negentig niet meer is toegestaan is de belasting met Cd nog steeds relatief hoog in vergelijking met estuaria wereldwijd [S8]. Verhoogde concentraties Cd worden met name in filtrerende schelpdieren (mosselen) aangetroffen. Ook andere zware metalen vertonen verhoogde waarden in het Seine-estuarium [S9]. Informatie over andere ecotoxicologische stoffen is in deze verkenning niet nog gevonden.

### **Biologische kenmerken**

De primaire productie in het Seine-estuarium [S5] is het hoogst in het zoete bereik, met koolstofwaarden (C) van 500-1000  $\mu\text{g/l}$ . De primaire productie (uitgedrukt in C) bereikt hier waarden tot  $3,4 \text{ g/m}^2$  per dag, met een gemiddelde voor de productieve delen van  $2,3 \text{ g/m}^2$  per dag. Stroomafwaarts in het zoute bereik neemt de primaire productie sterk af tot waarden C van 10-25  $\mu\text{g/l}$ . De verschillen worden toegeschreven aan de lichtcondities, de lichtindringing neemt stroomafwaarts af omdat het water dieper wordt en de zwevend stof gehaltes groter worden. Voor Chlorofyl a worden waarden genoemd van 30-180  $\mu\text{g/l}$  [S5 & S7].

Bacteriën vormen belangrijke producenten in delen van het estuarium. De waarden voor de bacteriële C-productie bereiken waarden tot 3-5  $\mu\text{g/l}$  per uur waar de primaire productie piekt en 2-3  $\mu\text{g/l}$  per uur in de nabijheid van de afvalwaterzuivering.

In [S6] is een uitgebreide en complete beschrijving beschikbaar van het voedselweb in het zoute deel van het estuarium (ruwweg de eerste 30 km vanaf zee). Het

mesoplankton in het estuarium volgt de gradiënt in het zoutgehalte. Verder zijn de aantallen en de dominante soorten seizoensgebonden. De maximale aantallen van de copepode *Eurytemora affinis* zijn hoog ( $>190.000$  individuen per  $m^3$ ) in het voorjaar. Deze aantallen zijn vergelijkbaar met die in het Schelde estuarium. De aantallen voor macrozoöplankton zijn relatief laag, zowel tijdens de piek in het voorjaar (ongeveer 30 individuen per  $m^3$ ) als gedurende de rest van jaar ( $< 1$  individuen per  $m^3$ ). De grote aantallen driehoeksmosselen *Dreissena polymorpha* hebben mogelijk een effect op de aanwezigheid en de verdeling van de grootte van fytoplankton [S10].

In het suprabenthos worden een mariene en een estuariene groep aangetroffen waarvan de distributie in het estuarium samenhangt met de gradiënt in de saliniteit. De biomassa in het mariene bereik varieert van 2,4 tot 7,2  $mg/m^2$  (asvrij drooggewicht) in de winter (oktober tot mei) tot boven de 12  $mg/m^2$  in de zomer (juni tot augustus) en met een piek van 195  $mg/m^2$  in september. De biomassa van de estuariene groep is hoger en de verdeling over het jaar is anders. De biomassa ligt altijd boven de 200  $mg/m^2$  en piekt in augustus (1000  $mg/m^2$ ) en oktober (950  $mg/m^2$ ). De aantallen garnalen *crangon crangon*, steurgarnalen *palaemon longirostris* en brakwatergrondels *Pomatoschistus microps* zijn bijzonder hoog [S6].

Het macrobenthos is een *Nephtys cirrosa* gemeenschap in het mariene deel die soortenrijk is met lage dichtheden [S6]. Het macrozoobenthos van de slibbige platen is een *Macoma balthica* gemeenschap, met minder soorten maar hogere dichtheden. In de zomer is de biomassa 12 tot 20  $g/m^2$  (drooggewicht). In de vaargeul is de macrobenthos arm in termen van soorten, dichtheid en biomassa (minder dan 0,25  $g/m^2$ ).

In de subgetijdemileus van de monding worden hoge biomassa gevonden in de verschillende macrobenthosgemeenschappen met waarden van gemiddeld 50  $g/m^2$  (drooggewicht) en maxima van 200  $g/m^2$  (drooggewicht).

Observaties [S6] van de visfauna en dichtheden zijn beperkt beschikbaar. Aantallen voor de zomer worden geschat op 3 individuen en 2,6 g (drooggewicht) per 1000  $m^3$ .

De vogelaantallen voor het gehele estuarium worden geschat op 80.000 tot 120.000 watervogels die het estuarium gebruiken. Het Seine-estuarium is van internationaal en van nationaal belang voor verschillende vogelsoorten, waarbij nog geen getallen voor de aanwezigheid van de individuele soorten in het totale gebied zijn aangetroffen. De vogelaantallen op de getijdeplaten van de Seinemonding worden geschat op ruim 10.000 Bonte strandlopers, 2.400 Scholeksters en 575 Wulpen[S2].

In de internetrapportage over de Natura2000 gebieden zijn aanwijzingen gevonden dat zeehonden en bruinvissen zeldzaam zijn in het Seine estuarium ([//natura2000.environnement.gouv.fr](http://natura2000.environnement.gouv.fr)). Op internet wordt gerapporteerd over de aanwezigheid van één dwaalgast (baardrob *Erignathus barbatus*) uit arctische streken in 2006.

### Menselijke activiteiten

Voor de toegankelijkheid van de haven van Rouen zijn in de loop van de afgelopen 150 jaar veel verschillende ingrepen uitgevoerd in het estuarium [S3]. De getijdegeul was voor de 20<sup>e</sup> eeuw nog dynamisch. In het mondinggebied was sprake van meerdere geulen. Gaandeweg is de geul vastgelegd tussen dammen. Deze vaargeul wordt door continue baggerinspanning op diepte gehouden. Ook voor de haven van Le Havre zijn de nodige werken uitgevoerd, waaronder de uitbreiding van havenbekken en

haventerrein in het inter- en supragetijdegebied. Het areaal intergetijdegebied is door de ingrepen drastisch gereduceerd.

Het aantal scheepsbewegingen in 2005 in Le Havre was een kleine 14.000, waarbij ruim  $75 \cdot 10^6$  ton is overgeslagen. Ruim 800.000 passagiers hebben de haven gebruikt ([www.haver-port.net](http://www.haver-port.net)). Over visserij op vis en schelpdieren en jacht is nog geen informatie aangetroffen.

### **Bruikbaarheid voor het Vergelijkend Estuarium Onderzoek**

Van het estuarium is veel bruikbare informatie en gegevens beschikbaar. Naar verwachting is zonder veel inspanning de dataset, bijvoorbeeld voor de menselijke ingrepen, compleet te maken. De lopende activiteiten in het kader van de duurzame ontwikkeling van het estuarium zullen waarschijnlijk ook de komende jaren nieuwe informatie opleveren.

Het Seine-estuarium is geschikt voor het vergelijken met de Schelde, omdat veel fysische, chemische en biologische aspecten overeenkomen. De menselijke invloed in het estuarium is groot, zowel via de veranderde nutriëntenbelasting als door de waterbouwkundige ingrepen. Een positief aspect voor de vergelijkbaarheid met de Schelde is dat er veel informatie beschikbaar is over de Seine. Sommige aspecten van de voedselketen zijn vergeleken in [S6] en blijken wél (aantal copepoden van de soort *Eurytemora affinis*) of juist niet (aantallen garnalen, steurgarnalen en brakwatergrondels) overeen te komen.

## 2.4 Het Humber-estuarium

Het Humber-estuarium ligt in Groot-Brittannië, aan de oostzijde van Engeland en grenst aan de Noordzee. Het estuarium is onderzocht in het kader van de Land-Ocean Interaction Study (LOIS) en is onderdeel van het UK Estuaries Research Programme (EMPHASYS) [H1]. Voor het Humber-estuarium is een Shoreline Management Plan opgesteld [H2]. Voor grote delen van de kust langs het estuarium wordt gecontroleerd meegroeien met de zeespiegel door het terugleggen van dijken ('managed realignment') voorgesteld [H3 & H4].

### Fysische kenmerken

Het stroomgebied van het Humber-estuarium is ongeveer 24.000 km<sup>2</sup>. Dat is ongeveer 20% van heel Engeland. Het estuarium heeft een aantal rivieren die zoet water aanvoeren naar het estuarium, waarvan de Ouse en de Trent de twee belangrijkste zijn. De Humber zelf is het waterlichaam vanaf de Noordzeekust (bij Spurn Head) tot aan de plek waar de Ouse en de Trent samenkomen (bij Trent Falls). De Humber heeft een lengte van 63 km. De maximale invloed van de zee op de toevoerende rivieren is gelimiteerd door dammen en sluizen [H5]. De lengte van de Trent tot aan de Cromwell sluis is 83 km, de lengte van de Ouse tot aan de Naburn dam is 61 km.

Het estuarium heeft een oppervlakte van ongeveer 200 km<sup>2</sup> van Spurn Head tot Trent Falls). Ongeveer eenderde van het estuarium bestaat uit zand- of slibplaten die bij laagwater droogvallen. Het totale intergetijdegebied (boven laagwater bij springtij) is tegenwoordig ongeveer 12.000 ha, waarvan ruim 90% plaatgebied is en de rest voornamelijk schorren. In het landwaartse bereik van het estuarium ligt ongeveer 200 ha rietmoeras [H4].

De getijslag in het Humber-estuarium is 5,7 m bij springtij en 2,8 m bij doortij [H5]. Het getijprisma varieert van  $1 \cdot 10^9 \text{ m}^3$  tot  $2,5 \cdot 10^9 \text{ m}^3$  over de doortij-springtijcyclus [H6 & H7]. De toevoer vanuit de rivier is gemiddeld 250 m<sup>3</sup>/s [H5]. Deze toevoer varieert met de neerslag en van januari tot maart komen de hoogste afvoeren voor [H5 in hun figuur 5].

Het estuarium is gedurende het gehele jaar goed gemengd. Verticale stratificatie komt niet voor [H8]. De menging wordt veroorzaakt door de grote getijslag en de bijbehorende sterke stromingen. Het estuarium heeft een duidelijk troebelheidsmaximum (ETM: Estuarine Turbidity Maximum), waarvan de locatie varieert [H8]. Het gehalte aan zwevend stof kan in de zomer waarden tot 20 g/l bereiken (bij Trent Falls) [H5].

De bruto sedimenttoevoer naar het estuarium is jaarlijks ongeveer  $6 \cdot 10^9 \text{ kg}$  (drooggewicht). Dit materiaal is met name afkomstig van de aangrenzende Noordzeekust en uit de Noordzee [H4]. Maximaal 3% van het sediment is uit de rivieren afkomstig. Het meeste sediment blijft niet achter in het estuarium, maar wordt weer naar de Noordzee (terug)gevoerd. Het lange termijn netto sedimentbudget is ongeveer  $170 \cdot 10^3 \text{ kg}$  per getijde, oftewel  $0,1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  per jaar. Dit sedimentvolume is te klein om de zeespiegelstijging te volgen [H4]. Het areaal intergetijdegebied is de afgelopen jaren netto afgenomen [H7].

### Chemische kenmerken

Het rivierwater dat het estuarium instroomt heeft een hoge nutriëntenbelasting. In sommige gevallen wordt 10 mg/l nitraat en 3 mg/l ammoniak aangetroffen [H5]. Deze

hoge belasting is geheel antropogeen van origine. De hoge belasting is het effect van landbouwactiviteiten in het stroomgebied, lozingen van (gezuiverd) afvalwater en lozingen uit industriële bronnen. De schattingen van de toename van de gehalten variëren. Genoemd wordt een toename met een factor vijf van P ten opzichte van pre-industriële waarden [H9].

Het nitraat en nitrietgehalte van het water in het estuarium neemt af met het toenemen van de saliniteit. De waarden bij de Noordzee zijn veel lager dan de waarden die op de rivier worden gemeten [H9]. Verschillende processen worden verantwoordelijke gehouden voor deze afname. Voor P geldt dat de absorptie aan zwevend stof een belangrijke rol speelt bij de zeewaartse afname van het gehalte [H9]. Bij N speelt de denitrificatie en de opslag in schorren een belangrijke rol [H10], hoewel de daadwerkelijke getallen die hiervoor worden genoemd klein zijn in vergelijking met de fluxen [H10].

Van de P- en N-waarden zijn massabalansen beschikbaar [H10], zodat een duidelijk beeld beschikbaar is van de nutriëntfluxen in het Humber-estuarium. De toevoer van N wordt bijvoorbeeld geschat op  $57 \cdot 10^3$  kg/jaar en de afvoer naar zee op  $56 \cdot 10^3$  kg/jaar.  $1 \cdot 10^3$  kg per jaar verdwijnt de atmosfeer in. Daarnaast wordt  $0,2 \cdot 10^3$  kg begraven in het sediment [H10].

Informatie over de belasting met zware metalen en ecotoxicologische stoffen zijn niet aangetroffen in de bestudeerde literatuur. Verwacht wordt dat gericht zoeken op deze informatie wel gegevens op zal leveren. Over de belasting met metalen, organische verbindingen en nutriënten uit het stroomgebied van de Humber op de Noordzee wordt gerapporteerd in het kader van de OSPAR conventie.

### Biologische kenmerken

In dit eerste literatuuronderzoek is weinig informatie aangetroffen die direct betrekking heeft op de ecologie van het Humber-estuarium. Getallen voor de primaire productie zijn nog niet gevonden, net zo min als getallen voor totale aantallen en biomassa. In [S6] wordt een vergelijking gemaakt tussen de Seine en enkele andere Europese estuaria, waaronder de Humber. Volgens deze bron ligt de gemiddelde biomassa voor de slibbige intergetijdeplaten boven de  $25 \text{ g/m}^2$ .

Het Humber-estuarium is in termen van aantallen watervogels een van de belangrijke gebieden in Groot-Brittannië (aantallen in tabel 1 afkomstig van de website [www.huntsman.com/pigments/biodiversity/](http://www.huntsman.com/pigments/biodiversity/)). In Groot-Brittannië worden al jarenlang waarnemingen van de watervogels langs de gehele kust uitgevoerd [H11 & H12]. Voor verschillende vogelsoorten is het Humber-estuarium van internationaal belang (volgens de Ramsar-norm) omdat tenminste 1% van de wereldpopulatie aanwezig is, of van nationaal belang, omdat tenminste 1% van de populatie van Groot-Brittannië aanwezig is.

Op de overgang van het estuarium naar de Noordzeekust, bij Donna Nook, bevindt zich een grote kolonie van 800 exemplaren Grijze zeehonden *Halichoerus grypus*. Jaarlijks worden in de kolonie ongeveer 220 pups geboren. Over de aanwezigheid van Gewone zeehonden (*Phoca vitulina*) is geen informatie aangetroffen.

### Menselijke activiteiten

In het gebied van het Humber-estuarium is sinds 1750 6.400 hectare ingepolderd [H6]. Door de inpolderingen is de ruimte voor sedimentatie met 75% afgenomen [H4 & H13].

Uitgaande van een zeespiegelstijging van 0,5 m zou in het estuarium zonder waterkerende constructies  $673 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  sediment kunnen worden afgezet. In de huidige situatie met dammen en dijken is dat  $143 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  [H13].

In het estuarium wordt met name in de geulen en havens gebaggerd voor de scheepvaart. Het jaarlijkse baggervolume bedraagt  $1 \cdot 10^{10} \text{ kg}$  nat sediment [H10]. De baggerspecie wordt van de landzijde naar de zeezijde in het estuarium vervoerd en binnen het estuarium gestort.

Naast de inpolderingen, waterkeringen en het baggerwerk zijn in het estuarium kades, dokken, werven en pieren gebouwd [H6].

De havens bij Goole, Grimsby, Hull en Immingham nemen ongeveer 13% van het totale vrachtverkeer van Groot-Brittannië voor hun rekening [H4]. Jaarlijks wordt ongeveer 74 miljoen ton vracht verscheept via het Humber-estuarium. Voor de aantallen passagiers worden getallen van 500.000 tot 1.000.000 genoemd en voor scheepsbewegingen getallen van 15.000 tot 37.000 [H4 & H8].

### **Bruikbaarheid voor het Vergelijkend Estuarium Onderzoek**

Van het Humber-estuarium zijn veel gegevens direct beschikbaar. Uit de referenties blijkt verder dat meer informatie in de openbare rapporten te vinden zal zijn. Verwacht wordt dat de ontbrekende gegevens (met name over de primaire productie) relatief eenvoudig zijn te verkrijgen. Het Humber-estuarium is in verschillende nationale en Europese onderzoeksprogramma's opgenomen waarbinnen bijvoorbeeld veel chemische data zijn verzameld. Voor heel het Verenigde Koninkrijk zijn veel en kwalitatief goede gegevens beschikbaar van watervogels. Ook vanwege het langlopende Shoreline Management Plan is en wordt onderzoek uitgevoerd.

Het Humber-estuarium is in meerdere opzichten goed bruikbaar voor vergelijkend onderzoek met het Schelde-estuarium. Veel fysische, chemische en biologische aspecten komen overeen. Ook de antropogene beïnvloeding en management vraagstukken zijn vergelijkbaar. Verder zijn voldoende gegevens voor handen om een vergelijking mogelijk te maken.

## 2.5 Chesapeake Bay

Chesapeake Bay ligt aan de oostkust (Atlantische kust) van Amerika en is het grootste estuarium van de USA. Het estuarium is al jarenlang onderwerp van veel onderzoeken, zodat veel informatie en gegevens beschikbaar zijn. Een goede ingang voor informatie over het gebied is de portal [www.chesapeakebay.net](http://www.chesapeakebay.net), die feitelijke informatie biedt en verbindingen legt naar verschillende herstel- en onderzoeksprogramma's.

### Fysische kenmerken

Chesapeake Bay is het grootste estuarium van de USA met een oppervlak van ongeveer 11.500 km<sup>2</sup> [C1] en een watervolume van  $74 \cdot 10^9$  m<sup>3</sup> [C2]. Het stroomgebied van Chesapeake Bay is ongeveer 166.534 km<sup>2</sup> en beslaat daarmee een flink stuk van de oostkust van Amerika. De hoofdtak van het estuarium is 320 km lang. De maximale breedte is 50 km en het smalste deel meet ruim 6 km. De belangrijkste watertoevoerende rivier is de Susquehanna, die ongeveer 70 % van de aanvoer van het zoete water voor haar rekening neemt. De gemiddelde diepte van het estuarium is ongeveer 6,5 m en de maximale diepte ongeveer 30 m. Het schorareaal is ongeveer 680 km<sup>2</sup> [C3], dit is ongeveer 6% van het oppervlak.

De getijslag is 0,7 aan de zeezijde van het estuarium. Deze neemt af naar het midden van het estuarium (0,4 m) en loopt daarna weer op tot 1,2 m achter in het estuarium ([www.tidesonline.nos.noaa.gov](http://www.tidesonline.nos.noaa.gov)).

Chesapeake Bay is een schoolvoorbeeld van een verdronken riviervallei. Tijdens de ijstijden, toen de zeespiegel tientallen meters lager stond dan tegenwoordig, hebben de rivieren zich ingesneden in de ondergrond. Tijdens het Holoceen, toen de zeespiegel ging stijgen zijn deze ingesneden riviervalleien vol met water gestroomd. Vanuit de rivieren en vanaf de kust is minder sediment aangevoerd dan nodig zou zijn om de valleien op te vullen. Hierdoor zijn de valleien daadwerkelijk verdronken. Hierdoor is het areaal intergetijdegebied relatief klein.

De watertemperatuur varieert van minima van 1-2 °C in de winter (februari) tot maxima van 25-26 °C in de zomermaanden (juli en augustus) [C2].

Het estuarium is 's zomers sterk gelaagd (gestratificeerd) door dichtheidsverschillen in de waterkolom. Het dichtheidsverschil ontstaat door het hoge zoutgehalte en de lage temperatuur van het bodemwater ten opzichte van het oppervlaktewater [C1, C3 & C4]. In de winter is het water verticaal gemend en treedt geen gelaagdheid op. De gelaagdheid van het water is bepalend voor de doorstroming (circulatie) binnen het estuarium. Daarbij spelen ook het getij, de wind en de Coriolis-kracht een rol [C5].

Een sedimentbudget van Chesapeake is binnen het tijdbestek van deze studie niet gevonden. Wel zijn aanwijzingen gevonden dat de sedimentbelasting van de rivieren is toegenomen sinds de aankomst van Europese kolonisten. Dit komt doordat de kolonisten het landgebruik hebben veranderd [C6]. Door de toegenomen sedimentbelasting in de mondingen van de rivier zijn in het estuarium eilandjes ontstaan [C6, in het bijzonder in figuur 6]. Daartegenover zijn er aanwijzingen dat de bestaande eilanden en schorren langzaam verdrinken door de stijgende zeespiegel en de beperkte toevoer van sediment [C1]. De diepere delen van de geulen zijn 'sinks' voor sediment [C6 & C7].

### Chemische kenmerken

Het zoutgehalte in het estuarium varieert van waarden die overeenkomen met zeewater aan de zeezijde tot zoet bij de toestromende rivieren. Grote delen van het estuarium zijn mesohalien, met zoutgehaltes tussen de 5 en 16 ppt ('parts per thousand') [C3 & C1].

Het estuarium is groot en kent een groot aantal toevoerende rivieren, waarvan de waarde van verschillende nutriëntbelastingen verschilt. De waarden voor de nutriënten variëren, voor N (totaal) tussen 0 en ruim 2 mg/l en voor P tussen 0 en 0,3 mg/l [C4 – meetwaarden in hun appendix D]. De totale belasting van N valt in de orde van  $35 - 45 \cdot 10^9$  kg per jaar [C3]. Halverwege de jaren '80 was de belasting het hoogst, deze is sindsdien enigszins afgenomen. De totale belasting van P valt in de orde van 3 tot  $11 \cdot 10^9$  kg per jaar, met de hoogste waarden in de jaren '70 en een flinke afname sindsdien [C3]. Het is vooralsnog niet bekend hoeveel N en P worden uitgewisseld met de oceaan, wordt opgeslagen in sedimenten en wordt uitgewisseld met de atmosfeer.

De hoge nutriëntenbelasting is grotendeels antropogeen [C1, C3, C6 & C7]. Schattingen van de toename ten opzichte van de natuurlijke achtergrondwaarden variëren van 3 tot 8 keer voor N [C6].

Een belangrijk kenmerk van het Chesapeake Bay estuarium is het optreden van zuurstofarme (hypoxia) en zuurstofloze condities (anoxia) in het bodemwater [C1]. Deze zuurstofloze condities treden 's zomers op en worden veroorzaakt door de toegenomen primaire productie van het estuarium in combinatie met de natuurlijke gelaagdheid van het water [C1]. De waarden voor zuurstof in het water variëren van 0 tot 12 mg/l [C4 – meetwaarden in hun appendix D].

Van het estuarium zijn ook waarden bekend van verschillende toxische stoffen (zware metalen en organische componenten) [C4 – meetwaarden in hun appendix D].

### Biologische kenmerken

De primaire productie in het estuarium wordt tot stand gebracht door plankton, zeegras en andere onderwatervegetatie en schorvegetatie. Het oppervlak aan zeegras in het estuarium bedroeg in 2000 ongeveer 26.000 ha. Halfverwege de jaren '80 bereikte het oppervlak een dieptepunt van bijna 15.000 ha. Het van nature aanwezige areaal wordt geschat op 80.000 ha [C1].

De waarden van Chlorofyl *a* variëren tussen de 0 en 0,3 µg/l in het estuarium [C4 – meetwaarden in hun appendix D]. Delen van het estuarium vertonen tekenen van eutroficatie. Op grond van de analyse van boorkernen is geconcludeerd dat de primaire productie in het estuarium waarschijnlijk verdubbeld is door de menselijke beïnvloeding [C6]. De plankton biomassa is waarschijnlijk met een factor 2 tot 2,5 toegenomen tot een waarde van 350 gm<sup>2</sup> C [C6].

In het estuarium spelen ribkwallen (*ctenophore*) een belangrijke rol in de voedselketen, doordat deze ribkwallen het zoöplankton consumeren.

In de winter kunnen ongeveer één miljoen watervogels in Chesapeake Bay worden aangetroffen [C1]. Hieronder bevinden zich veel soorten en aantallen eenden, waaronder duikeenden en verder steltlopers, reigers en reigerachtigen. Een overzichtelijk lijst met aantallen is nog niet aangetroffen. Wel is bijvoorbeeld een samenvatting van de Midwinter waterfowl survey gevonden, met aantallen van

kenmerkende watervogels (deze zijn gebruikt in tabel 1). De gedetailleerde informatie wordt mede verzameld vanwege het verstrekken van jachtvergunningen voor waterwild.

In Chesapeake Bay worden tuimelaars aangetroffen (maximaal 100). Verder is het gebied de habitat van twee soorten zeeschildpadden

### **Menselijke activiteiten**

Waarschijnlijk is ongeveer de helft van de "wetlands" (schorren en moerassen) in het Chesapeake Bay estuarium sinds de komst van de Europese kolonisten verdwenen. De "wetlands" bestaan tegenwoordig voor ongeveer tweederde uit schorren en de rest is slibrijke intergetijdeplaat of (zoetwater) moeras. Ongeveer 6% van de "wetlands" zijn in de periode 1956 tot 1989 verdwenen door ontwatering, opspuiten of baggeren.

In het estuarium wordt gebaggerd voor het bevaarbaar houden van verschillende vaarwegen en havens. Baggervolumes zijn nog niet aangetroffen. Baggerspecie wordt in sommige gevallen ingezet voor het herstel van de "wetlands".

In het estuarium liggen de twee grote industriehavens van Hampton Roads en Baltimore. Hampton Roads huisvest ook een grote marinehaven. De jaarlijks overslag bedraagt  $84 \cdot 10^9$  kg.

Chesapeake Bay is de belangrijkste locatie voor de vangst van oesters (*Crassostrea virginica*) en krabben ('blue crab' *Callinectes sapidus*) in USA [C1]. De jaarlijkse vangst van krabben schommelt rond de 30 miljoen kg. Tegenwoordig (sinds de jaren '90) wordt niet meer dan 0,5 miljoen kg oester gevangen, terwijl dat daarvoor nog 11 miljoen kg was [C3]. De afname van de oesterpopulaties die ten grondslag ligt aan de afname van deze vangsten wordt toegeschreven aan het optreden van ziekten, overbevissing en vervuiling [C3]. Om toch oester te kunnen blijven vangen wordt de introductie van Japanse oesters overwogen.

Het estuarium wordt naar schatting door 447.000 plezierboten gebruikt. In het estuarium vindt naast de commerciële visvangst ook veel sportvisserij plaats. Verder wordt in het gebied gejaagd op waterwild.

### **Bruikbaarheid voor het Vergelijkend Estuarium Onderzoek**

Het Chesapeake Bay estuarium is onderwerp van veel (lopende) onderzoeksprogramma's en er zijn dan ook veel gegevens beschikbaar. Van de kennisgebieden waar de informatie voornamelijk ontbreekt (sedimentbalans, vogelaantallen) wordt verwacht dat deze relatief eenvoudig kan worden aangevuld. Veel informatie en gegevens zijn openbaar toegankelijk.

De fysische, chemische en biologische situatie in Chesapeake Bay is duidelijk anders dan die in de drie Europese estuaria. De verschillen zijn voor een belangrijk deel terug te voeren op de grootte, het andere licht- en temperatuurklimaat, een beperkte beschikbaarheid van sediment (in verhouding tot de accommodatieruimte) en relatief weinig getijdewerking (ten opzichte van de rivieren). Dit verklaart bijvoorbeeld het optreden van de stratificatie van de waterkolom. Door deze verschillen is de response op veranderingen, bijvoorbeeld door de toegenomen aanvoer van nutriënten, ook anders dan in de drie Europese estuaria.

Het vergelijken van Chesapeake Bay op het niveau van nutriënten en primaire productie is uitstekende mogelijk. Zodra naar soorten wordt gekeken zal de vergelijking moeilijker

worden, omdat grotendeels andere soorten het estuarium bevolken. De soorten die wel overeenkomen kunnen een andere gedrag vertonen, omdat ze andere concurrerende soorten hebben. Het verdient aanbeveling om soortgroepen te definiëren en op dat niveau de vergelijkingen uit te voeren.

Als Chesapeake Bay wordt meegenomen in de vergelijking van estuaria dan zal dit inzicht opleveren in het effect van een andere licht- en temperatuurklimaat, de beschikbaarheid van sediment en de invloed van getijdewerking.



## 3 Parameters

### 3.1 Inleiding

In tabel 1 staan voor elk van de vier estuaria de waarden van verschillende parameters, waarvan wordt verwacht dat deze relevant zijn voor de draagkracht van estuaria. Verder is informatie verzameld over de mate waarin gegevens beschikbaar zijn en de vergelijkbaarheid van de gegevens voor de verschillende estuaria. In dit hoofdstuk worden deze aspecten per parametergroep besproken.

Deze vingeroefening heeft het besef opgeleverd dat niet alle gegevens hetzelfde belang hebben voor het Vergelijkende Estuarium Onderzoek. Bij het vergelijken van deze kleine verzameling van estuaria wordt al duidelijk dat sprake is van een hiërarchie van parameters die de draagkracht bepalen. Een voor de hand liggend voorbeeld is de aanwezigheid van steltlopers, waarvoor de aanwezigheid van intergetijde plaatareaal én van voedsel én van hoogwatervluchtplaatsen van direct belang is [A14]. Deze drie parameters worden op hun beurt weer bepaald door een aantal andere. Uitgaande van een hiërarchie zal meer inspanning moeten worden gestopt in het vinden van de gegevens met het grootste belang. In paragraaf 5.7 zal hierop nog kort nader worden ingegaan.

### 3.2 Fysische parameters

#### Klimaat

Gegevens over het lichtklimaat, de wolkenbedekking en de temperaturen zijn eenvoudig te verkrijgen uit wereldwijde databestanden. Deze zijn bijvoorbeeld beschikbaar via de NASA ([//eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse](http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse)). De informatie uit deze wereldwijde databestanden is goed vergelijkbaar en zeer bruikbaar.

Informatie over de (gemiddelde) neerslag en verdamping is nationaal beschikbaar, maar naar verwachting ook internationaal vanuit wereldwijde databases voor klimaatonderzoek.

Informatie over de watertemperatuur is moeilijker beschikbaar. Deze informatie wordt veelal gemeten in landelijke of regionale meetnetten. Verder is niet altijd duidelijk waar de watertemperatuur wordt gemeten. Dit is wel belangrijk, omdat de temperatuur mede afhankelijk is van de locatie (afstand vanaf zee, waterdiepte) van het betreffende meetpunt. Ook informatie over het aantal ijsdagen en ijsbedekking is niet eenvoudig te achterhalen beschikbaar.

#### Hydrodynamische parameters

De hydrodynamische gegevens zijn vrijwel zonder uitzondering eenvoudig beschikbaar in bestaande literatuur (zie de beschrijving per estuarium voor de bronnen). De rapportages in het kader van OSPAR ([www.ospar.org](http://www.ospar.org)) leveren informatie over stroomgebieden en de rivierafvoer van estuaria aan de Noordzee en de Atlantische kusten van Europa. Voor de USA levert het EPA National Estuary Program ([www.epa.gov/owow/estuaries](http://www.epa.gov/owow/estuaries)) informatie over de stroomgebieden van estuaria. Voor Chesapeake Bay is een eigen programma ([www.chesapeakebay.net/](http://www.chesapeakebay.net/)) waarin informatie beschikbaar is.

Omdat een deel van de hydrodynamische parameters van nature variabel is, is het wel van belang om te achterhalen of het uitersten of gemiddelde waarden betreft. Indien het om gemiddelde gaat moet duidelijk zijn over welke periode is gemiddeld. De variatie in de rivierafvoer blijkt in verschillende gebieden (Schelde-estuarium en Chesapeake Bay) belangrijke consequenties te hebben voor verschillende fysische (locatie ETM), chemische (zuurstofloosheid) en biologische (primaire productie) factoren.

Het totale volume van het estuarium blijkt een parameter te zijn die moeilijker te achterhalen is. Bij deze parameter is ook niet duidelijk welk referentievlak (gemiddeld getij, lokaal nulpeil, gemiddelde zeespiegelstand) is gebruikt.

### **Morfologische parameters**

Een algemene opmerking is dat zelden duidelijk is welk referentieniveau wordt gebruikt voor het bepalen van gemiddelde oppervlakten (hoogwater springtij, vast of variabel referentievlak?).

De oppervlakte en de lengte van de estuaria zijn in de literatuur beschikbaar. De gemiddelde diepte en breedte zijn moeilijker te achterhalen. De vergelijkbaarheid is afhankelijk van de vorm van het estuarium. De bruikbaarheid van deze gemiddelde waarden hangt sterk af van het doel van de vergelijking. Het zal voor de meeste processen niet alleen belangrijk zijn wat de gemiddelde diepte is, maar ook of die bestaat uit hoge platen en diepe geulen of alleen uit ondiep water.

Hypsometrische curven zijn buiten Nederlandse morfologische literatuur niet aangetroffen.

De bodemruwheid is niet bekend (en onderwerp van discussie, zoals bijvoorbeeld te vinden in [A3]). De bodemsamenstelling is soms gegeven in de literatuur (bijvoorbeeld van de Seine en de Schelde). Ook voor deze parameters geldt dat grote verschillen bestaan tussen platen en geulen en door het estuarium heen. De bruikbaarheid van gemiddelde waarden is daardoor niet altijd duidelijk.

De oppervlakten van de intergetijdegebieden zijn meestal in de literatuur beschikbaar. Het is daarbij niet altijd duidelijk of het de oppervlakten van het gehele estuarium betreft, of van slechts een gedeelte. Soms wordt duidelijk onderscheidt gemaakt tussen begroeide en niet begroeide intergetijdegebieden. Ook wordt in sommige gevallen gedifferentieerd tussen zout, brak en zoutwater intergetijdegebieden.

Het aantal geulen van de vier vergeleken estuaria is alleen in het Schelde-estuarium groter dan één. In de Seinemonding waren in de 19<sup>e</sup> eeuw ook meerdere geulen aanwezig. Omdat tegenwoordig slechts één geul aanwezig is in de Seine en Humber wordt hier niet over gerapporteerd. Bestuderen van de hydrografische kaarten kan hierover uitsluitsel geven voor ander estuaria. Chesapeake Bay is in het geheel 'natter' dan de andere bestudeerde estuaria, waardoor de geulen niet worden begrensd door platen. Dit maakt het lastig (het aantal) geulen te definiëren. In de bestudeerde literatuur is overigens niet vermeld hoe de geulen zijn gedefinieerd (bijvoorbeeld ten opzichte van referentiediepte of door een kenmerkende knik in het profiel?).

Sedimentbalansen zijn meestal beschikbaar op het niveau van jaarlijks sedimenttoevoer vanuit de rivieren en de zee en de berging in sedimentatiegebieden en baggervolumina. Soms wordt hierbij een onderscheidt gemaakt tussen slib of zwevend stof en zand. Het is

niet altijd duidelijk op welke gegevens (fluxen, kuberingen) de sedimentbalansen zijn gebaseerd.

Sedimentbalansen op de tijdschaal van duizenden jaren (het Holoceen) zijn alleen gevonden voor de Humber en voor de Nederlandse kust (inclusief de Westerschelde).

Gegevens over de troebelheid van het estuarium (zwevend stof = SPM per volume-eenheid water) en het optreden van estuariene troebelheidsmaxima (ETM) worden per estuarium in de literatuur aangetroffen. In de OSPAR rapportages wordt informatie verstrekt over de SPM fluxen. De troebelheid varieert in sommige gevallen sterk binnen het estuarium (zeker bij de aanwezigheid van een duidelijk ETM), maar ook door de tijd (bijvoorbeeld door een gepulseerde aanvoer door rivieren). In dergelijke gevallen is belangrijk om naast de gemiddelde waarden ook extremen te kennen. Deze worden meestal in de literatuur gegeven.

Getallen voor de ecologische structuren, zoals de oppervlakte mossel- en oesterbanken, zeegrasvelden en schorren, worden voor het Schelde-estuarium en Chesapeake Bay vermeld in de literatuur. Voor de Humber wordt het schorareaal vermeld. Het ontbreken van schorareaal wordt niet expliciet voor het Seine-estuarium vermeld.

De oppervlakten van geulen, platen en ecologische structuren veranderen in de tijd. Duidelijkheid over het moment van opname en de fluctuaties en trends in de oppervlakten is belangrijk voor het vaststellen van de limiterende factoren voor en door morfologische elementen en ecologische structuren.

### 3.3 Chemische parameters

Gegevens over de saliniteit en nutriënten in de estuaria zijn zonder uitzondering eenvoudig beschikbaar in nationale en internationale rapportages en in de literatuur (zie de beschrijving per estuarium voor de bronnen). In alle gevallen zijn gemiddelde gehalten van saliniteit en nutriënten beschikbaar. In sommige gevallen is ook gerapporteerd over de fluxen van deze stoffen. In veel gevallen is deze informatie niet alleen in gemiddelde waarden beschikbaar, maar ook per jaar en voor verschillende locaties in het estuarium.

Informatie over ecotoxicologische stoffen is veelal beperkt tot zware metalen en PCB's. Over deze stoffen wordt meestal duidelijk gerapporteerd. Informatie over andere chemische parameters (bestrijdingsmiddelen, dioxines, hormoonbeïnvloedende middelen, tributilin, etc.) en informatie over de (in-situ) toxiciteit van verschillende compartimenten (sediment, bodemwater, waterkolom) is schaars of niet beschikbaar. Gericht zoeken in de wetenschappelijk literatuur kan hierover meer informatie opleveren. Daarbij wordt op voorhand vastgesteld dat de gegevens waarschijnlijk moeilijk vergelijkbaar zullen zijn, omdat per land de wijze en locatie van bemonsteren, de gemeten stoffen en de analysemethoden verschillen. Wel kan zo een globaal beeld worden verkregen van het belang van ecotoxicologische stoffen in de verschillende estuaria.

De rapportages in het kader van OSPAR [bijvoorbeeld G1 & G2; [www.ospar.org](http://www.ospar.org)] leveren informatie over de toevoer van nutriënten, zware metalen en traditionele organische gifstoffen van de estuaria aan de Noordzee en Atlantische kusten van Europa. Voor de USA levert het EPA National Estuary Program ([www.epa.gov/owow/estuaries](http://www.epa.gov/owow/estuaries)) informatie

over drainagegebieden van estuaria. Voor Chesapeake Bay is een eigen programma ([www.chesapeakebay.net/](http://www.chesapeakebay.net/)) waarin informatie beschikbaar is.

### 3.4 Biologische parameters

#### Basisgetallen

De wetenschappelijke literatuur levert voor de vier onderzochte estuaria gegevens op over de primaire productie en biomassa van fytoplankton en microfytobenthos. Ook over het aanwezige macrobenthos en zoöplankton is veelal informatie beschikbaar, evenals de aantallen en soorten vissen, vogels en zoogdieren. De informatie is echter zelden op vergelijkbare wijze verzameld, zodat het vergelijken van de gegevens met de nodige zorgvuldigheid dient te gebeuren. Dit komt ook tot uiting in de verschillende aanduidingen die in studies en estuaria worden gebruikt voor diergroepen. In veel gevallen zijn geen metagegevens bijgeleverd die het mogelijk maken om de bruikbaarheid van de gegevens voor het onderzoek te verifiëren.

De informatie over de aanwezigheid van schelpdieren, kreeftachtigen en vissen en de grootte van vangsten van deze dieren is nog niet compleet. Verwacht wordt dat hierover voldoende informatie beschikbaar is, bijvoorbeeld via visserijdepartementen en onderzoeksinstituten. De daadwerkelijke beschikbaarheid en kwaliteit van deze gegevens blijken in de praktijk overigens tegen te vallen.

Binnen de estuaria treden zowel in ruimte als in tijd grote verschillen op in de aanwezige soorten, de primaire productie en de biomassa. Kwantitatieve informatie hierover is niet aangetroffen in deze verkenning.

#### Vogels

Informatie over vogelaantallen in de estuaria zijn over het algemeen goed te achterhalen. Schattingen van de Internationale watervogelpopulaties zijn beschikbaar in de Waterbird Population Estimates van Wetlands International ([www.wetlands.org](http://www.wetlands.org)). Van de vier estuaria zijn schattingen beschikbaar van de vogelaantallen, op basis van landelijke of lokale inventarisaties.

De meest gedetailleerde informatie is beschikbaar in Groot-Brittannië via de British Trust for Ornithology ([www.bto.org](http://www.bto.org)). In Nederland worden de gegevens van vogels, die door verschillende partijen (particulieren, Rijkswaterstaat, onderzoeksinstituten) worden verzameld, gecombineerd en gerapporteerd door vereniging Vogelonderzoek Nederland (SOVON, [www.SOVON.nl](http://www.SOVON.nl)) en in Vlaanderen vervult het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO) ([www.inbo.be](http://www.inbo.be)) dezelfde functie. Een ingang voor het verkrijgen van vogelgegevens uit Frankrijk is de Ligue pour la Protection des Oiseaux ([www.lpo.fr](http://www.lpo.fr)). In de USA houden verschillende organisaties zich bezig met het verzamelen van gegevens over vogels (o.a. [www.waterbirds.org/](http://www.waterbirds.org/)). Een overzicht wordt gegeven op Birdnet ([www.nmnh.si.edu/BIRDNET](http://www.nmnh.si.edu/BIRDNET)).

Het is niet altijd duidelijk over welke aantallen vogels wordt gerapporteerd. In sommige gevallen betreft het maxima, in andere gevallen gemiddelden en soms worden de aantallen omgerekend in vogeldagen. Ook is zelden duidelijk op welke wijze de tellingen plaats hebben gevonden (vanuit de lucht, in een bepaald oppervlak, in een bepaalde tijd, bij hoogwater of laagwater, etc.).

Vergelijking van de aantallen vogels per voedsel/foerageergroep voor de drie Europese estuaria is relatief eenvoudig, omdat ze in dezelfde trekbaan liggen en het overwegend dezelfde vogelsoorten betreft. De vergelijking met Chesapeake Bay is moeilijker omdat een deel van de vogelsoorten wel, maar een ander deel niet overeenkomt met de Europese soorten. Door de vergelijking op voedsel/foerageergroep te richten kan wellicht een betere vergelijking plaatsvinden. Dit vereist dan een eenduidige definitie van deze groepen.

Veel dieren- en plantensoorten in estuaria hebben een Atlantische of zelfs wereldwijde verspreiding, zodat een vergelijking van de aanwezigheid van deze soorten in verschillende estuaria mogelijk lijkt. Ook komen soorten voor die beperkt zijn tot bepaalde estuaria. Dit is zeker het geval wanneer Amerikaanse en Europese estuaria onderling worden vergeleken. Maar ook binnen Europa komen soorten wel of juist niet voor in verschillende estuaria. Bovendien kan een soort die een grote verspreiding heeft, in verschillende estuaria in verschillende habitats voorkomen. Dit betekent dat niet alleen voor vogels, maar ook voor andere dieren- en plantensoorten moet worden gekeken naar soortgroepen.

### 3.5 Menselijke activiteiten

Voor een deel van de gegevens is goede vergelijkbare informatie beschikbaar, bijvoorbeeld over het aantal scheepsbewegingen en de overslag in havens. De baggervolumes zijn niet altijd eenvoudig te achterhalen. Deze gegevens worden soms afgeschermd vanwege economische belangen. Belangrijker is dat de baggergegevens in tenminste drie eenheden worden afgegeven: namelijk in m<sup>3</sup>, in tonnen drooggewicht en in tonnen natgewicht. Omrekenfactoren worden niet gegeven. Binnen Nederland treden verschillen op door het gebruik van verschillende omrekenformules en het gebruik van verschillende parameters. Dit geldt overigens ook voor de getallen van het eventuele gebaggerde en afgevoerde vervuilde sediment en van delfstoffen (zand en grind).

Voor recreatief gebruik zijn zelden getallen beschikbaar. Ook de vergelijkbaarheid laat vaak te wensen over, omdat verschillende eenheden worden gebruikt.

De invloed van jacht op watervogels vereist informatie over het afschot. Deze zijn nog niet gevonden. Verwacht wordt dat hierover wel informatie beschikbaar kan komen. De invloedssfeer rondom jachtlocaties is moeilijker vast te stellen.

Naar verwachting zijn voor de visserij (schelpdieren, schaaldieren en vissen) wel getallen beschikbaar, die in ieder geval voor de EU (redelijk) vergelijkbaar zullen zijn.

In alle gevallen zijn schattingen voorhanden van het verlies aan estuarium areaal (veelal in het intergetijdebereik). Verschillen tussen de estuaria treden op in de periode waarin het verlies heeft plaatsgevonden.

Getallen voor de antropogene vervuiling van estuaria zijn voor nutriënten beschikbaar en voor bepaalde vervuilde stoffen (met name zware metalen) ook. De verplichting (naar de EU of federale overheid in de USA) om over deze stoffen te rapporteren heeft de beschikbaarheid van gegevens vergroot. Voor andere stoffen met ecotoxicologische eigenschappen varieert de beschikbaarheid van de gegevens per estuarium.

### **3.6 Beschikbaarheid van gegevens en de mogelijkheden voor het Vergelijkend Estuarium Onderzoek**

Deze verkenning heeft uitgewezen dat voor veel van de van belang geachte parameters kwantitatieve informatie kan worden gevonden. Consequent zoeken van ontbrekende waarden en het benaderen van beheers- en onderzoeksinstellingen zal leiden tot een meer complete dataset. Het verdient aanbeveling om zoveel mogelijk instituten en onderzoekers in het Vergelijkend Estuarium Onderzoek te betrekken dan wel te bezoeken. Naar verwachting zal dit leiden tot de beschikbaarheid van meer gegevens en met name metagegevens. Enkele aspecten verdienen daarbij aandacht:

#### **Fluctuaties**

Verschillende parameterwaarden, zoals de rivierafvoer, vertonen van nature variaties die van invloed zijn op de fysiologie en de ecologie van het estuarium. Deze fluctuaties zijn een natuurlijk onderdeel van het estuarium. Het is in de eerste plaats van belang te weten of de periode waarover de ene parameter wordt gemiddeld (bijvoorbeeld de rivierafvoer) gelijk is aan die van een andere parameter (bijvoorbeeld de primaire productie). Dit is lang niet altijd duidelijk.

Verder is voor sommige estuaria vastgesteld dat bepaalde pieken van parameterwaarden een beperkende rol kunnen spelen voor andere parameters. Dit is bijvoorbeeld het geval in estuaria die incidenteel veel rivierwater krijgen te verwerken, of situaties waarbij zuurstofarme of -loze condities optreden, waardoor de invloed van bepaalde groepen in de voedselketen wordt beperkt.

#### **Trends**

Verschillende parameters vertonen duidelijke ontwikkelingen in de tijd. De nutriëntbelasting van estuaria is bijvoorbeeld tot de jaren '80 en '90 toegenomen, terwijl deze sindsdien weer afnemen. Hiervoor geldt hetzelfde als bij de fluctuaties, namelijk dat duidelijk moet zijn over welke periode de waarde is bepaald.

#### **Bepalingen**

Het is vaak onduidelijk waar gegevens precies op zijn gebaseerd, omdat bijvoorbeeld niet duidelijk vermeld is op welke manier ze zijn verzameld of op welke periode ze betrekking hebben. Zo is bijvoorbeeld bij geen van de vier onderzochte estuaria een referentievlak of ruimtelijke grens gegeven die wordt gebruikt bij het vaststellen het oppervlak van het estuarium,. Ook voor het areaal intergetijdegebied ontbreekt vaak het referentievlak.

## 4 Analyse: Een eerste vergelijking van estuaria

### 4.1 Inleiding

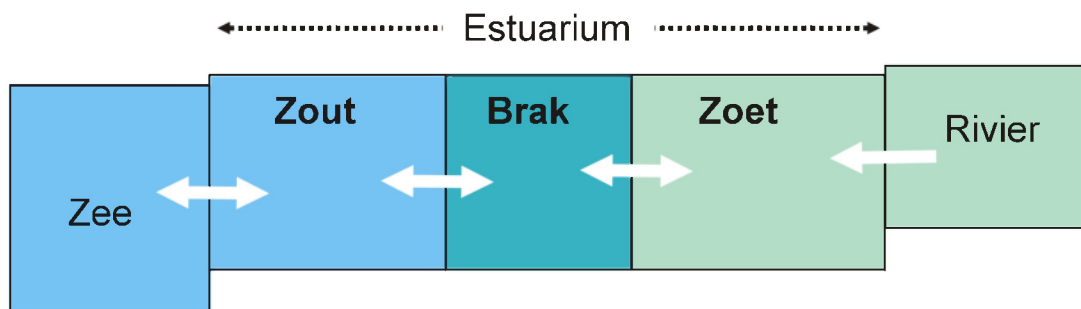
In dit hoofdstuk wordt een aanzet gegeven voor het vergelijken van estuaria. Niet met het doel om daadwerkelijk conclusies over het functioneren van de Schelde te trekken, maar louter als vingeroefening om de voorgestelde methodiek van het Vergelijkend Estuarium Onderzoek uit te proberen. Omdat we slechts vier estuaria beschouwen hebben we de statistische analyses nog niet kunnen testen.

Eerst wordt in paragraaf 4.2 een beschrijving gegeven van de verschillen en overeenkomsten tussen de estuaria. Daarna wordt een kwantitatieve vergelijking gemaakt van de aantallen watervogels in relatie tot de grootte van het estuarium. De redelijk arbitraire keuze voor watervogels is ingegeven door de beschikbaarheid van gegevens en het belang voor natuurdoelstellingen. Ook deze kwantitatieve analyse moet worden beschouwd als een vingeroefening voor het Vergelijkend Estuarium Onderzoek.

### 4.2 Overeenkomsten

In termen van oppervlakte en klimaatzone zijn de drie Europese estuaria Humber, Schelde en Seine goed vergelijkbaar. Chesapeake Bay is een orde groter en ligt veel zuidelijker. De temperaturen zijn daardoor hoger en vooral de lichtinval is groter. Ook ligt het estuarium in een andere vogeltrekroute en komen andere soorten planten en dieren voor. De antropogene beïnvloeding is in alle vier de estuaria groot.

De vier estuaria hebben een duidelijke estuariene gradiënt in het zoutgehalte (figuur 4.1). Ook hebben ze allemaal een of meerdere ETM's. De ruimtelijke verdeling van verschillende diergroepen is gecorreleerd aan het zoutgehalte. Dit gaat op voor het zoöplankton, het macrobenthos, het suprabenthos en ook voor vogels en vissen.



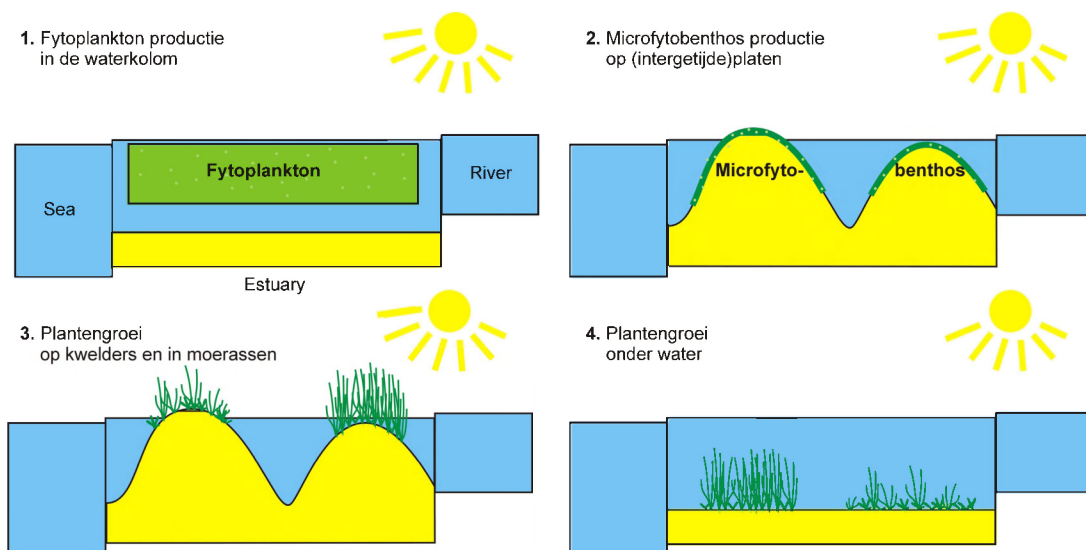
**Figuur 4.1:** Illustratie van de drie compartimenten die door de saliniteitsgradiënt worden bepaald.

De primaire productie van de estuaria vindt in vier compartimenten plaats (figuur 4.2):

1. Fytoplankton productie in de waterkolom;
2. Fytobenthos productie op de intergetijdeplaten;
3. Plantengroei op schorren en in moerassen;
4. Plantengroei onder water (zeegras en waterplanten).

De primaire productie van het fytoplankton is bij de drie Europese estuaria in het zoete bereik veel groter dan in het zoute bereik. Omgekeerd is de fyto-benthos productie hoger in het zoute bereik. De ranges die worden genoemd voor de primaire productie komen ruwweg overeen.

In alle estuaria bestaan verschillende voedselketens naast elkaar in de verschillende delen van de estuaria. Deze voedselketens zijn qua structuur vergelijkbaar, met veelal vergelijkbare soorten. Sommige onderdelen en verbindingen in de voedselketens ontbreken, doordat chemische, fysische of biologische factoren deze limiteren.



**Figuur 4.2:** Illustratie van de vier compartimenten waarin de primaire productie in estuaria plaatsvindt.

## 4.3 Verschillen

### Fysische karakteristieken

De vier estuaria hebben elk een opvallend kenmerk:

- De troebelheid van het Humber-estuarium is in vergelijking met de ander estuaria zeer hoog, met dichtheden zwevende stof die een factor 10 tot 100 keer hoger zijn dan in de andere estuaria. De oorzaak hiervan is niet duidelijk.
- Het ETM en de overgang van zoet naar zoutwater liggen bij de Seine zeer dicht bij de monding en tijdens hoge rivierafvoeren zelfs in de monding. De reden hiervoor is de relatief grote rivierafvoer van de Seine ten opzichte van het getijdeprisma. Dit effect is versterkt door de normaliseringwerkzaamheden ten bate van de scheepvaart.
- Chesapeake Bay is veel groter dan de ander estuaria en heeft een zeer groot brak (mesohalien) areaal dat voornamelijk subtidal is. Deze verdrongen riviervallei is niet zo ver opgevuld met sediment als de Europese estuaria.
- Het Schelde-estuarium heeft als enige estuarium een meergeulen stelsel, met intergetijdeplaten die worden omsloten door geulen (sedimentcirculatiecellen).

### Chemische karakteristieken

De vier estuaria worden allemaal zwaar belast met nutriënten. De aanvoer vanuit verschillende antropogene bronnen is enkele malen groter dan de natuurlijke achtergrondwaarden. Belangrijke chemische verschillen tussen de vier estuaria houden verband met de fysica en de biologie:

- In de Seine en in de Schelde treden ('s zomers) zuurstofarme en zuurstofloze condities op in de gehele waterkolom op. Dit houdt verband met de hoge toevoer van organisch materiaal uit rioolwater en de primaire productie van fytoplankton;
- In Chesapeake Bay treden 's zomers zuurstofarme en zuurstofloze condities op in het bodemwater, vanwege de hoge toevoer van organisch materiaal onder andere door de primaire productie van fytoplankton. Deze condities blijven beperkt tot het bodemwater door stratificatie van de waterkolom.

### Biologische karakteristieken

Ook de verschillen in de biologische karakteristieken hangen samen met de verschillen in de chemie en de fysica:

- De lage zuurstofconcentraties die gedurende delen van het jaar optreden in de Schelde en de Seine beperken de aanwezigheid van zoöplankton in dat deel van het estuarium. Bepaalde soorten zoöplankton zijn hierdoor minder of niet aanwezig of worden naar hogere saliniteiten gedwongen. De lage zuurstofconcentraties vormen ook een belemmering voor de aanwezigheid van vissen.
- In de Seine spelen driehoeksmosselen mogelijk een rol op het volume en de samenstelling van het plankton
- Chesapeake Bay wijkt in veel aspecten af van de andere estuaria:
  - Subtropische dieren- en plantensoorten komen algemeen voor;
  - Het areaal zeegras en ander onderwatervegetatie is groot;
  - Oesterbanken vormen een belangrijk habitat;
  - Ribkwallen spelen een belangrijke rol in de planktonische voedselketen.

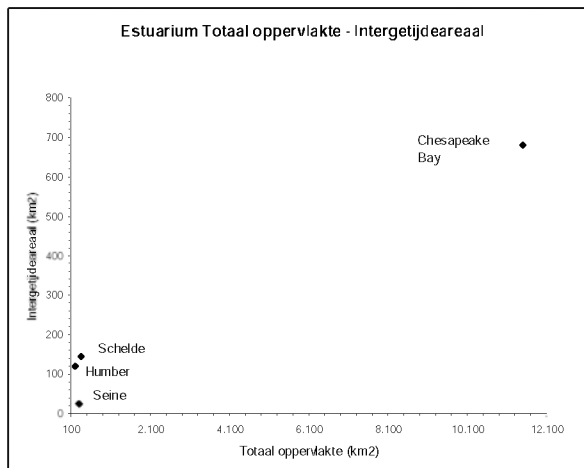
## 4.4 Voorbeelden van kwantitatieve vergelijkingen

In het Vergelijkend Estuarium Onderzoek worden kwantitatieve relaties tussen verschillende kenmerken van de estuaria afgeleid. Door in het Vergelijkend Estuarium Onderzoek een (groot) aantal estuaria te vergelijken wordt de waarde en de toepasbaarheid van de gevonden relaties steeds duidelijker. De waarde (en toepasbaarheid) van onderstaande kwantitatieve analyse is beperkt, omdat slecht vier estuaria zijn vergeleken en de kwaliteit van de gebruikte gegevens nog niet bekend is. Desondanks laten we een aantal vergelijkingen zien, om duidelijk te maken dat een kwantitatieve vergelijking informatie kan opleveren over de beperkende factoren in estuaria.

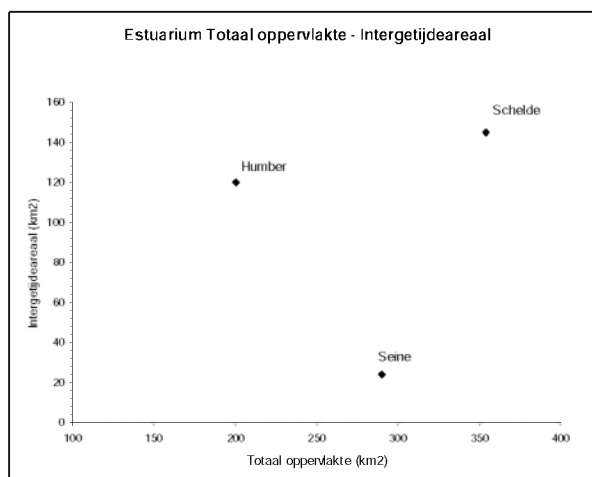
### Estuariumgrootte en intergetijde-areaal

In een groot estuarium is meer ruimte voor intergetijdegebied, zoals duidelijk wordt in figuur 4.3. Wanneer wordt gekeken naar de drie Europese estuaria in vergelijking met Chesapeake Bay, dan blijkt deze relatie op te gaan (in figuur 4.3a). Wordt ingezoomd op de drie Europese estuaria (in figuur 4.3b) met een vergelijkbare totale oppervlakte, dan volgt geen relatie tussen het oppervlak van het gehele estuarium en dat van de intergetijdegebieden. Voor het Nederlandse deel van de Waddenzee zijn evenwichtsrelaties bekend tussen het plaatareaal en het getijvolume (o.a. in [A13]). Bij

deze relaties wordt geen onderscheid gemaakt tussen inter- en subgetijdeplaten. Bekend is dat naast het oppervlakte ook de vorm van het bekken een belangrijke rol speelt bij het oppervlakte intergetijde-areaal. Hieruit volgt dat beter een andere – samengestelde- parameter kan worden gezocht om de relatie te leggen tussen oppervlakte en areaal intergetijdegebied.

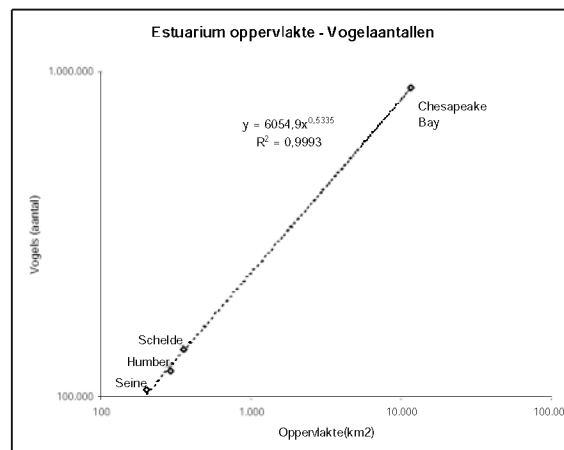


**Figuur 4.3a:** Figuur met daarin het totale oppervlakte van de vier estuaria ten opzichte van het intergetijdeareaal (inclusief schorren).



**Figuur 4.3b:** Figuur met daarin het totale oppervlakte van de drie Europese estuaria ten opzichte van het intergetijdeareaal (inclusief schorren).

De grootte van het estuarium is de eerste factor die de grootte van het intergetijdegebied beperkt, omdat het intergetijdegebied nooit groter kan worden dan het totale estuarium. Daarbij speelt de beschikbaarheid van sediment, de geologische (Holocene) ontwikkeling en het getij een rol. En menselijke ingrepen in de vorm van bedijking en landaanwinning zijn medebepalend voor het areaal intergetijdegebied.



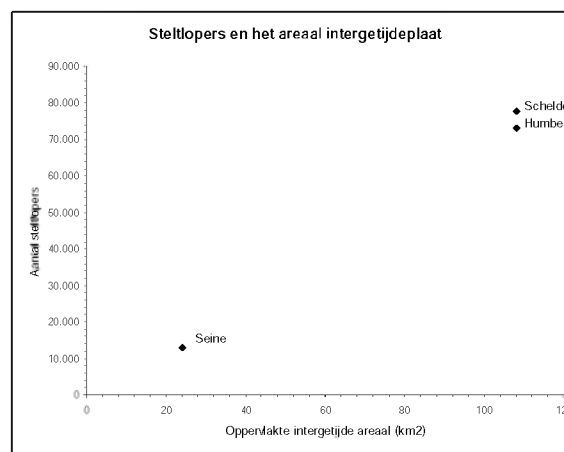
**Figuur 4.4:** Grafiek met het totale oppervlakte van de vier estuaria ten opzichte van de totale vogelaantallen.

### Estuariumgrootte en vogelaantallen

In een groot estuarium is meer ruimte voor vogels en dat blijkt zeer duidelijk in figuur 4.4. Deze relatie is niet lineair (zie de log/log assen), maar exponentieel. Onduidelijk is waarom de vogelaantallen niet lineair toenemen met de grootte van het estuarium. Hiervoor is geen voor de hand liggende oorzaak bekend. Helaas lenen de Chesapeake Bay vogelaantallen zich niet voor een verdere analyse van de relatie tussen arealen van de sub-milieus en de aantallen watervogels.

### Areaal intergetijdegebied en vogels

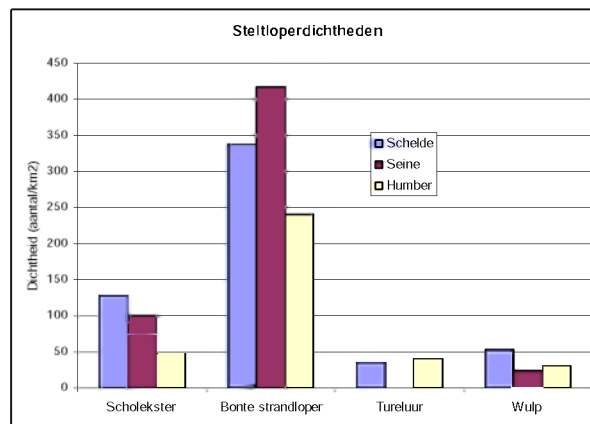
Figuur 4.4 met daarin het areaal intergetijdegebied ten opzichte van de aantallen steltlopers in de drie Europese estuaria geeft aanwijzing dat, zoals verwacht, het aantal vogels toeneemt met het areaal intergetijdegebied.



**Figuur 4.5:** Grafiek met daarin het oppervlak intergetijde plaat van de drie Europese estuaria ten opzichte van de aantallen steltlopers.

De dataset voor de Europese estuaria biedt de gelegenheid om de vogeldichtheden van enkele steltlopersoorten te vergelijken (figuur 4.6). Deze blijken qua orde van grootte min of meer gelijk te zijn. Het is niet zo dat de dichtheden in het ene estuarium laag zijn ten opzichte van de ander estuaria. Dit verschilt namelijk per estuarium. De scholekster bereikt zijn hoogste dichtheden in de Schelde, de Bonte strandloper in de Seine en de Tureluur in de Humber. Blijkbaar zijn er andere verschillen tussen deze estuaria die de

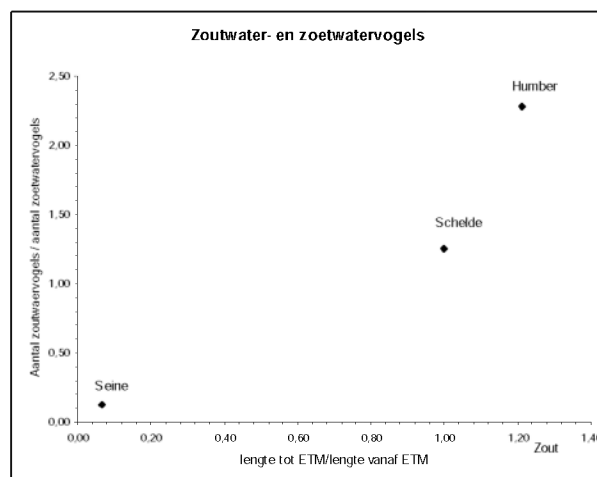
verschillen verklaren, bijvoorbeeld in het type voedsel (macrobenthos) dat beschikbaar is. Ook hieruit volgt da pas na combinatie met andere -nog nader te bepalen- parameters, een bruikbare relatie kan worden afgeleid.



**Figuur 4.6:** Dichtheid van vier soorten steltlopers in de drie Europese estuaria.

### Vogels in zoet- en zoutwater

Tussen de vier onderzochte estuaria treden grote verschillen op in de verhouding tussen het zoetwater- en zoutwaterdeel van het estuarium. Het Seine estuarium heeft een zeer klein zoutwaterbereik in tegenstelling tot de en de Humber- en Schelde estuaria die een zeer groot zoutwater bereiken hebben. Meer zoutwater betekent waarschijnlijk ook meer vogels die aan zoutwater zijn gebonden. De verzamelde gegevens zijn zo bewerkt dat de aantallen steltlopers en benthivore eenden zijn gesommeerd evenals de andere vogels. De gemiddelde locatie van het ETM is gebruikt als maatlat voor de lengte van het zoete en het zoute bereik. De verhoudingen zijn uitgezet in figuur 4.7. Het veronderstelde verband is inderdaad zichtbaar.



**Figuur 4.7:** Grafiek met de verhouding van de aantallen zoutwatervogels en zoetwatervogels uitgezet ten opzichte van de verhouding tussen de lengte van het estuarium stroomopwaarts en stroomafwaarts vanaf de (gemiddelde) locatie van het ETM.

Dit voorbeeld illustreert dat door bewerking van gegevens verbanden kunnen worden gelegd tussen (slim) gekozen parameters. Dat daarbij de inbreng van vakinhoudelijke specialisten nodig is moge duidelijk zijn.

## **4.5 De toepasbaarheid van kwantitatieve analyse voor het Vergelijkend Estuarium Onderzoek**

Bovenstaande “(cor)relaties” tussen verschillende parameters dienen slechts als voorbeeld voor de mogelijkheden van een kwantitatieve analyse. We pretenderen hier geen vakinhoudelijke correctheid, maar daar is deze exercitie dan ook niet voor bedoeld. Een uitgebreide set gegevens van tenminste een tiental estuaria in combinatie met een statistisch betekenisvolle analyse lijkt echter wel mogelijk als onderdeel van het Vergelijkend Estuarium Onderzoek.

De volgende stap in het Vergelijkend Estuarium Onderzoek is om de uitkomsten van de kwantitatieve analyse te vertalen in limiterende factoren. In het volgende hoofdstuk worden een voorbeeld gegeven van een dergelijke vertaling voor de vier estuaria.



## 5 Aanwijzingen voor limiterende factoren in estuaria

### 5.1 Inleiding

Tijdens onze verkenning van de beschikbare gegevens zijn we verschillende aanwijzingen tegengekomen voor limiterende factoren. Dat zijn factoren die beperkingen opleggen aan de aanwezigheid van andere factoren. In het vorige hoofdstuk is bijvoorbeeld genoemd dat het maximale intergetijde areaal nooit groter kan zijn dan de totale oppervlakte van het estuarium. Deze limiet ligt nogal voor de hand, maar er zijn veel meer en complexere beperkende relaties denkbaar. Combinaties van limiterende factoren kunnen een verklaring bieden voor de verschillen tussen estuaria.

In dit hoofdstuk worden voorbeelden besproken van enkele van deze mogelijk limiterende factoren. Benadrukt wordt wederom dat het hier louter een test van de voorgestelde werkwijze betreft en aan onderstaande dus geen (al te) vakinhoudelijke waarde moet worden toegekend.

### 5.2 De grootte van het estuarium en de draagkracht

In het vorige hoofdstuk is een schijnbare relatie gepresenteerd tussen de grootte van de vier estuaria en het aantal vogels (figuur 4.3). Mogelijk is de grootte van het estuarium een belangrijke limiterende factor voor de draagkracht voor vogels. De relatie tussen de verhouding van het zoete en het zoute bereik in het estuarium (figuur 4.6) en de bijbehorende vogelsoorten suggereert eveneens een verband tussen de grootte van het habitat en het aantal vogels. Om eendergelijke relatie te gebruiken bij het onderzoeken van draagkracht is het nodig om een onderliggende verklaring te hebben. Dit betekent in dit geval dat de vraag beantwoord moet worden wat de relatie bepaalt tussen het oppervlak van het estuarium en de aantallen vogels.

### 5.3 Licht als belangrijkste limiterende factor voor primaire productie

Door verschillende auteurs is gesuggereerd dat licht een belangrijke limiterende factor is in intergetijdegebieden en estuaria. Dit is duidelijk voor de Humber, waar de hoge concentraties zwevend stof de primaire productie in de waterkolom beperken. Maar ook voor de Oosterschelde is gesuggereerd [A2 in A9] dat lichtindringing mede bepalend is voor de fytoplankton productie. Door [A5] is ook voor de Waddenzee gesuggereerd dat de lichtindringing bepalend is voor de primaire productie.

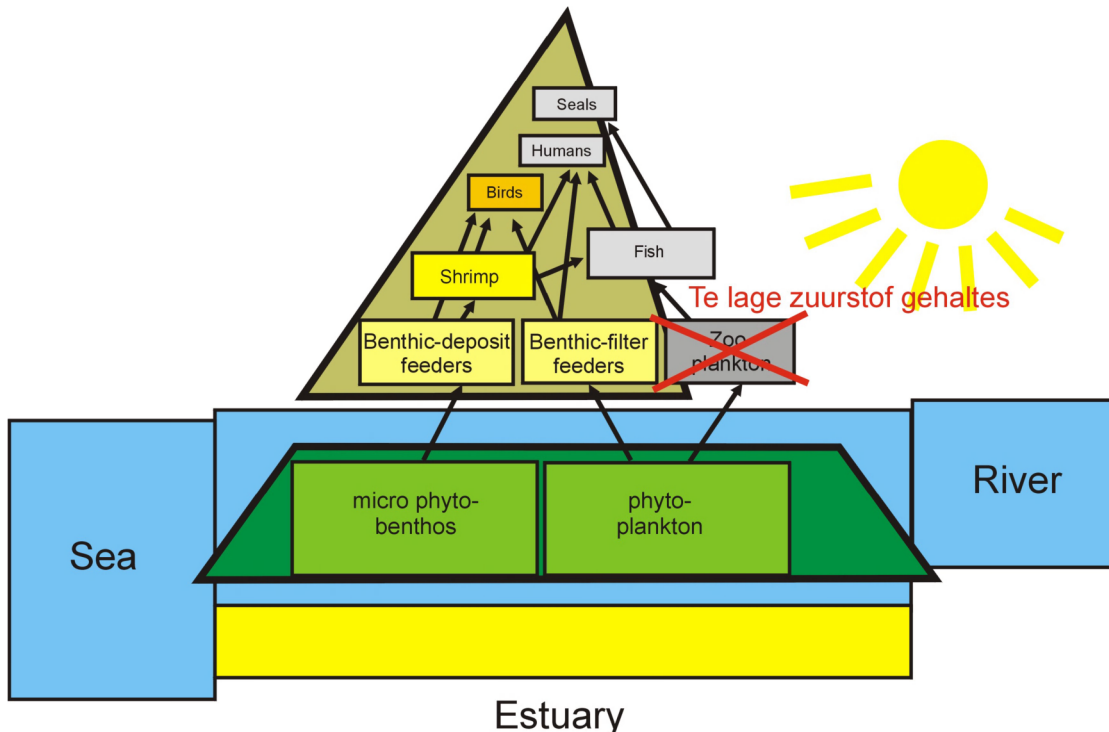
Licht als limiterende factor voor fyto-benthos is niet aangetroffen in de gebruikte literatuur. Het lijkt echter niet onredelijk om te veronderstellen dat ook hiervoor een direct verband bestaat. Voor zeegras is al heel lang duidelijk dat lichtindringing een van de belangrijke factoren is voor de productie.

Wanneer licht inderdaad een beperkende factor is voor de productie van fytoplankton, fyto-benthos en hogere planten, dan levert dit een relatie tussen het oppervlak van een estuarium en de primaire productie. Meer oppervlak betekent dan meer primaire productie, bij het constant blijven van mogelijk medebepalende parameters.

## 5.4 N-P-Si-O: nutriënten en zuurstof als limiterende factoren

Door Colijn en Cadée [A5] is gesteld dat de aandacht voor nutriënten gestuurd is door de mogelijkheden van beleidsmakers om deze factor te beïnvloeden. Hierdoor is de aandacht afgeleid van andere limiterende factoren zoals de eerder genoemde lichtindringing. De hoeveelheid gegevens, literatuur en inzichten over nutriënten is in ieder geval overweldigend. Ondertussen is ook duidelijk geworden dat niet één van de nutriënten N, P en Si de primaire productie in het hele estuarium beperkt. Si-limitatie kan optreden in het meest mariene bereik, maar beperkt daar alleen de groei van diatomeeën [A6]. P-limitatie kan optreden in het zoete bereik van estuaria en N-limitatie wordt tegenwoordig als dominante factor gezien in de mariene delen [A7].

Zuurstof is geen nutriënt, maar zuurstof of beter zuurstofarme of zuurstofloze omstandigheden hebben wel een belangrijke invloed op soorten en biomassa. Lage zuurstofgehalten beperken direct het voorkomen van verschillende organismen, zoals vissen, garnalen en schelpdieren. De beperkingen op de ene soort werken via de voedselketen ook door op andere soorten. In figuur 5.1 is geïllustreerd hoe de beperking door zuurstof van het zoöplankton doorwerkt in de voedselketen. Zuurstofarme en -loze condities treden op in delen van estuaria waar meer organisch materiaal wordt geoxideerd dan zuurstof wordt geproduceerd of aangevoerd. Deze situatie treedt op in een deel van het stroomgebied van de Seine en de Schelde. Het effect hoger in de voedselketen strekt zich uit in de aangrenzende delen van het estuarium. Het voedsel voor andere organismen komt namelijk niet of juist wel beschikbaar in de aangrenzende gebieden. In estuaria met stratificatie, zoals Chesapeake Bay zijn de bodemlagen vatbaar voor zuurstof beperkingen.



**Figuur 5.1:** De 'bio-reactor' met voedselpiramide waarvan een deel wegvalt door de beperkingen die zuurstofloze en -arme condities opleggen aan de aanwezigheid van zoöplankton

## 5.5 Van primaire productie tot draagkracht: het belang van de voedselketen

De bovenstaande paragrafen over lichtlimitatie en nutriënten geven een eenvoudig beeld van estuaria: het estuarium is een akker waarbij de "mest" en het licht de groei bepalen. Maar soms wordt de primaire productie soms vrijwel direct volledig opgegeten: de akker uit het voorbeeld staat vol met geiten die ieder sprietje te grazen nemen. Deze vergelijking is de inleiding tot de belangrijke vraag of de primaire productie wordt gecontroleerd door de consumptie (top-down, bijvoorbeeld in [W31]), of dat de primaire productie de consumptie beperkt (bottom-up). Het kan ook zijn dat de productie en consumptie (binnen een zekere bandbreedte) weinig met elkaar te maken hebben: de relatie is dan ontkoppeld [A8]. In de literatuur hebben wij aanwijzingen gevonden dat alle drie de mechanismen in estuaria aan de orde kunnen zijn.

Voor een goed begrip van de limiterende factoren in de verschillende schakels van de voedselketen (zoals schematisch weergegeven in figuur 5.1) moet duidelijk worden hoe de schakels verbonden zijn. Kennis van de schakels in de voedselketen betekent dat ook duidelijk moet zijn of de relatie top-down, bottom-up of ontkoppeld is.

### Voedselkwaliteit

Foeragerende dieren kunnen een limiterend effect hebben op het beschikbare voedsel (bij een top-down relatie), maar ze kunnen ook de kwaliteit van het voedsel beïnvloeden. In verschillende studies zijn aanwijzingen gevonden voor het selectief foerageren. Filterfeedende schelpdieren hebben bijvoorbeeld aanwijsbare effecten op de grootte (en aantallen) zoöplankton (driehoeksmosselen in het zoete bereik van de Seine [S10]) en op het fytoplankton (Japanse oesters in de Oosterschelde [A9]).

Selectieve predatie kan de voedselketen beïnvloeden, doordat de kwaliteit van het voedsel voor andere soortgroepen wordt beïnvloedt. Ook kan predatie van (planktonische) larven plaatsvinden, zodat hele onderdelen van de voedselketen worden gedecimeerd (figuur 5.2).

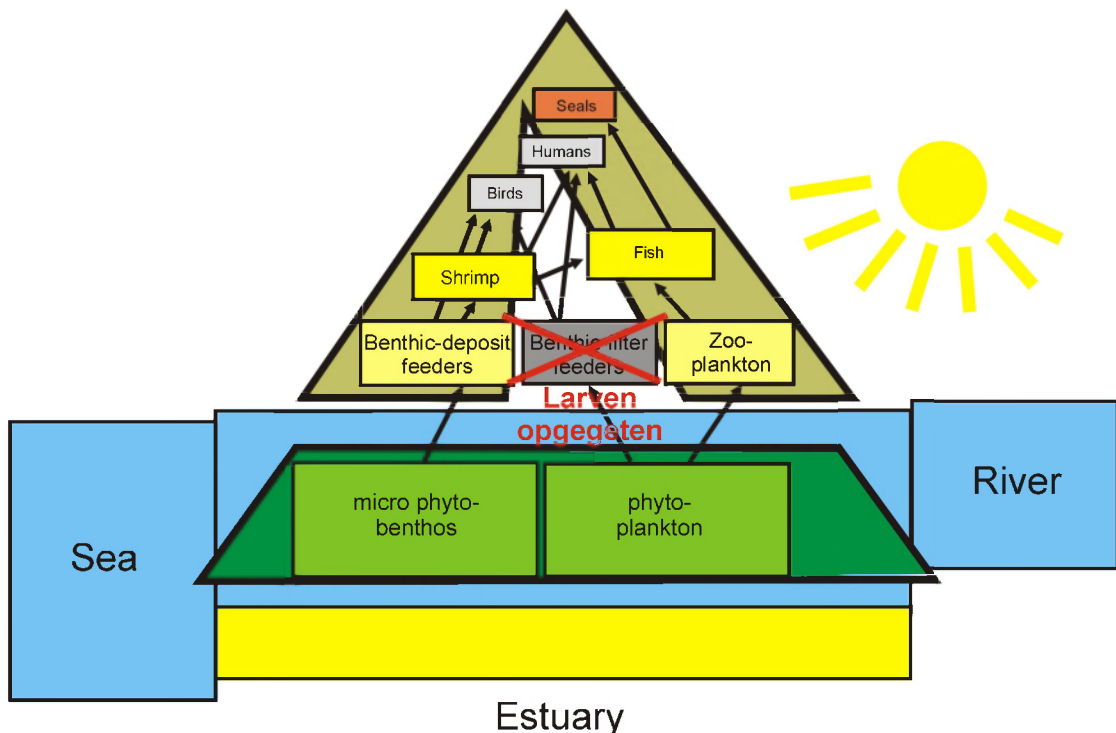
Het voorgaande laat zien dat vanuit de bestaande vakliteratuur en aangevuld door inhoudelijk specialisten relaties kunnen worden gevonden, die ingevuld moeten worden voor de estuaria die in het Vergelijkend Estuarium Onderzoek zullen worden meegenomen.

## 5.6 Schorren en zoetwatermoerassen

Het is niet ongebruikelijk om schorren en zoetwatermoerassen buiten beschouwing te laten in discussies over estuaria. In [A11] zijn bijvoorbeeld de schorren van het Verdrongen land van Seaftinge bewust weggelaten uit bepaalde vergelijkingen. Dit is vanuit de biologie te begrijpen, omdat planten in plaats van eencelligen de primaire producenten zijn.

Maar schorren en zoetwatergetijdemoerassen zijn een foerageer-, rust- en broedgebied voor verschillende vogelsoorten. Als zodanig bepalen ze mede de draagkracht voor steltlopers en andere kustvogels in estuaria. Dit is bijvoorbeeld onderzocht in Delaware Bay [A10], waar deze milieus belangrijke onderdelen vormen van het ecosysteem. Verder bestaan in de morfologie en de chemie echter duidelijke argumenten om deze gebieden intrinsiek in de discussie te betrekken. Schorren en zoetwatermoerassen maken deel uit van het kombergingsgebied van de estuaria en hebben invloed op waterbeweging. Ook

vormen schorren een belangrijke 'sink' voor sedimenten [W8]. De toename van het schoroppervlak gaat vaak direct ten koste van het intergetijdeareaal (met de bijbehorende gevolgen voor de ecologie). Schorren en moerassen vormen zeer belangrijke (maar nog niet volledig doorgronde) onderdelen in de nutriëntencyclus van estuaria. Dit geldt zowel voor N [W11], als voor Si [W10].



**Figuur 5.2:** De 'bio-reactor' met voedselpiramide waarvan een deel wegvalt door de selectieve predatie van (de larven) van bepaalde filterfeeders.

## 5.7 De bruikbaarheid van limiterende factoren in het Vergelijkend Estuarium Onderzoek

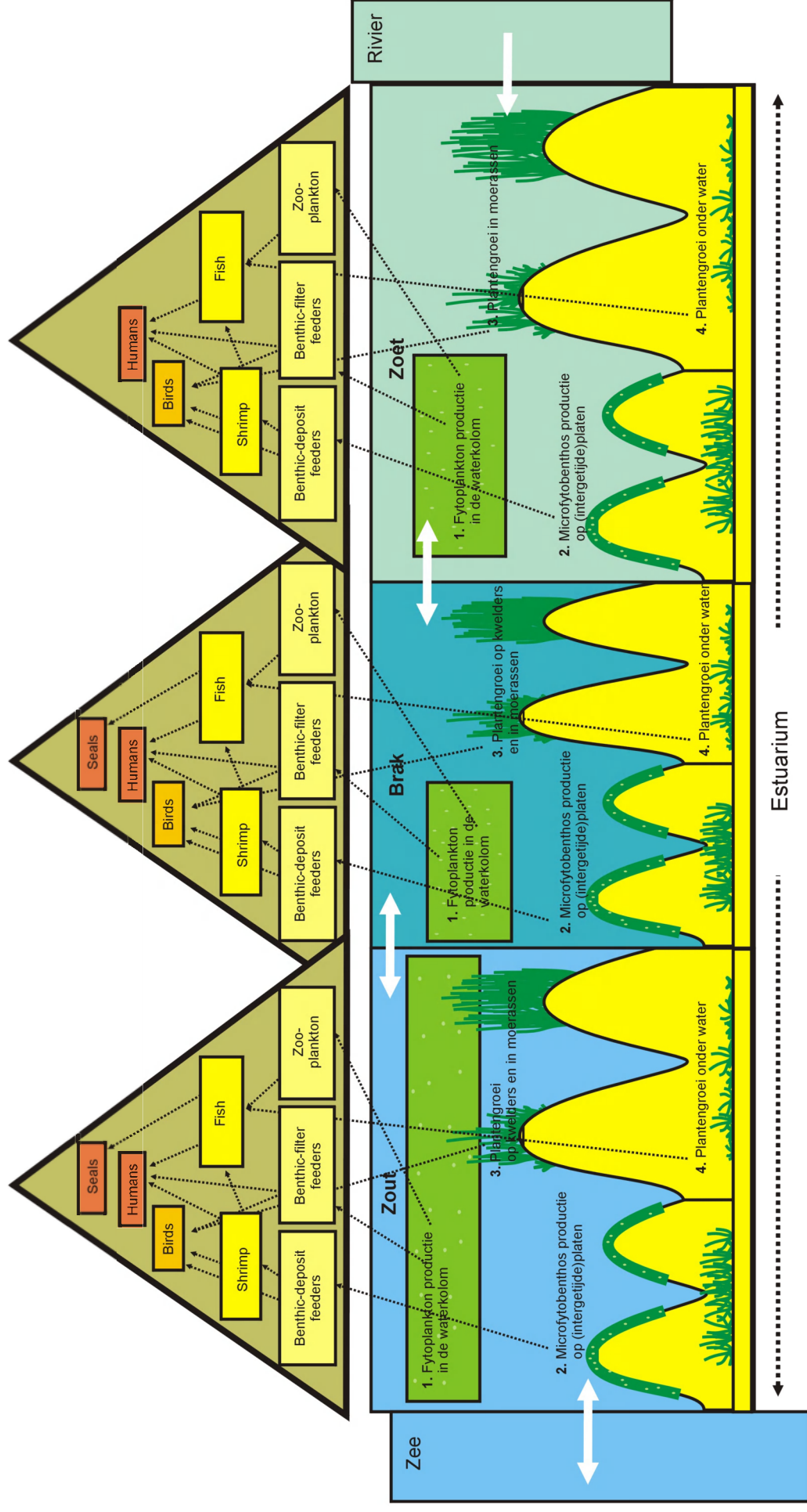
In de verkenning is gebleken dat in verschillende studies aanwijzingen kunnen worden gevonden voor het optreden van limiterende factoren in estuaria. De kwantitatieve vergelijking van estuaria kan daarnaast nieuwe aanwijzingen opleveren voor verbanden tussen de ene en de andere factor. De vergelijking van estuaria levert waarschijnlijk meer inzichten in de processen die aan de limiterende factoren ten grondslag liggen.

De zeer beperkte vergelijking van de vier estuaria levert aanwijzingen op voor de hiërarchie in de factoren die de draagkracht van estuaria bepalen. Sommige factoren hebben meer directe invloed op de draagkracht dan andere factoren. Dit wordt geïllustreerd aan de hand van een schets van de 'estuariene bioreactor'. In figuur 5.3 is een uitbreiding geschetst van de 'estuariene bioreactor' uit figuur 1.2. Deze uitgebreide 'bioreactor' heeft een driedeling op basis van saliniteit (zoals weergegeven in figuur 4.1). Verder is het aantal compartimenten waar de primaire productie plaatsvindt uitgebreid tot vier, zoals eerder getoond in figuur 4.2. Per saliniteitszone is een voedselpiramide geschetst, waarmee figuur 5.3 de optelsom is van de figuren 1.2, 4.1 en 4.2. Daarmee is de schets in figuur 5.3 al zeer complex, hoewel deze nog lang niet compleet is. Dit blijkt bijvoorbeeld al uit het ontbreken van (de fluxen van) nutriënten in de figuur.

De belangrijkste indeling in figuur 5.3 is de driedeling volgens de saliniteit. Dit levert een voorbeeld van de hiërarchie in factoren. De grootte van het zoute, brakke en zoete deel wordt namelijk bepaald door de totale grootte van het bekken, de grootte van het getij en de grootte van de rivierafvoer (de laatste twee kunnen worden gecombineerd in het estuariumgetal). Van de factoren wordt de grootte van het estuarium (het waterbekken) bepaald door de ondergrond (de accommodatieruimte), de zeespiegel en het afgezette sediment. De grootte van het getij wordt voor een belangrijk deel opgelegd door het getij aan de zeezijde van het estuarium. De grootte van het bekken, het getij aan de rand van het bekken en de rivierafvoer staan bovenaan in de hiërarchie van factoren. Het ontbreken van een van deze factoren betekent feitelijk dat er geen sprake is van een estuarium.

Ook voor andere aspecten van estuaria kan een hiërarchie worden gevonden in de factoren. Een voorbeeld is de bijdrage van de primaire productie door kwelders en moerassen en het microphytobenthos (2 en 3 in de drie saliniteitszones van figuur 5.3). De bepalende factor is de aanwezigheid van inter- en supragetijde areaal. Zelfs als aan alle andere voorwaarden wordt voldaan, bestaan deze compartimenten niet in estuaria zonder inter- en supragetijde areaal. Vandaar dat de factor inter- en supragetijde areaal hoog in de hiërarchie van bepalende factoren voor estuaria staat.

Het is belangrijk om in het Vergelijkend Estuarium Onderzoek eerst deze hiërarchie in kaart te brengen en te gebruiken bij de analyse van de limiterende factoren. De hiërarchie in factoren wordt overigens deels bepaald door het gezichtspunt van de onderzoeker. Wat in de ene inhoudelijke discipline wordt beschouwd als een overheersende factor, kan vanuit het perspectief van een andere discipline een marginale rol spelen. Het is daarom van belang om gezamenlijk overeenstemming te bereiken over de hiërarchie of hiërarchieën.



**Figuur 5.3:** Een meer uitgebreide en daarmee complexe weergave van de estuariene 'bio-reactor' met driedeling op basis van saliniteit (zout-brak-zoet), vier compartimenten met primaire productie en de voedselpiramides.

## 6 Haalbaarheid Vergelijkend Estuarium Onderzoek

### 6.1 Inleiding

In het verleden zijn in verschillende EU projecten deelaspecten van estuaria en getijdemilieus vergeleken [onder andere A11 & W12]) en dit heeft al veel bruikbare kennis van estuaria opgeleverd. Maar het onderzoek is hiermee nog niet klaar. De vergelijkingen zijn altijd beperkt geweest tot deelaspecten van estuaria. Onderzoek waarin het complete estuarium, van de vorm van het bekken tot aan de top van de voedselketen, wordt vergeleken ontbreekt tot nu toe. Een onderzoek dat zoveel aspecten van estuaria met elkaar vergelijkt kan leiden tot nieuwe inzichten over de draagkracht van estuaria.

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste bevindingen van deze verkenning samengevat.

### 6.2 Beschikbaarheid van gegevens

Deze verkenning heeft in korte tijd (enkele weken) al een grote hoeveelheid gegevens opgeleverd. Dit wijst er op dat voldoende gegevens beschikbaar zijn voor het uitvoeren van een Vergelijkend Estuarium Onderzoek. Het lijkt goed mogelijk om voor een groter aantal estuaria de gegevens te verzamelen. Een belangrijke aanvulling op de gegevens kan worden gerealiseerd door het benaderen en opzoeken van beheers- en onderzoeksinstellingen. Dit zal waarschijnlijk leiden tot een meer complete dataset. Om de basisgegevens voor de morfologie en de hydrodynamica vergelijkbaar te maken is het aanbevolen een beperkt aantal gegevensbewerkingen uit te voeren. Hiermee kan de data worden gestandaardiseerd. Dit zal de kwaliteit van de dataset op het gebied van arealen en volumes ten goede komen.

De verplichtingen die voortkomen uit EU-richtlijnen zijn aanleiding voor het beschikbaar komen van gestandaardiseerde informatie over waterkwaliteit, vogels en habitats. Dit geldt ook voor andere internationale afspraken (RAMSAR, OSPAR). Het is daarbij belangrijk om te controleren welke definities zijn gehanteerd voor de begrenzingen van (delen van) estuaria en op welke gegevens de gerapporteerde data zijn gebaseerd.

Het is belangrijk dat naast de eigenlijke gegevens ook de metagegevens beschikbaar komen in het onderzoek. Met deze informatie kan worden bepaald wat de kwaliteit van de gegevens is. De kwaliteit van de gegevens bepaalt mede de kwaliteit van de vergelijking.

### 6.3 Vergelijken

In deze verkenning zijn vier estuaria vergeleken, waarbij de globale beschrijving al direct aanwijzingen oplevert voor overeenkomsten en verschillen. Op basis van de beschrijvingen kan meer begrip ontstaan van de processen en mechanismen die de onderlinge relaties tussen de factoren bepalen.

De kwantitatieve analyse en vergelijking van estuaria levert mogelijk ook nieuwe inzichten in de onderlinge relaties in estuaria. Bij uitgebreidere datasets kunnen verbanden met statistische methoden worden achterhaald. De statistische analyses worden zinvoller en waardevoller naarmate de gegevensreeksen uitgebreider en beter vergelijkbaar zijn.

Gevoelsmatig is een vergelijking met estuaria die in grootte en ligging overeenkomen met het Schelde-estuarium het meest zinvol voor het ontwikkelen van de lange termijn visie. Voor het achterhalen van trends en relaties is het echter beter om ook estuaria die een orde van grootte kleiner of groter zijn in de vergelijking te betrekken. Kleiner of groter heeft betrekking op de fysieke grootte, maar ook op de verhouding plaat en ondiep water, de invloed van de rivier en de populaties van schelpdieren, vissen, vogels en zoogdieren. In grafiek 4.2 is zichtbaar wat het effect is van het betrekken van de veel grotere Chesapeake Bay in de vergelijking.

Het achterhalen van kwantitatieve verbanden om daarmee de limiterende factor vast te stellen lijkt veelbelovend. De waarde die kan worden toegekend aan de limiterende factoren is mede afhankelijk van het begrip van de onderliggende processen en mechanismen. Uit deze verkenning blijkt ook dat sprake is van een hiërarchie in de factoren. Sommige factoren hebben meer directe invloed op de draagkracht dan andere factoren.

Uiteraard is het wel van groot belang dat een panel van inhoudelijk specialisten het onderzoek aansturen. Zij kunnen op grond van hun kennis en ervaring mogelijke verbanden aangeven. En in teamverband kunnen wellicht nieuwe vergelijkingen worden opgesteld.

## **6.4 De toegevoegde waarde van Vergelijkend Estuarium Onderzoek**

Het Vergelijkend Estuarium Onderzoek heeft op verschillende manieren een meerwaarde ten opzichte van het meer traditionele onderzoek dat zich toespitst op één onderzoeksveld of één discipline. Het Vergelijkend Estuarium Onderzoek:

- Maakt verbanden en relaties inzichtelijk binnen en tussen de fysische, biologische, chemische en antropogene elementen van estuaria; en
- Omvat daarmee ook interacties die op voorhand onbekend waren;
- Geeft inzicht of de gevonden relaties, processen en mechanismen algemeen gelden voor estuaria of dat deze gebiedsspecifiek zijn.

Door in het onderzoek ook de menselijke activiteiten te betrekken levert het voorbeelden op van de effecten van menselijke ingrepen.

De inzichten in de relaties, processen en mechanismen kunnen in het Vergelijkend Estuarium Onderzoek niet verder worden uitgediept. Het zal indicaties opleveren voor verder (expert) onderzoek van deze verbanden. Procesgericht mono-disciplinair onderzoek blijft dus nodig. Deze aanpak lijkt op de cascade van numerieke modellen in de geomorfologie. Zo zijn er de gedragsmodellen die geparametriseerde fysische kennis op hoog geaggregeerd niveau geven. Dergelijke modellen lenen zich voor studies op grotere tijd en ruimte schalen. Maar de onderliggende fysica wordt bestudeerd met zogenaamde procesmodellen. Grote verbanden zoeken vraagt om specifiek gereedschap. Mono-disciplinaire gereedschappen zijn nodig voor de onderbouwing van de (deel)resultaten.

## 6.5 Risico's van het Vergelijkend Estuarium Onderzoek

In het Plan van Aanpak voor het Vergelijkend Estuarium Onderzoek zijn een aantal risico's benoemd die zouden kunnen leiden tot problemen bij de uitvoering van het project [A1]. Deze risico's betreffen de beperkte beschikbaarheid van gegevens, de noodzaak om gegevens te kopen en de (te) grote variatie in het type en de kwaliteit van de aangeleverde data. Deze verkenning heeft duidelijk gemaakt dat de beschikbaarheid van data waarschijnlijk voldoende is, zodat dit risico laag wordt ingeschat.

Tijdens deze verkenning is daarbij nog een risico in beeld gekomen. Bij de uitvoering is namelijk gebleken dat het vergelijkende karakter vrijwel automatisch betekent dat gedetailleerde kennis, lopende discussies en locatiespecifieke informatie niet kunnen worden meegenomen. Dit is inherent aan het karakter van de studie dat is toegespitst op het multi-disciplinaire vergelijken van estuaria. Lezers uit één vakinhoudelijke discipline of met specialistische kennis van een gebied zullen hun informatie en discussies missen. Deze lezers zullen daardoor twijfelen aan de (toegevoegde) waarde van het Vergelijkend Estuarium Onderzoek. Het risico is daarmee dat de uitkomsten van het Vergelijkend Estuarium Onderzoek in twijfel worden getrokken vanuit de verschillende vakinhoudelijke disciplines. Bij de aanbevelingen zal worden aangegeven hoe dit risico kan worden beperkt.

## 6.6 Haalbaarheid

Het uitvoeren van deze verkenning heeft laten zien dat het mogelijk is om in een kort tijdbestek relatief veel informatie te verzamelen over verschillende estuaria. De verwachting is dat voldoende informatie van estuaria en parameters beschikbaar is voor het uitvoeren van een Vergelijkend Estuarium Onderzoek.

De voorlopige kwantitatieve analyse en vergelijking van de vier estuaria, zoals uitgevoerd in de voorliggende verkenning, geeft een indicatie van het type informatie dat een vergelijking op kan leveren. Verwacht wordt dat het Vergelijkend Estuarium Onderzoek op deze wijze nieuwe inzichten kan opleveren in de draagkracht van estuaria. Deze kennis zal bijdragen aan het vergroten van de kennis van het Schelde estuarium en het formuleren van een lange termijn visie.

Het is echter niet zo dat het uitvoeren van een Vergelijkend Estuarium Onderzoek het antwoord zal geven op alle inhoudelijke vragen en beheersvragen rond het Schelde-estuarium. De complexe relaties tussen morfologie, waterbeweging, chemie, ecologie (figuur 5.3) en het menselijke gebruik, maken het onwaarschijnlijk dat dit in een eenvoudig model is te vatten. Maar de vergelijking kan wel nieuwe inzichten bieden die anders pas later of geheel niet ontstaan, omdat de onderzoeksinspanning alleen op het Schelde-estuarium zou zijn geconcentreerd.



## 7 Conclusies en aanbevelingen

### 7.1 Conclusies

In deze verkenning staat het vaststellen van de haalbaarheid en bruikbaarheid van het Vergelijkend Estuarium Onderzoek voor het beleid en het beheer van het Schelde-estuarium voorop. De voorliggende Pilot Vergelijkend Estuarium Onderzoek heeft daarmee twee doelen :

1. Onderzoeken in hoeverre informatie van estuaria en parameters beschikbaar is voor het uitvoeren van vergelijkend estuarium onderzoek;
2. Onderzoeken of de analyse en vergelijking van estuaria, zoals voorgesteld in het plan van aanpak, bruikbare informatie oplevert voor het Schelde estuarium

Deze verkenning is een vingeroefening voor de uitvoering van het daadwerkelijke Vergelijkend Estuarium Onderzoek. De uitspraken of voorlopige conclusie van vakinhoudelijke aard in dit rapport doen feitelijk niet ter zake. Op de uitkomsten van eerste vergelijking van de vier estuaria en de aanwijzingen voor limiterende factoren wordt derhalve in deze conclusies niet ingegaan.

Hieronder worden de conclusies gepresenteerd met betrekking tot de twee doelen:

#### 1. Beschikbaarheid gegevens

Het uitvoeren van deze verkenning heeft laten zien dat het mogelijk is om in een kort tijdbestek relatief veel kwantitatieve informatie te verzamelen over verschillende estuaria. Onze verwachting is dat ook voor andere estuaria voldoende gegevens kunnen worden verzameld. Consequent zoeken van ontbrekende waarden en het benaderen van beheers- en onderzoeksinstellingen zal leiden tot een dataset die een kwantitatieve analyse en vergelijking mogelijk maakt.

#### 2. Bruikbare informatie voor het Schelde-estuarium

De voorlopige kwantitatieve analyse en vergelijking van de vier estuaria uit de voorliggende verkenning geeft een indicatie van het type informatie dat een vergelijking op kan leveren. Onze verwachting is dat de vergelijking en analyse van de beschikbare informatie waarschijnlijk nieuwe inzichten zal opleveren in de relaties binnen estuaria. Deze relaties zullen deels kwantitatief zijn en deels kwalitatief. Een uitgebreide set gegevens van tenminste een tiental estuaria in combinatie met een statistisch betekenisvolle analyse lijkt mogelijk als onderdeel van het Vergelijkend Estuarium Onderzoek. Verwacht wordt dat het Vergelijkend Estuarium Onderzoek op deze wijze nieuwe inzichten kan opleveren in de draagkracht van estuaria. Deze kennis zal bijdragen aan het vergroten van de kennis van het Schelde estuarium en het formuleren van een lange termijn visie.

Samenvattend kan op basis van de verkenning worden gesteld dat het uitvoeren van het Vergelijkend Estuarium Onderzoek haalbaar lijkt te zijn en waarschijnlijk bruikbare resultaten zal opleveren. Doordat het Vergelijkend Estuarium Onderzoek zich over de grenzen van vakgebieden uitstrekt zullen ook de relaties over deze grenzen strekken. Deze relaties kunnen worden toegepast in het Schelde-estuarium en leveren aanknopingspunten voor duurzaam beleid en beheer. Ook het vergelijken van het

huidige gebruik en managementstrategieën in andere estuaria zal bruikbare informatie opleveren voor het Schelde-estuarium.

## 7.2 Aanbevelingen

Het Vergelijkend Estuarium Onderzoek zal over de grenzen van vakgebieden plaats moeten vinden. Omdat het onderzoek wordt gericht op het vergelijken, wordt voorbijgegaan aan sommige vakinhoudelijke aspecten, lopende discussies en locatiespecifieke relaties. Bij het beoordelen van de resultaten door vakinhoudelijke en gebiedsgerichte experts komen dan automatisch tekortkomingen op die gebieden aan het licht. Een deel van de aanbevelingen is gericht op het beperken van dit risico.

- Het verdient aanbeveling om het Vergelijkend Estuarium met een multidisciplinair onderzoeksteam uit te voeren, waarbij de teamleden gevoel hebben voor elkaar's werkelden en expertise. Op deze wijze kunnen vanuit alle disciplines en onderzoeksniches gegevens worden verzameld en op waarde worden geschat. Ook kan dan al binnen het onderzoeksteam worden gediscussieerd over relaties en limiterende factoren die de grenzen van vakgebieden overstijgen;
- Het onderzoeksteam moet regelmatig en daadwerkelijk kennis uitwisselen en discussies voeren, zodat het resultaat de optelsom van studies uit verschillende discipline overstijgt;
- Zorg voor voldoende doorlooptijd om gegevens te achterhalen, te standaardiseren, te vergelijken en aan te vullen;
- Bekijk een groter aantal estuaria (meer dan tien) met een grote bandbreedte aan fysische, chemische en biologische kenmerken omdat daarmee verbanden beter te achterhalen zijn;
- Betrek de Waddenzee en de Oosterschelde in de vergelijking. Hierover is veel informatie dicht bij huis beschikbaar [o.a. in A12]. Weliswaar zijn deze gebieden geen estuaria pur sang, ze delen wel veel karakteristieken met het Schelde-estuarium;
- De Eems-Dollard hoort ook bij de te betrekken estuaria;
- Neem ook de Amerikaanse estuaria mee, ondanks de complexe vergelijking van de bovenkant van de voedselpiramide, kunnen veel aspecten en inzichten wel worden vergeleken.
- Zorg voor een expertgroep of begeleidingsgroep waarin verschillende onderzoeksdisciplines en kenners van meerdere estuaria zijn betrokken. Dit om te voorkomen dat de discussies tussen het onderzoeksteam en de begeleidingsgroep betrekking zullen hebben op één of enkele estuaria of onderzoeksvelden.
- Leg de concept(en) van de rapportage deze expertgroep of begeleidingsgroep. Het commentaar vanuit de verschillende invalshoeken moet daarna niet alleen door de auteur(s) worden verwerkt, maar zou eerst door de onderzoekers en auteurs samen besproken moeten worden zodat de inzichten kunnen worden gecombineerd.

## Referenties

- A1 Alkyon, 2006. T.o.R. 'Carrying capacity and inter-tidal morphology of the Westerschelde'. Alkyon i.s.m. Grontmij|Aquasense en Ecosystem management research Group Universteit Antwerpen, Alkyon rapport A1676.
- A2 Wetsteyn, L.P.M.J., R.N.M. Duin, J.C. Kromkamp, M.J. Latuhihin, J. Peene, A. Pouwer, & T.C. Prins, 2003. Verkenning draagkracht Oosterschelde : Onderzoek naar veranderingen en trends in de Oosterschelde in de periode 1990 t/m 2000., Rapport Rijkswaterstaat RIKZ/2003.049.
- A3 van Rijn, L.C., 2003. Berekening van de bodemruwheid ten behoeve van het waterbewegingsmodel SCALWEST voor de Westerschelde. WL|Delft Hydraulics rapport Z3685.
- A4 van de Kam, J., B. Ens, T. Piersma & L. Zwarts, 1999. Ecologische atlas van de Nederlandse wadvogels. Schuyt & Co Haarlem.
- A5 Colijn, F. & Cadée, G. C., 2003. Is phytoplankton growth in the Wadden Sea light or nitrogen limited?. Netherlands Journal of Sea Research 49, 83-93.
- A6 Soetaert, K., J.J. Middelburg, C. Heip, P. Meire, S. Van Damme & T. Maris, 2006. Long-term change in dissolved inorganic nutrients in the heterotrophic Scheldt estuary (Belgium, The Netherlands). Limnology and Oceanography 51, 409-423.
- A7 Howarth, R. W. & R. Marino, 2006. Nitrogen as the limiting nutrient for eutrophication in coastal marine ecosystems: Evolving views over 3 decades. Limnology and Oceanography 51, 364-376.
- A8 Hamilton, D. J., A. W. Diamond & P. G. Wells, 2006 . Shorebirds, snails, and the amphipod, *Corophium volutator*, in the upper Bay of Fundy, Canada: top-down versus bottom-up factors, and the influence of compensatory interactions on mudflat ecology. Hydrobiologia 567, 285-306.
- A9 Geurts van Kessel, A.J.M., C. Berrevoets, J. Consemulder, D. de Jong, B. Kater, D. van Maldegem, T. Prins, E. Stikvoort, F. Twisk, B. Wetsteyn, & L. Withagen, 2004. Verlopend tij: Oosterschelde, een veranderend natuurmonument. Rapport Rijkswaterstaat RIKZ/2004.028.
- A10 Burger J., L. Niles, & K. Clark, 1996. Importance of Beach Mudflat and Marsh Habitats to Migrant Shorebirds on Delaware Bay. Biological Conservation 79, 283-292.
- A11 Cadée, N., 1994. Typologie van estuariene systemen: Geografische referenties voor het Schelde estuarium. Rapport Rijkswaterstaat RIKZ RIKZ/94.048.
- A12 Ens, B.J., A.C. Smaal & J. de Vlas, 2004. The effects of shellfish fishery on the ecosystems of the Dutch Wadden Sea and Oosterschelde. Alterra-rapport 1011. RIVO-rapport C056/04 / RIKZ-rapport RKZ/2004.031.
- A13 Eijssink, W.D. & E.J. Biegel, 1992, Impact of sea level rise on the morphology of the Wadden Sea in the scope of its ecological function – investigation on empirical relations. ISOS\*2 project, phase 2. WL | Delft Hydraulics report H1300.
- A14 Alkyon, 2006, Plaatmorfologie Westerschelde; Veranderingen in de plaatmorfologie van de Westerschelde en de gevolgen voor het steltloperhabitat, Alkyon rapport A1774.

### Schelde-estuarium

- W1 Kater, B.J. (redactie), 2005. Ontwikkelingen in de kennis van de morfodynamica en ecologie van de Westerschelde. Rapport Rijkswaterstaat RIKZ/2005.034.
- W2 Projectdirectie ontwikkelingsschets Schelde-estuarium (ProSes), 2003. Strategisch milieueffectenrapport Ontwikkelingsschets 2010 Schelde-estuarium.

- W3 Meire, P., T. Ysebaert, S. Van Damme, E. Van den Bergh, T. Maris & E. Struyf, E. 2005. The Scheldt estuary: a description of a changing ecosystem. *Hydrobiologia* 540, 1-11.
- W4 Soetaert, K. & P.M.J. Herman, 1995. Estimating estuarine residence times in the Westerschelde (The Netherlands) using a box model with fixed dispersion coefficients. in: Heip, C.H.R. & P.M.J. Herman (redactie). 1995. Major biological processes in European tidal estuaries. *Hydrobiology* 110, 215-224.
- W5 Van Damme, S., E. Struyf, T. Maris, T. Ysebaert, F. Dehairs, M. Tackx, C. Heip, & P. Meire, 2005. Spatial and temporal patterns of water quality along the estuarine salinity gradient of the Scheldt estuary (Belgium and The Netherlands): results of an integrated monitoring approach, in: Meire, P. & S. van Damme (redactie). 2005. Ecological structures and functions in the Scheldt Estuary: from past to future. *Hydrobiologia* 540, 29-45.
- W6 Chen, M., S. Wartel, G.T.M. Van Eck & D.C. Van Maldegem, 2005, Suspended matter in the Scheldt estuary, in: Meire, P. & S. van Damme (redactie). 2005. Ecological structures and functions in the Scheldt Estuary: from past to future. *Hydrobiologia* 540, 79-104.
- W7 Baeyens, W., B. van Eck, C. Lambert, R. Wollast, L. Goeyens, 1998. General description of the Scheldt estuary. *Hydrobiologia* 366, 1-14.
- W8 Nederbragt, G. en G.J. Liek, 2004, Beschrijving zandbalans Westerschelde en monding Rijkswaterstaat RIKZ Rapport RIKZ/2004.020.
- W9 Billen, G., J. Garnier & V. Rousseau, 2004. Nutrient fluxes and water quality in the drainage network of the Scheldt basin over the last 50 years. in: Meire, P. & S. van Damme (redactie). 2005. Ecological structures and functions in the Scheldt Estuary: from past to future. *Hydrobiologia* 540, 47-67.
- W10 Struyf, E., S. van Damme, B. Gribsholt & P. Meire, 2005. Freshwater marshes as dissolved silica recyclers in an estuarine environment (Schelde estuary, Belgium). in: Meire, P. & S. van Damme (redactie). 2005. Ecological structures and functions in the Scheldt Estuary: from past to future. *Hydrobiologia* 540, 69-77.
- W11 Gribsholt, B., H.T.S. Boschker, E. Struyf, M. Andersson, A. Tramper, L. De Brabandere, S. Van Damme, N. Brion, P. Meire, F. Dehairs, J.J. Middelburg & C.H.R. Heip, 2005. Nitrogen processing in a tidal freshwater marsh: a whole-ecosystem <sup>15</sup>N labeling study. *Limnology and Oceanography* 50, 1945-1959.
- W12 Heip, C. & P. Herman, 1995. Major biological processes in European tidal estuaries: a synthesis of the JEEP-92 Project, *Hydrobiologia*, 311, 1-7.
- W13 Kromkamp, J.C. & J. Peene, 2005, Changes in phytoplankton biomass and primary production between 1991 and 2001 in the Westerschelde estuary (Belgium/ The Netherlands), in: Meire, P. & S. van Damme (redactie). 2005. Ecological structures and functions in the Scheldt Estuary: from past to future. *Hydrobiologia* 540, 117-126.
- W14 Baeyens, W., M. Leermakers, M. De Gieter, H.L. Nguyen, K. Parmentier, S. Panutrakul, & M. Elskens, 2005. Overview of trace metal contamination in the Scheldt estuary and effect of regulatory measures. in: Meire, P. & S. van Damme (redactie). 2005. Ecological structures and functions in the Scheldt Estuary: from past to future. *Hydrobiologia* 540, 141-154.
- W15 Baeyens, W.; Monteny, F.; Van Ryssen, R.; Leermakers, M. (1998). A box-model of metal flows through the Scheldt estuary (1981-1983 and 1992-1995). *Hydrobiologia* 366, 109-128.
- W16 Bouezmarni, M. & R. Wollast, 2005. Geochemical composition of sediments in the Scheldt estuary with emphasis on trace metals. in: Meire, P. & S. van Damme (redactie). 2005. Ecological structures and functions in the Scheldt Estuary: from past to future. *Hydrobiologia* 540, 155-168.

- W17 Mubiana, V., D. Qadah, J. Meys & R. Blust, 2005. Temporal and spatial trends in heavy metal concentrations in the marine mussel *Mytilus edulis* from the Western Scheldt estuary (The Netherlands), in: Meire, P. & S. van Damme (redactie). 2005. Ecological structures and functions in the Scheldt Estuary: from past to future. *Hydrobiologia* 540, 169-180.
- W18 Baeyens, W., 1998. Preface to: Trace Metals in the Westerschelde Estuary. *Hydrobiologia* 366.
- W19 Baeyens, W., M. Elskens, G. Gillain & L. Goeyens, 1998. Biogeochemical behaviour of Cd, Cu, Pb and Zn in the Scheldt estuary during the period 1981-1983. *Hydrobiologia* 366, 15-44.
- W20 Baeyens, W., K. Parmentier, L. Goeyens, G. Ducastel, M. De Gieter & M. Leermakers, M., 1998. The biogeochemical behaviour of Cd, Cu, Pb and Zn in the Scheldt estuary: results of the 1995 surveys. *Hydrobiologia* 366, 45-62.
- W21 Baeyens, W., C. Meuleman, B. Muhaya, & M. Leermakers, 1998. Behaviour and speciation of mercury in the Scheldt estuary (water sediments and benthic organisms). *Hydrobiologia* 366, 63-79
- W22 Kromkamp, J., J. Peene, P. van Rijswijk, A. Sandee & N. Goosen, 1995. Nutrients, light and primary production by phytoplankton and microphytobenthos in the eutrophic, turbid Westerschelde estuary (The Netherlands). *Hydrobiologia* 311, 9-19.
- W23 de Jong, D.J. & V.N. de Jonge, 1995. Dynamics and distribution of microphytobenthic chlorophyll-a in the Western Scheldt estuary (SW Netherlands), in: Heip, C.H.R. & P.M.J. Herman (redactie). 1995. Major biological processes in European tidal estuaries. *Hydrobiology* 110, 21-30.
- W24 Goosen, N. K., P. Van Rijswijk & U. Brockmann, 1995. Comparison of heterotrophic bacterial production rates in early spring in the turbid estuaries of the Scheldt and the Elbe. *Hydrobiologia* 311, 31-42.
- W25 Lionard, M., K. Muylaert, D. Van Gansbeke & W. Vyverman, 2005. Influence of changes in salinity and light intensity on growth of phytoplankton communities from the Schelde river and estuary (Belgium/The Netherlands). in: Meire, P. & S. van Damme (redactie). 2005. Ecological structures and functions in the Scheldt Estuary: from past to future. *Hydrobiologia* 540, 105-115.
- W26 Tackx, M., F. Azémar, S. Boulétreau, N. De Pauw, K. Bakker, B. Sautour, S. Gasparini, K. Soetaert, S. van Damme & P. Meire, 2005. Zoöplankton in the Schelde estuary, Belgium and the Netherlands: long-term trends in spring populations. in: Meire, P. & S. van Damme (redactie). 2005. Ecological structures and functions in the Scheldt Estuary: from past to future. *Hydrobiologia* 540, 275-278.
- W27 Sautour, B. & J. Castel, 1995. Comparative spring distribution of zoöplankton in three macrotidal European estuaries. in: Heip, C.H.R. & P.M.J. Herman (redactie). 1995. Major biological processes in European tidal estuaries. *Hydrobiology* 110, 139-151.
- W28 Mees, J., N. Fockedeij & O. Hamerlynck, 1995. Comparative study of the hyperbenthos of three European estuaries. in: Heip, C.H.R. & P.M.J. Herman (redactie). 1995. Major biological processes in European tidal estuaries. *Hydrobiology* 110, 153-174.
- W29 Ysebaert T & P.M.J. Herman, 2002. Beschrijven, modelleren en voorspellen van bodemdieren in een estuariene omgeving. NIOO-CEME rapport 2002-6.
- W30 Ysebaert, T., M. Fettweis, P. Meire, & M. Sas, 2005. Benthic variability in intertidal soft-sediments in the mesohaline part of the Schelde estuary. in: Meire, P. & S. van Damme (redactie). 2005. Ecological structures and functions in the Scheldt Estuary: from past to future. *Hydrobiologia* 540, 197-216.

- W31 Maes, J., M. Tackx & K. Soetaert, 2005. The predation impact of juvenile herring *Clupea harengus* and sprat *Sprattus sprattus* on estuarine zoöplankton. in: Meire, P. & S. van Damme (redactie). 2005. Ecological structures and functions in the Scheldt Estuary: from past to future. *Hydrobiologia* 540, 225-235.
- W32 Meininger, P.L., R.H. Witte & J. Graveland, 2003. Zeezoogdieren in de Westerschelde: knelpunten en kansen. Rapport Rijkswaterstaat RIKZ RIKZ/2003.041.
- W33 ppeltans, W., A. Hannouti, S. van Damme, K. Soetaert, R. Vanthomme & M. Tackx, 2003. Zoöplankton in the Schelde estuary (Belgium/The Netherlands). The distribution of *Eurytemora affinis*: effect of oxygen?. *Journal of Plankton Research* 25, 1441-1445.
- W34 Muylaert, K. M. Tackx & W. Vyverman, 2005. Phytoplankton growth rates in the freshwater tidal reaches of the Schelde estuary (Belgium) estimated using a simple light-limited primary production model, in: Meire, P. & S. van Damme (redactie). 2005. Ecological structures and functions in the Scheldt Estuary: from past to future. *Hydrobiologia* 540, 127-140.
- W35 Berrevoets, C.M. & P.L. Meininger, 2004, Dijkverbeteringswerken langs de Westerschelde : aantalsveranderingen van watervogels, Rijkswaterstaat RIKZ, Rapport RIKZ/2004.027, 74 p.
- W36 Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2004, Zeehavens: Ankers van de economie; Nationaal Zeehavenbeleid 2005-2010, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Goederenvervoer.

### Seine

- S1 Lafite R. & L-A. Romana, 2001. A man-altered macrotidal estuary: the seine estuary (France): introduction to the Special issue. *Estuaries* 24, 939.
- S2 Durell, S.E.A. Le V. dit, R.A. Stillman, P. Triplet, C. Aulert, D. Ono dit Biot, A. Bouchet, S. Duhamel, S. Mayot, & J.D. Goss-Custard, 2005. Modelling the efficacy of proposed mitigation areas for shorebirds : a case study on the Seine estuary, France. *Biological Conservation* 123, 67-77.
- S3 Lesourd S., P. Lesueur J.C. Brun-Cottan J.P. Auffret N. Poupinet & B. Laignel, 2001. Morphosedimentary evolution of a macrotidal estuary subjected to human impact; the example of the Seine (France). *Estuaries* 24, 940-949.
- S4 Le Hir P., A. Ficht R. Silva Jacinto P. Lesueur J.P. Dupont I. Brenon B. Thouvenin & P. Cugier, 2001. Fine sediment transport and accumulation at the mouth of the Seine estuary (France). *Estuaries* 24, 950-953.
- S5 Garnier J., P. Servais, G. Billen, M. Akopian & N. Brion, 2001. Lower Seine river and estuary (France) carbon and oxygen budget during low flow. *Estuaries* 24, 964-976.
- S6 Dauvin, J-C. & N. Desroy, 2005. The food web in the lower part of the Seine estuary: a synthesis of existing knowledge. in: Meire, P. & S. van Damme (redactie), 2005. Ecological structures and functions in the Scheldt Estuary: from past to future. *Hydrobiologia* 540, 13-27.
- S7 Billen G., J. Garnier A. Ficht & C. Cun, 2001. Modelling the response of water quality in the Seine Estuary to human activity in its watershed over the last 50 years. *Estuaries* 24, 977-993.
- S8 Chiffolleau J-F., D. Auger, E. Chartier, P. Michel, I. Truquet, A. Ficht, J-L. Gonzalez & L-A. Romana L.-A., 2001. Spatiotemporal changes in cadmium contamination in the Seine Estuary (France). *Estuaries* 24, 1029-1040.
- S9 Miramand, P., T. Guyot, H. Rybarczyk, B. Elkaïm, P. Mouny, J-C. Dauvin, C. & Bessineton, 2001. Contamination of the biological compartment in the Seine estuary by Cd, Cu, Pb, and Zn. *Estuaries* 24, 1056-1065.

- S10 Akopian M., J. Garnier, P. Testard & A. Ficht. 2001. Estimating the benthic population of *Dreissena polymorpha* and its impact in the lower Seine River, France. *Estuaries* 24,1003-1014.

### **Humber**

- H1 EMPHASYS Consortium, 2000. Modelling estuary morphology and process; Final Report. Rapport TR 111.
- H2 Environment Agency, 2000. Planning for the Rising Tides; The Humber estuary Shoreline Management Plan. Environment Agency.
- H3 Environment Agency, 2005. Planning for the Rising Tides; The Humber Flood Risk Management Strategy; Consultation Document August 2005. Environment Agency.
- H4 Winn, P., 2004. Humber Estuary (United Kingdom) EUROSION Case Study. (<http://www.eurosion.org/shoreline/58humberestuary.html>)
- H5 Tappin, A.D., J.R.W. Harris, R.J. Uncles & D. Boorman, 2002. Potential modification of the fluxes of nitrogen from the Humber Estuary catchment (UK) to the North Sea in response to changing climate patterns and agricultural inputs. *Hydrobiologia* 475/476, 65-77.
- H6 Williams, A., 2001. The Estuaries Research Programme Phase 1; Predictive Methods Report. Posford Duvivier report.
- H7 Norton, P. & I. Townend, 2000. Humber estuary synthesis paper, in [H1].
- H8 Uncles, R.J., S.J. Lavender & J.A. Stephens, 2001. Remotely Sensed Observations of the Turbidity Maximum in the highly Turbid Humber Estuary, UK. *Estuaries* 24, 745-755.
- H9 Sanders, R., T. Jickells, S. Malcolm, J. Brown, D. Kirkwood, A. Reeve, J. Taylor, T. Horrobin, T. & C. Ashcroft, 1997. Nutrient fluxes through the Humber estuary. *Journal of Sea Research* 37, 3-23.
- H10 Jickells, T., J. Andrews, R. Cave, & D. Parkes, 2003. Biogeochemical valuation of intertidal areas – a case study of the Humber estuary. In *Wetland Valuation: State of the art and opportunities for further development*. Proceedings of a workshop organised for the Environmental Agency by Environmental Futures Ltd. and CSERGE. University of East Anglia, Norwich UK. 19th March 2003.
- H11 Cayford J & R. Waters, 1996. Population estimates for waders (Charadrii) wintering in Great Britain, 1987/1988–1991/1992. *Biological Conservation* 77, 1–17.
- H12 Rehfisch, M.M., G.E. Austin, M. Armitage, P. Atkinson, S.J. Holloway, A.J. Musgrove & M.S. Pollitt, 2003. Numbers of wintering waterbirds in Great Britain and the Isle of Man (1994/95-1998/99): II. Coastal waders (Charadrii). *Biological Conservation* 112, 329-341.

### **Chesapeake Bay**

- C1 Reshetiloff, K (redactie), 1995. Chesapeake Bay: An Introduction to an Ecosystem. EPA 903-R-04-003. CBP/TRS 232/00.
- C2 Purcell J. E., T.A. Shiganova, M. Decker & E.D. Houde, 2001. The ctenophore *Mnemiopsis leidyi* in native and exotic habitats: U. S. estuaries versus the Black Sea basin. *Hydrobiologia* 451, 145-176.
- C3 US Environmental Protection Agency (U.S. EPA), 1998. Condition of the Mid-Atlantic estuaries. Office of Research and Development, US EPA, EPA 600-R-98-147, Washington, DC.
- C4 U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA), 2002. Mid-Atlantic Integrated Assessment 1997-98 Summary Report. EPA/620/R-02/003. U.S. Environmental Protection Agency, Atlantic Ecology Division, Narragansett, Rhode Island.

- C5 Hagy, J.D., W. R. Boynton & L. P. Sanford, 2000. Estimation of Net Physical Transport and Hydraulic Residence Times for a Coastal Plain Estuary Using Box Models. *Estuaries* 23, 328-340.
- C6 Brush, G.S., 1984. Patterns of recent sediment accumulation in Chesapeake Bay (Virginia-Maryland, USA) tributaries. *Chemical Geology* 44, 227-227.
- C7 Zimmerman, A. R. & A.E. Canuel, 2002. Sediment geochemical records of eutrophication in the mesohaline Chesapeake Bay. *Limnology and Oceanography* 47, 1084-1093.

**Tabel 1**

Tabel 1:      Waarden voor parameters van de vier estuaria(wordt vervolgd op volgende pagina's)

|                                                     | Eenheid                        | Schelde   | Seine     | Humber    | Chesapeake Bay |
|-----------------------------------------------------|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|----------------|
| <b>Climate</b>                                      |                                |           |           |           |                |
| Light intensity                                     | KWh/m2per dag                  | 0,60-4,96 | 0,74-5,32 | 0,55-4,55 | 1,92-6,27      |
| Temperature: minimum and maximum air temperatures   | °C                             | 1,23-17,5 | 1,54-18,4 | 0,69-16,7 | 3,99-24,7      |
| Temperature: minimum and maximum water temperatures | °C                             | 0-24      | 1-20      |           | 1-26           |
| <b>Hydrodynamic and morphological parameters</b>    |                                |           |           |           |                |
| River discharge                                     | m <sup>3</sup> /s              | 104       | 410       | 250       | 2200           |
| Surface area of water catchment                     | km <sup>2</sup>                | 22000     | 79000     | 24000     | 166534         |
| Tidal levels                                        | m                              | 3,8       |           |           | 0,7            |
| Tidal range                                         | m                              | 2,5-5     | 3-7,5     | 2,8-5,7   | 0,4-1,2        |
| Tidal discharge                                     | m <sup>3</sup> /s              |           |           |           |                |
| Tidal volume                                        | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 1040      |           | 1000-2500 |                |
| Total volume                                        | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 2500      |           |           | 74000          |
| Length                                              | km                             | 160       | 160       | 146       | 320            |
| Average width                                       | m                              | 50-5000   |           |           | 6400-50000     |
| Average depth                                       | m                              | 6-55      |           |           | 6,5            |
| Surface area                                        | km <sup>2</sup>                | 354       |           | 200       | 11500          |
| Surface area of channels                            | km <sup>2</sup>                | 206       |           |           |                |
| Surface area of inter-tidal flats                   | km <sup>2</sup>                | 108       | 24        | 108       |                |
| Surface area of marshes                             | km <sup>2</sup>                | 37        |           | 12        | 680            |
| Sediment balance                                    | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> |           | 2,5-5     | 0,1       |                |
| Sediment balance                                    | 10 <sup>9</sup> kg             | 1         | 0,64      |           |                |
| Turbidity                                           | mg/l                           |           | 100-1000  | 0-20000   |                |
| ETM                                                 | km vanaf mond                  | 0-700     |           | 50-110    | far upstream   |
| <b>Eco-morphological criteria</b>                   |                                |           |           |           |                |
| Surface area of mussel and oyster beds              | km <sup>2</sup>                | 0         | 0         | 0         |                |
| Surface area of sea-grass fields                    | km <sup>2</sup>                | 5         | 0         | 0         | 260            |

Tabel 1: Vervolg.

|                              | Eenheid | Schelde      | Seine          | Humber  | Chesapeake Bay |
|------------------------------|---------|--------------|----------------|---------|----------------|
| <b>Chemical parameters</b>   |         |              |                |         |                |
| SPM                          | mg/l    | 31-246       |                | 0-5000  | 0-250          |
| POC                          | mg/l    | 0,78-6,70    |                |         |                |
| N (Ammonia)                  | mg/l    | 0-12         | 0,1            | 0-3     | 0-2            |
| N (nitrate)                  | mg/l    | 4-8          | 1-7            | 0,1-30  |                |
| P                            | mg/l    | 0-5          | 0-0,7          | 0,6-2,4 | 0-0,3          |
| Si                           | mg/l    | 0-10         |                |         |                |
| O saturatie                  | %       | 0-120        | 0-100          | 50-90   | 0-100          |
| Salinity                     | PSU     | 0-30         | 0-30           | 0-34    | 0-36           |
| <b>Biological parameters</b> |         |              |                |         |                |
| Phytoplankton biomass        |         |              |                |         |                |
| Phytoplankton production     |         |              |                |         |                |
| Phytoplankton production     |         | 10-45        | 30-180         | 0-180   | 0-0,3          |
| Bacterial production         |         | 80-500 /jaar | 0,001-3,4 /dag |         | 350            |
| Phytobenthos biomass         |         |              |                |         |                |
| Phytobenthos production      |         |              |                |         |                |
| Macrobenthos biomass         |         | 4-35         |                |         |                |
| Suprabenthos biomass         |         | 10-25        | 0,25-50        | 25      |                |
| Bird population              |         |              | 0,002-1        |         |                |
| Fish population              |         | 140000       | 80000-120000   |         | 575000-890000  |
| Mammal population            |         | 2-200        | 2,6            |         |                |
|                              |         | 50           |                | 200     | 0-100          |

Tabel 1: Vervolg.

| Bird species                                                                     | Eenheid                        | Schelde | Seine | Humber      | Chesapeake Bay            |
|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|---------|-------|-------------|---------------------------|
| Benthivore waders (shellfish)                                                    |                                |         |       |             |                           |
| Eurasian Oystercatcher ( <i>Haematopus ostralegus</i> )                          | Aantal                         | 13852   | 2400  | 5100        |                           |
| Red Knot ( <i>Calidris canutus</i> )                                             | Aantal                         | ?       |       | 28900       |                           |
| Benthivore waders (other than shellfish)                                         |                                |         |       |             |                           |
| Dunlin ( <i>Calidris alpina</i> )                                                | Aantal                         | 36447   | 10000 | 25900       |                           |
| Grey Plover ( <i>Pluvialis squatarola</i> )                                      | Aantal                         | 3925    |       | 1400        |                           |
| Pied Avocet ( <i>Recurvirostra avosetta</i> )                                    | Aantal                         |         |       | 140         |                           |
| Benthivore ducks (shellfish)                                                     |                                |         |       |             | 140000-300000             |
| Common Shelduck ( <i>Tadorna tadorna</i> )                                       | Aantal                         | 14195   |       | 4000        |                           |
| Herbivores                                                                       |                                |         |       |             | 355000-435000             |
| Greylag Goose ( <i>Anser anser</i> )                                             | Aantal                         | 49285   |       |             |                           |
| Eurasian Wigeon ( <i>Mareca penelope</i> )                                       | Aantal                         |         |       |             |                           |
| Piscivores                                                                       |                                |         |       |             |                           |
| Little Tern ( <i>Sterna albifrons</i> ) or Common Tern ( <i>Sterna hirundo</i> ) | Aantal                         |         |       |             |                           |
| Omnivores                                                                        |                                |         |       |             |                           |
| Common Redshank ( <i>Tringa tetanus</i> )                                        | Aantal                         | 3750    |       | 4300        |                           |
| Wulp Numenius arquata                                                            | Aantal                         | 5704    | 575   | 3300        |                           |
| <b>Anthropogenic parameters</b>                                                  |                                |         |       |             |                           |
| Dredging (dump back in estuary)                                                  | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 10-18   |       | 10 (        |                           |
| Extraction (Aggregates and dredge spoil)                                         | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 3       | 5     |             |                           |
| Extraction (Aggregates and dredge spoil)                                         | 10 <sup>6</sup> kg             | 367     |       |             |                           |
| Land reclamation                                                                 | km <sup>2</sup>                |         | 106   | 64          | 680                       |
| Shipping intensity                                                               | ship manoeuvre                 | 30000   | 14000 | 15000-37000 |                           |
| Shipping intensity                                                               | cargo (million tons)           | 187     | 75    | 74          | 84                        |
| Fisheries and aquaculture (fish, crustaceans, molluscs)                          |                                |         |       |             | 0,5-30 miljoen kg Oysters |