

Naar een herstel van estuariene gradienten in Nederland

Een literatuurstudie naar de algemene ecologische principes van estuariene gradienten, ten behoeve van herstelmaatregelen langs de Nederlandse kust.

Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

19771

Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ

Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling/RIZA

VLIZ (vzw)
VLAAMS INSTITUUT VOOR DE ZEE
FLANDERS MARINE INSTITUTE
Oostende - Belgium

Naar een herstel van estuariene gradiënten in Nederland

Een literatuurstudie naar de algemene ecologische principes van estuariene gradiënten, ten behoeve van herstelmaatregelen langs de Nederlandse kust

Gezamenlijke uitgave van RIKZ en RIZA in het kader van het RWS-programma Herstel & Inrichting

juli 2001

Auteurs:
C.C. de Leeuw (RIKZ/Koeman & Bijkerk)
J.J.G.M. Backx (RIZA)

RIKZ rapport nr. 2000.044
RIZA rapport nr. 2000.034

Foto voorplaat: Gerard Janssen

ISSN 0927-3980
ISBN 90-369-5331-6



Estuaria zijn belangrijke voedselgebieden voor steltlopers zoals de Zwarte ruiter (hierboven) en de Kluut (blz. 166).
Foto: Jan van de Kam

Inhoudsopgave

1 Inleiding 9
1.1 Aanleiding en kader 9
1.2 Aanpak 10
1.3 Doelstelling 11
1.4 Afbakening 11
1.5 Leeswijzer 11

2 De Nederlandse kust 13
2.1 Geschiedenis van de Nederlandse kust 14
2.1.1 Stroomgebied van de Schelde 19
2.1.2 Stroomgebied van de Maas 19
2.1.3 Stroomgebied van de Rijn 20
2.1.4 Stroomgebied van de Eems 22
2.2 Huidige en voormalige estuaria 23
2.2.1 Stroomgebied van de Schelde 23
2.2.2 Stroomgebied van de Maas 25
2.2.3 Stroomgebied van de Rijn 26
2.2.4 Stroomgebied van de Eems 27
2.3 Toekomstige (autonome) ontwikkelingen 29

3 Estuaria 31
3.1 Ontstaan 32
3.2 Definitie 33
3.3 Classificatie van estuaria 35
3.3.1 Geomorfologie 36
3.3.2 Hydrologie 37
3.3.3 Antropogene invloeden 39
3.4 Classificatie binnen een estuarium 40
3.4.1 Saliniteit en getij 40
3.4.2 Waterkwaliteit 45
3.4.3 Ecotopen 46

4 Ecologie 49
4.1 Abiotiek 50
4.2 Biotiek 57
4.2.1 Estuariene soorten 57
4.2.2 Voedselweb en trofische relaties 58
4.2.3 Fytoplankton 60
4.2.4 (Micro)fytobenthos 61
4.2.5 Macroalgen 61
4.2.6 Macrofyten 62
4.2.7 Terrestrische planten 62
4.2.8 Zoöplankton 62
4.2.9 (Macro)benthos 63
4.2.10 Vissen 64
4.2.11 Vogels 68
4.2.12 Zoogdieren 70
4.3 De mens 70

4.4 Natuurwaarden 71
4.5 Zoutgehalte en het voorkomen van soorten 74

5 Van beleid naar herstel 83
5.1 Beleidsanalyse 84
5.1.1 Internationaal beleid 84
5.1.2 Nationaal beleid 86
5.2 Instrumenten voor toetsing (estuarien) water- en natuurbeleid 91
5.3 Huidige projecten en maatregelen 97
5.3.1 Inventarisatie herstelprojecten in uitvoering 97
5.3.2 Projecten en studies gericht op kennisontwikkeling 100
5.4 Naar herstel 100
5.4.1 Herstel ecologie 101
5.4.2 Keuze van locaties en maatregelen 102
5.4.3 Processen, patronen en schaal 105
5.4.4 Parameters voor de beschrijving en beoordeling van estuaria 115
5.4.5 Modellen 122
5.4.6 Streefbeeld 123

6 Conclusies en aanbevelingen 125
6.1 Hoofdvragen 125
6.2 Aanbevelingen 126
6.2.1 Beleid en afstemming 126
6.2.2 Referenties en streefbeelden 127
6.2.3 Kennisontwikkeling en onderzoek 128

7 Literatuur 131

Bijlage

Bijlage 1 Ecotopenstelsels 147
Bijlage 2 Verspreiding van wieren in een getijdezone 151
Bijlage 3 Vegetatieontwikkeling en zoutgehalte 153
Bijlage 4 Vissoorten in estuaria 155
Bijlage 5 Vogelsoorten in estuaria 159
Bijlage 6 Primaire productie in estuaria 161
Bijlage 7 Amoebe-soorten 163

Colofon 167

Samenvatting

Inleiding
Dit rapport is tot stand gekomen naar aanleiding van de volgende 3 hoofdvragen over het ecologisch herstel van estuariene overgangen in Nederland en door de behoefte aan een achtergronddocument op dit gebied.

- Welke tijd- en ruimteaspecten zijn relevant voor (het herstel van) estuariene gradiënten?
- Hoeveel zoetwater is er per tijd en ruimte nodig ter optimalisatie van een estuariene gradiënt?
- Welke andere parameters zijn voor herstel relevant?

Een overzicht wordt gegeven van de op dit moment beschikbare informatie over het ontstaan van estuaria en de geschiedenis van estuariene overgangen in Nederland, de bestaande classificaties en indelingssystematiek, de ecologie van estuaria en de voorwaarden en mogelijkheden voor herstel. Het rapport is opgesteld door het RIKZ (Rijksinstituut voor Kust en Zee) en het RIZA (Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling) in opdracht van het hoofdkantoor van Rijkswaterstaat. Het geeft informatie om de kennis over estuariene gradiënten te vergroten van projectleiders en alle overige geïnteresseerden binnen en buiten Rijkswaterstaat. De studie richt zich op het herstel van estuaria en estuariene gradiënten, omdat estuaria de grote, natuurlijke systemen zijn waarop de hoofdvragen betrekking hebben. Vanuit deze beschrijvingen kan de kennis worden toegepast op kleinere systemen. Door middel van een literatuurstudie is geprobeerd om bovenstaande vragen te beantwoorden en de daaruitvolgende kennisleemten aan te geven.

Definities
Estuaria *zijn overgangsgebieden tussen één (of meerdere) rivier(en) en de zee, waar de watermassa in beweging is onder invloed van de rivierwaterafvoer en het getij, bestaande uit 3 zones: 1) een zoetwatergetijdengebied, 2) een middengebied waar zoet rivierwater en zout zeewater zich mengen en 3) een kustzone (naar Day et al., 1989).*

Estuariene gradiënten *zijn de geleidelijke overgangen tussen de zee en de rivier enerzijds en tussen het water en het land anderzijds, zoals die van nature in estuaria voorkomen, waarbij zowel het getij, als de afvoer van zoet water, de menging van zout en zoet water, de diversiteit in sedimentatie en de natuurlijke dynamiek alle een grote rol spelen.*

Brak water *is het water met een zoutgehalte tussen de 35 en 0,5 ‰ S (totale zoutconcentratie), dus het water met een zoutgehalte tussen zee en zoet water in, met een zeer* **variabel** *zoutgehalte en estuariene soorten (McLusky, 1989).*

Ontstaan
De Nederlandse kust heeft een pleistocene ondergrond, die gevormd is door landijs en stromend water. Het daardoor ontstane reliëf is sterk bepalend geweest voor de huidige vorm van de estuaria en daarmee voor de latere ontwikkelingen in het kustgebied. In de periode van het Holoceen, vanaf 11.000 jaar geleden, is het klimaat veranderd en de zeespiegel gestegen.

Vanaf 5800 jaar geleden ligt de kustlijn ongeveer op de huidige plaats. Perioden van verminderde zee-invloed (waarin veenvorming optrad) wisselden af met perioden van grotere zee-invloed, waarbij klei werd afgezet. Rivierwater stroomde via pleistocene dalen naar zee. Op deze plaatsen ontstonden de estuaria van Schelde, Maas, Rijn, Boorne, Hunze en Eems, met geleidelijke overgangen van rivier naar zee en van land naar water. Daartussen vormde zich een duinenkust. In het Waddengebied ontstond een groot intergetijdengebied met inhammen van Zuiderzee, Middelzee, Lauwerszee en Dollard. Vooral vanaf de Middeleeuwen heeft de mens grootschalig in het kustlandschap ingegrepen met bedijkingen en inpolderingen, voor eigen veiligheid en landwinning. De Middelzee werd al in de Middeleeuwen grotendeels ingepolderd; de meeste andere estuaria (Oosterschelde, Grevelingen, Haringvliet, Zuiderzee en Lauwerszee) zijn recentelijk afgesloten. Alleen het Schelde- en Eems-Dollard-estuarium (beide aan een grens van Nederland) zijn, hoewel sterk antropogeen beïnvloed, nog open en deels intact. De Nederlandse kust bestaat uit duinen en vooral uit dijken. Op veel plaatsen zijn de zogenaamde estuariene gradiënten verdwenen: de geleidelijke overgangen tussen zout en zoet, hoog en laag, nat en droog, zand en slib.

Estuaria

Estuaria kunnen op verschillende manieren geclassificeerd worden, zoals op grond van geomorfologie (sedimentatie, vorm en reliëf), hydrologie (water- en zoutbalans, getij, golfslag en stratificatie) en antropogene invloeden. Binnen een estuarium zelf zijn ook diverse indelingen te maken, op grond van vooral de saliniteit, waterkwaliteit en ruimtelijke eenheden (ecotopen). Een indeling in 5 saliniteitszones (zoetwatergetijdengebied, oligohalien, mesohalien, polyhalien en euhalien) en een onderverdeling van de zones in ecotopen worden tegenwoordig veel gebruikt in het beleid, ter vergelijking van gebieden en voor de evaluatie van ontwikkelingen.

Ecologie

De belangrijkste sturende abiotische factoren in een estuarium zijn getij en rivierwaterafvoer, waardoor menging en complexe waterstromingen ontstaan vanwege het samenkomen van een eenzijdige zoetwaterafvoer en een tweezijdige zoute getijdestroom. Hierdoor ontstaan gradiënten van hoog en droog naar laag en nat, van zoet naar zout en van zand naar klei. Daarnaast zijn er nog min of meer geleidelijke overgangen wat betreft andere belangrijke factoren, zoals temperatuur, organisch materiaal, nutriënten, contaminanten en zuurstof. Onder deze variabele milieuomstandigheden, met constante aanvoer van (soms grote hoeveelheden) nutriënten, kunnen vele soorten en aantallen organismen leven, variërend van zoetwater- tot zoutwatersoorten. Zij zijn tezamen de grote groep van typische estuariene soorten. Brakwatersoorten komen alleen in brak water voor, hetgeen een dusdanig gespecialiseerd milieu is, dat maar weinig soorten hieraan aangepast zijn. Alle planten- en diergroepen hebben vertegenwoordigers in het estuarien milieu. Dat komt door de grote diversiteit aan habitats, door de hoge primaire productie en door de open verbinding tussen zoet en zout water, waar bijvoorbeeld migrerende vissen van kunnen profiteren. Daarnaast heeft het estuarium een belangrijke functie in het filtreren van ongewenste stoffen.

Beleid

De achteruitgang van natuurwaarden in Nederland, een verandering in waardering van de natuur, de kansen voor een duurzame veiligheid en de toekomstige autonome ontwikkelingen die worden voorspeld (zoals versnelde

zeespiegelstijging, bodemdaling en veranderingen in de zoetwaterafvoer) hebben bijgedragen aan de actuele beleidsmatige interesse voor het herstel van estuariene overgangen. De huidige water- en natuurbeleidsdoelstellingen (gezondheid, veerkracht, duurzaamheid, bruikbaarheid, stabiliteit, natuurlijkheid en biodiversiteit) worden gezien als de belangrijkste toetsingscriteria voor de ecologie. Veel projecten ontwikkelen een eigen beoordelingsmethodiek. Globaal kan die worden ingedeeld in proces-, patroon- (ecotoop) en soortgebonden criteria. Tot voor kort werden vooral kleinere projecten uitgevoerd; momenteel zijn ook grote(re) projecten in voorbereiding (Haringvliet, Afsluitdijk, Lauwersmeer, Blauwe Delta). Hierbij moet ook rekening worden gehouden met internationale verdragen die Nederland verplichtingen geeft ten aanzien van de bescherming van soorten of biotopen. Ook kan geleerd worden van ervaringen in het buitenland. De slaagkans van herstelprojecten kan aanzienlijk worden vergroot door een aantal essentiële vragen te beantwoorden over enerzijds de aard en de omvang van verstoringen en anderzijds het gewenste ecologische herstel, middels een zogenaamde "ecologische checklist". De keuze van een goede locatie, evenals integratie en afstemming met andere functies is van essentieel belang. Er is grote ruimtelijke en temporele variatie in estuaria als gevolg van natuurlijke factoren (zoals rivierafvoer, licht, temperatuur, nutriënten en biologische factoren zoals genetische variatie). Een opsomming van alle variabelen met bijbehorende parameters geeft een goed inzicht in deze variabiliteit. Met behulp van modellen wordt geprobeerd meer inzicht te krijgen in ingreep-effect relaties. Vooral meer kwantitatief onderzoek is nodig om een goed streefbeeld te kunnen beschrijven.

Conclusies

Ten aanzien van de hoofdvragen kan uit de verzamelde informatie geconcludeerd worden, dat allereerst een goede doelstelling en streefbeeld voor herstel geformuleerd moeten worden. Belangrijke parameters zijn zoetwateraanvoer en getij, evenals temperatuur, troebelheid, zuurstof en nutrienten. Er zijn echter nog belangrijke kennisleemten, die leiden tot onderstaande onderzoeks- en beleidsaanbevelingen.

Aanbevelingen

- oprichting van een overlegplatform herstel zoet-zout
- afstemming en samenwerking in het nationale water-, natuur- en ruimtebeleid en het ontwikkelen van een landelijke visie
- ontwikkeling van één landelijke beoordelingsmethodiek
- opstellen van lijsten van prioritaire soorten en boegbeelden
- rekening houden met de schaal waarop processen, patronen en soorten stuurbaar zijn
- ontwikkeling van een beslisboom voor de keuze van de meest geschikte locatie voor herstel
- integratie van ecologie met andere functies in een managementplan, met uitwerking in de vorm van een kansenkaart op stroomgebiedniveau
- streefbeelden meer te beschrijven in (klassen van) streefwaarden dan in referentiewaarden
- kwantitatief onderzoek naar belangrijke parameters van estuariene gradienten, om bijvoorbeeld de (minimale) zoetwatertoevoer of omvang te berekenen
- eenduidige beschrijving van estuariene ecotopen en soorten
- inventarisatie en evaluatie van herstelmaatregelen in binnen- en buitenland

- onderzoek naar de ecologische (en economische) functie van estuaria voor organismen
- onderzoek naar ingreep-effect relaties (en het voedselweb)
- onderzoek naar kolonisatiemechanismen en de (minimale) onderlinge afstand tussen estuaria
- onderzoek naar exoten/plaagorganismen
- onderzoek naar de gevolgen van autonome ontwikkelingen
- verbetering en uitbreiding van de huidige modellen



Dijken (zoals de Afsluitdijk) hebben in het kustgebied een harde scheiding aangebracht tussen zout en zoet water.
Foto: Polyvisie-Hilversum

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en kader

Al sinds duizenden jaren zijn estuaria belangrijke gebieden voor de mens. In Nederland vestigde de mens zich vanaf circa 4500 v. Chr. langs getijdengeulen en in het zoetwatergetijdengebied. Door zijn aanwezigheid en de voortschrijdende technieken heeft de mens direct en indirect steeds meer invloed op zijn omgeving. Zo heeft de strijd tegen het water direct gevolgen gehad voor de natuur en de waterhuishouding in Nederland. Tot de Romeinse tijd (eerste eeuw na Chr.) overheerste de natuurlijke ontwikkeling; daarna werd de menselijke invloed steeds groter. Door bedijking en inpoldering is de Nederlandse kustzone afgenomen tot een kustlijn, waarachter grote oppervlakten kustgebied van de zee afgesloten liggen. Met de aanleg van bijvoorbeeld de Afsluitdijk en uitvoering van de Deltawerken is weliswaar de veiligheid in Nederland toegenomen, maar is ook een aantal belangrijke natuurwaarden verloren gegaan (Lenselink & Gerits, 2000).

De geleidelijke overgangen tussen zoet en zout water, tussen nat en droog, tussen hoog en laag en tussen zand en slik en slib, de zogenaamde *estuariene gradiënten*, zijn abrupte overgangen geworden, met als gevolg een verlies aan karakteristieke habitats en plant- en diersoorten (De Boer & Wolff, 1996) en een vermindering van de ruimtelijke buffercapaciteit. Ook beÔnvloedt de mens indirect het milieu door uitstoot van verontreinigende stoffen.

Als gevolg van klimaatsveranderingen (toename van de temperatuur en daardoor ook van de neerslag) moet er voor de waterhuishouding rekening mee gehouden worden dat de zeespiegel extra stijgt, de stormintensiteit en de watertemperatuur toenemen en de rivieren in de winter meer en in de zomer minder water zullen afvoeren. Langs de kust (en met name in de polders) zal de verzilting toenemen als gevolg van de natuurlijke bodemdaling (door tectoniek en inklinking), die plaatselijk nog eens versterkt wordt door bodemdaling als gevolg van zand-, schelpen-, zout- of aardgaswinning. Het blijven verhogen van de dijken wordt niet gezien als de enige oplossing om de veiligheid te blijven waarborgen.

Vanuit het waterbeleid zijn daarom twee nieuwe oplossingsrichtingen aangedragen om de toekomstige problemen voor de kustgebieden de baas te blijven: 1) een veerkrachtige kust met herstel van gradiÎnten in het kustgebied (als een van de hoofddoelstellingen gepresenteerd in de Vierde Nota Waterhuishouding (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1998)) en 2) een gebiedsgerichte totaalbenadering van de problemen. De Europese Kaderrichtlijn Water verplicht tot een benadering van de problemen op het niveau van stroomgebieden. Een *stroomgebied* is een gebied waar al het over het oppervlak lopende water via een reeks stromen, rivieren en eventueel meren door ÈÈn riviermond, estuarium of delta, in zee stroomt (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2000). Nederland is ingedeeld in een viertal stroomgebieden, namelijk dat van de Eems, Rijn, Maas en Schelde. Ook de kustwateren en -gebieden behoren tot deze stroomgebieden. In de Europese Kaderrichtlijn wordt voor een integrale benadering van het waterbeheer gekozen in

samenhang met het milieubeheer en de ruimtelijke ordening, hetgeen onder meer inhoudt waterkwaliteit, bescherming en duurzaam gebruik en het tegengaan van droogtes en overstromingen.
Daarnaast wordt vanuit het natuurbeleid gestreeft naar biodiversiteit en natuurlijkheid, op het gebied van land en water. Het streefbeeld is een blauwgroene dooradering van het landschap, waarin onder meer karakteristieke habitats en soorten worden beschermd, waartoe Nederland zich via internationale verdragen heeft verplicht (Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, 2000). Deze beleidsplannen hebben vergaande gevolgen voor de inrichting van ons kustgebied en het herstel van estuariene gradiënten.

Uit een inventarisatie van Lenselink & Gerits (2000) blijkt dat al op veel plaatsen onderzocht wordt hoe en waar estuariene gradiënten hersteld kunnen worden. Een aantal kleine projecten zijn reeds uitgevoerd en grotere projecten worden verkend. In deze projecten op het gebied van estuariene gradiënten staan echter nog vele vragen open, waardoor behoefte ontstond aan meer en tevens makkelijker toegankelijke achtergrondinformatie.

Uit deze wens tot achtergrondinformatie bij herstelprojecten is de opdracht tot het project WONS*BRAK ontstaan. Deze opdracht is verstrekt aan het RIZA en RIKZ vanuit de Hoofddirectie van Rijkswaterstaat te Den Haag. Het onderzoek is uitgevoerd onder het WONS-thema Herstel en Inrichting, dat zich toespitst op ecologisch herstel van watersystemen.

1.2 Aanpak

De voor u liggende studie is een uitwerking van de vragen, die zijn beschreven in het Projectplan WONS*BRAK van 25 augustus 1999. Dit bevat de volgende hoofdvragen:

- Welke tijd- en ruimteaspecten zijn relevant voor (het herstel van) estuariene gradiënten?
- Hoeveel zoetwater is er per tijd en ruimte nodig ter optimalisatie van een estuariene gradiënt?
- Welke andere parameters zijn voor herstel relevant?

Het project WONS*BRAK (onder deze naam op het RIKZ, onder de naam HERSTEL ZOET-ZOUT OVERGANGEN op het RIZA) omvat 2 fasen:

- Fase 1 (1999-2000): quick-scan literatuurstudie naar de algemeen ecologische principes van estuariene gradiënten langs de Nederlandse kust, met vermelding van de kennisleemtes op dit gebied (dit rapport). Daarnaast wordt een voorstel voor vervolgonderzoek in de 2^{e} fase gedaan.
- Fase 2 (2001-2005): uitvoering van het vervolgonderzoek, zoals geformuleerd in de eerste fase.

Het voor u liggende rapport is het eindproduct van de literatuurstudie uit de 1^{e} fase. Hierin wordt op grond van literatuuronderzoek een breed overzicht gegeven van de tijd- en ruimteaspekten van estuaria en estuariene gradiënten en de parameters die van belang zijn bij het herstel van gradiënten. De literatuurverwijzingen geven de lezer een handreiking naar meer gedetailleerde informatie. Daarnaast worden aanbevelingen voor vervolgonderzoek gedaan.

Het rapport is tot stand gekomen onder begeleiding van dr. G.M. Janssen (RIKZ) en mevr. dr. F.I. Kappers (RIZA) en een klankbordgroep, die tijdens 2 workshops haar commentaar en aanvullingen heeft geleverd.

1.3 Doelstelling

Het doel van het voor u liggende rapport is het geven van een zo breed mogelijk, wetenschappelijk onderbouwd overzicht van de beschikbare informatie die nodig is bij het verkrijgen van inzicht op het gebied van tijd- en ruimteaspekten van estuariene gradiënten. Het is ter informatie van projectleiders en alle overige geïnteresseerden, binnen en buiten Rijkswaterstaat, om de kennis over estuariene gradiënten te vergroten. Vanuit deze kennis kunnen beleidskeuzes gemaakt worden.

1.4 Afbakening

De studie richt zich op estuaria en estuariene gradiënten. Dit zijn de grote, natuurlijke systemen, waar de bovengenoemde hoofdvragen op gericht zijn en van waaruit de kennis kan worden toegepast op kleinere systemen. De volgende definities worden gehanteerd:

Estuaria zijn overgangsgebieden tussen één (of meerdere) rivier(en) en de zee, waar de watermassa in beweging is onder invloed van de rivierwaterafvoer en het getij, bestaande uit 3 zones: 1) een zoetwatergetijdengebied, 2) een middengebied waar zoet rivierwater en zout zeewater zich mengen en 3) een kustzone (naar Day et al., 1989).

Estuariene gradiënten zijn de geleidelijke overgangen tussen de zee en de rivier enerzijds en tussen het water en het land anderzijds, zoals die van nature in estuaria voorkomen, waarbij zowel het getij, als de afvoer van zoet water, de menging van zout en zoet water, de diversiteit in sedimentatie en de natuurlijke dynamiek alle een grote rol spelen.

Brak water is het water met een zoutgehalte tussen de 35 en 0,5 ‰ S (totale zoutconcentratie), dus het water met een zoutgehalte tussen zee en zoet water in, met een zeer variabel zoutgehalte (McLusky, 1989).

Dit betekent dat de kustgebieden met alleen zoet-zout wisselingen (en geen getij), of met alleen getij, of geen getij, zoals de binnendijkse brakke wateren, de brakke kanalen, eilandkwelderkreken, duinen, supralitorale poelen en zoete, brakke of zoute meren (zie onder andere De Boer & Wolff, 1996 en Lenselink & Gerits, 2000) buiten deze studie vallen. Dat wil echter niet zeggen dat deze gebieden niet belangrijk zijn.

1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt een overzicht gegeven van de geschiedenis van het Nederlandse kustgebied vanaf de ijstijden, met nadruk op de ontwikkeling van de huidige en recent afgesloten estuaria en de daarbij behorende estuariene overgangen. Deze zijn gerangschikt volgens de indeling in stroomgebieden zoals beschreven in de Europese Kaderrichtlijn Water.

Hierdoor wordt inzicht verkregen in de situatie van het verleden en het heden van het Nederlandse kustgebied wat betreft estuariene overgangen. Dit kan worden gebruikt bij het beschrijven van een historische referentie, ten behoeve van het ontwikkelen van een streefbeeld voor estuariene gradiënten. Daarnaast worden beknopt de toekomstige (autonome) ontwikkelingen beschreven, die gevolgen zullen hebben voor de ontwikkeling van het kustgebied.

In hoofdstuk 3 wordt een overzicht gegeven van de kennis omtrent estuaria op mondiale schaal, waarbij een beeld wordt geschetst van het ontstaan van estuaria en de begrenzingen in de ruimte, uitmondend in een definitie. Daarnaast wordt een algemeen en zo compleet mogelijk beeld geschetst van de verschillen en overeenkomsten tussen estuaria en worden deze geordend met behulp van classificatie-criteria.

In hoofdstuk 4 wordt de ecologie van estuaria beschreven, met een algemeen overzicht van de abiotische factoren die de dynamiek van een estuarium bepalen in ruimte en tijd, en de biotiek: het voorkomen van planten- en diersoorten onder de gegeven omstandigheden van de abiotiek. Tenslotte worden vragen beantwoord over (de mogelijkheid van) het voorkomen van soorten in brakke (dat wil zeggen: niet zoete of zoute) wateren.

In hoofdstuk 5 wordt een beeld geschetst van het beleid ten aanzien van het herstel van estuariene gradiënten en wordt een overzicht gegeven van de instrumenten van toetsing daarvan. Daarnaast worden processen en patronen in een tijd- en ruimteschaal geplaatst en wordt een zo compleet mogelijk overzicht gegeven van alle parameters van estuariene gradiënten, zodat per project een verantwoorde keuze gemaakt kan worden bij de opzet, monitoring en evaluatie van de herstelmaatregelen.

In hoofdstuk 6 worden de hoofdvragen, zoals gesteld in de inleiding, beantwoord en worden kennisleemten gesignaleerd en aanbevelingen gedaan voor een vervolgonderzoek naar het herstel van estuariene overgangen, als opzet voor het onderzoek van de 2^{e} fase van Wons*Brak.

Hoofdstuk 7 geeft een compleet overzicht van alle referenties, gevolgd door een verklarende woordenlijst en enkele bijlagen.

2 De Nederlandse kust

Samenvatting
De Nederlandse kust heeft een pleistocene ondergrond, waarvan het reliëf is gevormd door landijs en stromend water. Dit reliëf is sterk bepalend geweest voor de latere ontwikkelingen. In de periode van het Holoceen, vanaf 11.000 jaar geleden, is het klimaat veranderd en de zeespiegel gestegen. Vanaf 5800 jaar geleden ligt de kustlijn ongeveer op de huidige plaats. Perioden van verminderde zee-invloed (waarin veenvorming optrad) wisselden af met perioden van grotere zee-invloed, waarbij de zee klei-afzettingen achterliet. Rivierwater stroomde via pleistocene dalen naar zee. Op deze plaatsen ontstonden de estuaria van Schelde, Maas, Rijn, Boorne, Hunze en Eems, met geleidelijke overgangen van rivier naar zee en van land naar water. Daartussen vormde zich een duinenkust. In het Waddengebied ontstond een groot intergetijdengebied met inhammen van Zuiderzee, Middelzee, Lauwerszee en Dollard. Vooral vanaf de Middeleeuwen heeft de mens grootschalig in het kustlandschap ingegrepen met bedijkingen en inpolderingen, voor eigen veiligheid en landwinning. De Middelzee werd al in de Middeleeuwen grotendeels ingepolderd; de meeste andere estuaria (Oosterschelde, Grevelingen, Haringvliet, Zuiderzee en Lauwerszee) zijn recentelijk afgesloten. Alleen het Schelde- en Eems-Dollard-estuarium (beide aan een grens van Nederland) zijn, hoewel sterk antropogeen beïnvloed, nog open en deels intact. De Nederlandse kust bestaat uit duinen en vooral uit dijken. Op veel plaatsen zijn de zogenaamde estuariene gradiënten verdwenen: de geleidelijke overgangen tussen zout en zoet, hoog en laag, nat en droog, zand en slib. Herstel van estuariene gradiënten wordt al in diverse (voormalige) estuaria onderzocht. Dit zou naast een verhoging van de natuurwaarden van deze gebieden wel eens mede een oplossing kunnen zijn voor de toekomstige autonome ontwikkelingen die worden voorspeld: versnelde zeespiegelstijging (en bodemdaling) en veranderingen in de zoetwaterafvoer, waardoor deze bedreigingen kunnen worden gebruikt als kansen.

Doel
Overzicht geven van de ontwikkeling van het Nederlandse kustgebied in tijd en ruimte vanaf de ijstijden tot en met de nabije toekomst, om een beeld te krijgen dat kan worden gebruikt als historische referentie van het Nederlandse kustgebied.

Beschrijving geven van de huidige en recent afgesloten estuaria en estuariene gradiënten in het verleden en heden.

Overzicht geven van de stroomgebieden in Nederland volgens de Europese Kaderrichtlijn Water.

Conclusies en aanbevelingen
De geschiedenis van de Nederlandse kust geeft een goed beeld van de historische situaties. Door de mens zijn echter ingrepen gepleegd met grote morfologische en hydrodynamische gevolgen, zodat herstel van een historische situatie onmogelijk lijkt. Uit de geschiedenis is wel een totaalbeeld te lezen, dat als historische referentie kan worden meegenomen bij het ontwikkelen van een streefbeeld voor toekomstige estuariene overgangen in Nederland. De twee overgebleven estuaria kunnen als geografische referentie dienen.

Estuaria ontwikkelen zich van nature in een lange tijdsperiode; in korte tijd kunnen estuaria door technische ingrepen afgesloten of anderszins ingrijpend veranderd worden. Herstelmaatregelen zijn vaak maar op gedeelten van afgesloten estuaria gericht en zullen pas over een langere tijdsperiode resultaat opleveren. Monitoring en evaluatie van herstelprojecten moeten kennis opleveren voor herstelmogelijkheden elders.

De enige nog overgebleven estuaria in Nederland (Westerschelde en Eems-Dollard) liggen op het Nederlands grensgebied. Het opdoen van kennis omtrent de ontwikkeling en het functioneren van deze estuaria biedt mogelijkheden voor internationale kontakten.

Indelingen in stroomgebieden zijn beleidsrelevant, maar kunstmatig. Bij het herstel van estuariene gradiënten moet zeker over de grenzen van de stroomgebieden heen gekeken worden.

De toekomstige autonome ontwikkelingen leiden tot een versnelde zeespiegelstijging (mede door bodemdaling), tot een temperatuurstijging van het water, tot een vergroting van het stormklimaat en tot verhoogde zoetwaterafvoeren in de winter en verlaagde afvoeren in de zomer. Dit zijn bedreigingen, maar het biedt tegelijkertijd ook kansen voor het herstel van estuariene overgangen, wanneer er ruimte aan het water wordt gegeven.

2.1 Geschiedenis van de Nederlandse kust

Voor de beschrijving van de geschiedenis van de Nederlandse kust is gebruik gemaakt van voornamelijk de volgende literatuur: Beets et al. (1995), Oost (1995), Zagwijn (1986), Zonneveld (1980), Lenselink & Gerits (2000) en Esselink (2000).
De geologische tijdsaanduiding is niet weergegeven in jaren BP (= Before Present, uitgaande van het jaar 1950 en gebaseerd op C14-bepalingen), maar omgerekend naar het werkelijke aantal jaren geleden, uitgaande van het jaar 2000.

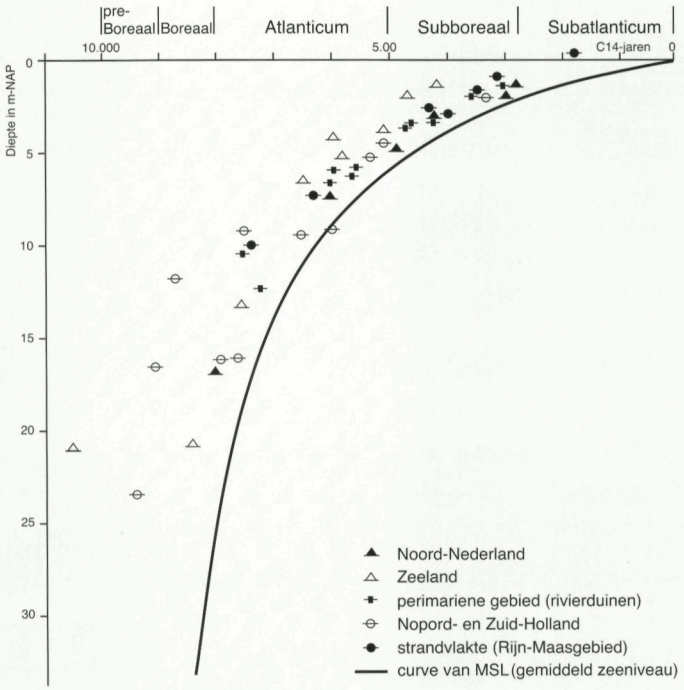
De pleistocene periode van de glacialen en interglacialen (tussen 2,5 miljoen en 11.000 jaar geleden) is in hoge mate bepalend geweest voor de vorming tijdens het Holoceen, die geleidt heeft tot het huidige Nederlandse landschap. Tijdens de voorlaatste ijstijd (het Saalien) en misschien ook al tijdens de ijstijd daarvoor (het Elsterien) breidde het landijs zich uit tot Midden-Nederland. De formidabele dikte van het ijs (in Noord-Nederland geschat op een kilometer), de gletsjerbewegingen en het uitstromende smeltwater lieten een landschap achter met veel reliëf. Daarna, tijdens het Eemien Interglaciaal, stroomde de Nederlandse kustvlakte weer onder. Door het sterke reliëf konden toen geen uitgebreide getijdebekkens ontstaan.

Tijdens de laatste ijstijd (het Weichselien) bereikte het ijs Nederland niet. Wel heersten hier arctische condities waarbij dikke pakketten dekzanden en löss werden afgezet. Een vlak landschap met relatief weinig reliëf ontstond. De zeespiegel stond tot 11.000 jaar geleden ongeveer 100 tot 120 meter beneden het huidige NAP. In het verder zeer vlakke reliëf vormden zich uitgeschuurde rivierdalen met een vrij vlak verloop, tot enkele tientallen meters diepte. De Noordzeekustlijn lag vele honderden kilometers noordelijker. De huidige zuidelijke Noordzee, die Nederland begrenst en 50 tot 60 meter diep is, lag toen geheel droog. De ondergrond bestond uit stuwwalmateriaal met steenpartijen, dekzand en zanden uit de Rijn.

Boreaal

Ongeveer 11.000 jaar geleden, na de laatste ijstijd , begon het Holoceen. Deze tijdsperiode wordt gekenmerkt door klimaatsverandering, met als gevolg het afsmelten van de ijskappen en een relatieve zeespiegelstijging (zie figuur 2.1).

Figuur 2.1
Curve van de relatieve zeespiegelstijging in Nederland (naar Jelgersma, 1961 en v.d. Plassche, 1982). Bron: Berendsen, 1996.



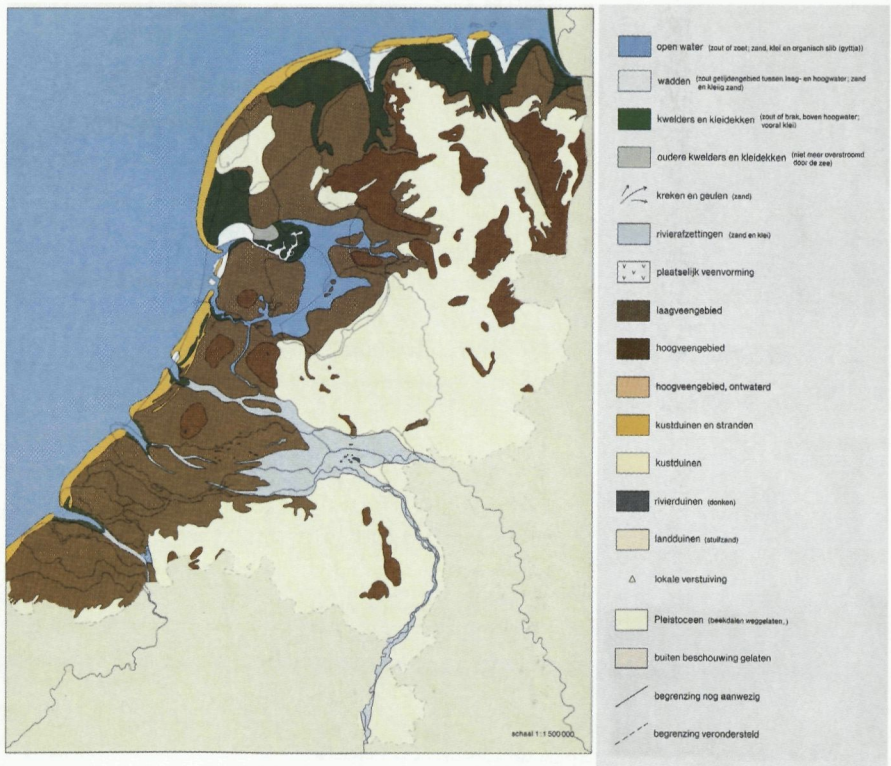
Met een snelheid van ongeveer 10 kilometer per eeuw en een verticale stijging van 1 cm per jaar, verplaatste de kustlijn zich richting Nederland. Ook de grondwaterspiegel steeg. Er ontwikkelden zich enorme moerasbossen en veengebieden, die steeds weer verdronken door de oprukkende zee, evenals de mensen en dieren wanneer die zich niet op tijd konden verplaatsten (zoals in het geval van de Doggersbank, een heuvel in de toen nog droogliggende Noordzee). Op veel plaatsen werd in deze periode (het Boreaal) veen gevormd, het zogenaamde basisveen. Over dit basisveen werd door de zee klei en zand afgezet, vooral in het Atlanticum. Deze sedimenten liggen in waaiervormige lagen over elkaar, omdat ze steeds op de laagste delen werden afgezet.

Tabel 2.1
Overzicht van de tijdsperioden in het Holoceen.

TIJDSPERIODEN HOLOCEEN				
11.000	- 9.000	jaar geleden	Boreaal	veenvorming
9.000	- 5.800	jaar geleden	Atlanticum	zee-afzettingen
5.800	- 3.000	jaar geleden	Subboreaal	veenvorming
3.000	- 0	jaar geleden	Subatlanticum	zee-afzettingen

Atlanticum
Het Atlanticum was een periode, waarin de zee oprukte en zeeklei afzette. In het noordoosten van Nederland ontwikkelde zich een uitgebreid Waddengebied, waarbij eilanden door zeegaten van elkaar gescheiden werden. In het Laat-Atlanticum vormden zich de zeegaten via de belangrijkste rivierdalen (Eems, Hunze en Boorne). Op de tussengelegen hogere delen vormden zich Waddeneilanden. Onder invloed van de zeespiegelstijging en de zandbehoefte van het achterliggende Waddengebied trokken de eilanden zich landwaarts terug. Aan de landkant wisselde, afhankelijk van de balans tussen aanslibben en onderlopen, kustuitbouw af met kustterugtrekking.

Subboreaal
In het Subboreaal (omstreeks 5.800 jaar geleden) nam de overheersing van de zee sterk af . De kustlijn (bestaande uit strandwallen en uitgestrekte estuaria) kwam ongeveer op de huidige plaats te liggen. De landijskappen van Noord-Amerika en Europa waren geheel gesmolten. De zeespiegel bleef echter stijgen, zij het langzamer, ten gevolge van daling van het land. De sedimentaanvoer vanuit zee en vanaf het land was nu voldoende om de relatieve zeespiegelstijging op te vangen, waardoor de kustlijn kon worden gehandhaafd. Het reliÎf van de pleistocene ondergrond, evenals de beek- en rivierdalen (als afvoerwegen van water en sediment vanuit het achterland), bepaalden in sterke mate hoe de kust zich verder ontwikkelde. Langs grote delen van de kusten van Zeeland en Zuid- en Noord-Holland werden de openliggende getijdengebieden afgesloten door strandwallen, die zich zeewaarts uitbouwden. Deze uitbouw was in het Zeeuwse minder sterk dan langs de Hollandse kust. Erachter ontwikkelden zich zoetwatermoerassen met veenaccumulatie. Een aantal zeegaten bleef echter open, doordat rivieren hun afvoer daar vonden (Schelde, Maas, Rijn en het zeegat van Bergen, gelegen in het diepe oerstroomdal van de Vecht) (zie figuur 2.2).



Figuur 2.2
Verdeling van de belangrijkste afzettingen in het Nederlandse kustgebied, ongeveer 4.000 jaar geleden (3700 BP in C-14 jaren) (Midden-Subboreaal). Bron: Zagwijn, 1986.

Subatlanticum

In de laatste 3.000 jaar (het Subatlanticum) stagneerde de zeespiegelrijzing nog meer, maar trad in toenemende mate erosie van het kustgebied op. Veel veen werd weggeslagen, mede door toedoen van de mens die het veen ontwaterde. Er ontstonden grote meren, zoals bijvoorbeeld het Flevomeer, omdat de IJssel en Vecht geen uitweg vonden (de afwatering naar het westen stagneerde en de opening naar het noorden was nog niet ontwikkeld). Later kwam er een open verbinding met de Waddenzee en werd het Flevomeer de Zuiderzee. Ook veel veen in Noord- en Zuidwest-Nederland erodeerde en in plaats daarvan ontstonden uitgestrekte wad- en kweldergebieden (zie figuur 2.3).



Figuur 2.3
Verdeling van de belangrijkste afzettingen in het Nederlandse kustgebied in de Vroege Middeleeuwen (Midden-Subatlanticum), ongeveer 1.400 jaar geleden (500-700 jaar na Chr.). Bron: Zagwijn, 1986.

Invloed van de mens

De ontwikkeling van het kustgebied werd echter nog grotendeels door de natuur bepaald. Het kustgebied was een grote, geleidelijke overgang tussen het water en het land. Op veel plaatsen stroomden beken of rivieren in zee uit, waardoor er natuurlijke overgangen waren tussen het zoete water en de zee. In de loop van de Middeleeuwen nam de invloed van de mens echter de overhand. Veen werd op grote schaal afgegraven of gedraineerd, ten behoeve van de landbouw, waardoor de mens zich moest redden van de zee door het opwerpen van terpen, dijken en afwateringssloten. De duinen werden vastgelegd door beplanting met helm of bomen. Kwelders (schorren) werden ingepolderd.

Zo is in de laatste paar eeuwen vrijwel de gehele Nederlandse kust vastgelegd door duinen of dijken en zijn bijna alle estuaria afgesloten (zie paragraaf 2.2).

Indeling in stroomgebieden

Op grond van haar ontstaan is het Nederlandse kustgebied in verschillende **paleo-geografische regio's** in te delen (zie figuur 2.4). Daarnaast is Nederland, voor wat betreft de stroming van het oppervlaktewater, in te delen in 4 (internationale) **stroomgebieden**, vastgesteld volgens de Europese Kaderrichtlijn Water. Dit is echter een kunstmatige indeling ten behoeve van het beleid, die niet altijd geheel overeen komt met de natuurlijke situatie. Zo mengen Rijn- en Maaswater al voor de mondingen en is een goede scheiding niet te maken. Toch wordt geprobeerd om de ontwikkeling van het Nederlandse kustgebied te beschreven vanuit de stroomgebied-regio's, die wel in grote lijnen overeenkomen met de hierboven genoemde paleo-geografische regio's. Beide indelingen zijn weergegeven in figuur 2.4 en geven een goed overzicht van de ligging van de vroegere en huidige estuaria in Nederland, evenals van de huidige indeling in stroomgebieden. De ontwikkeling van het kustgebied, van Pleistoceen tot nu, wordt hieronder per stroomgebied-regio beschreven. De afzonderlijke estuaria, inclusief de bijbehorende rivier(en), worden in paragraaf 2.2 beschreven.

Figuur 2.4
Ligging van de paleo-geografische regio's in het holocene kustgebied (Bron: Zagwijn, 1986) en de internationale stroomgebieden volgens de Europese Kaderrichtlijn Water. Bron: Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2000.



2.1.1 Stroomgebied van de Schelde

Het stroomgebied van de Schelde bestaat uit het Westerschelde-estuarium, de (nu gedeeltelijk afgesloten) Oosterschelde en de (volledig afgesloten) Grevelingen.

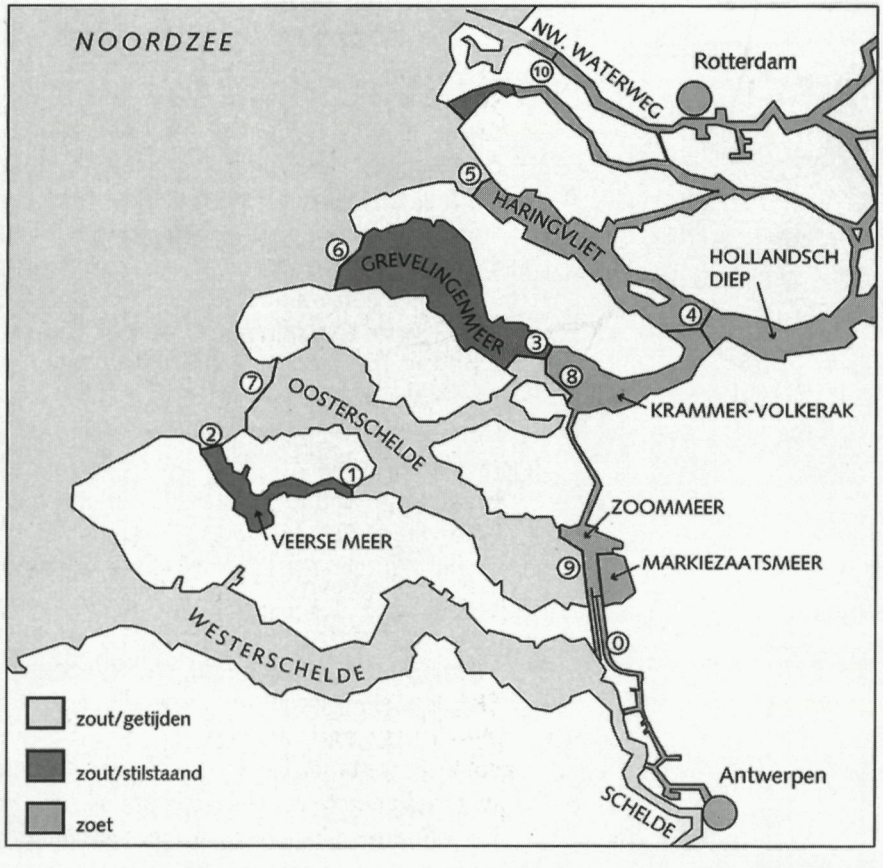
De Schelde is een rivier die al bestaat sinds de ijstijden. De bovenloop ontspringt in Noord-Frankrijk en is sindsdien nauwelijks veranderd (Meire et al., 1995). De benedenloop heeft een lange geschiedenis achter de rug.
In het Pleistoceen was het gebied, waar nu de Westerschelde, Oosterschelde en Grevelingen in liggen, al een relatief laaggelegen gebied met zoetwaterafvoer van een niet al te grote rivier. In het Atlanticum (meer dan 6.000 jaar geleden) was de getijdenbeweging hier, net als nu, al tot 2 keer groter dan verder noordelijk langs de kust. Een groot estuarium met diepe erosiegeulen (tot wel 40 meter diep) werd gevormd op de plaats van de huidige Oosterschelde. In het Subboreaal (zo'n 4000 jaar geleden) sloot de kust zich en verveende het hele gebied; alleen het huidige Oosterschelde-estuarium bleef open als afvoer van de Schelde. In het Subatlanticum erodeerde het veengebied grotendeels. Vanaf de Romeinse tijd (eerste eeuw na Chr.) werd het veenlandschap gedraineerd en afgegraven. De zee breidde zich met name na circa 300 A.D. (1700 jaar geleden) uit, waardoor over de veenresten wadsedimenten werden afgezet. Ontwatering en daling van het veenkussen, waarbij het getijdevolume toenam, was deels een gevolg van de getijdegeulen die zich vormden om het getijwater aan en af te voeren. Dit zelfversterkende effect leidde tot aanzienlijke erosie van het landschap (Beets et al., 1995).
Ongeveer 2.000 jaar geleden ontstond er een verbinding tussen het (Ooster)Schelde- en het Maas-estuarium (Zagwijn, 1986). Pas zeer recent, in de 17e eeuw, ontstond de verbinding tussen de toenmalige zeearm de Honte en de rivier de Schelde, wat het begin was van de ontwikkeling van de huidige Westerschelde (die toen nog een zeer open gebied was). Als eerste werden voornamelijk de wantijen (plaats waar 2 getijdestromen elkaar ontmoeten) bedijkt. Deze hooggelegen gebieden lagen beschermd tegen windgolven en stroming, waardoor ze hoger konden opslibben en begroeid raakten. Deze gebieden vormen de kernen van de tegenwoordige eilanden. Opslibbing van de landwaartse bekkenranden, zoals in de Waddenzee, vond niet plaats, omdat aan die zijde de zeearmen op een of andere manier in verbinding stonden met rivieren en dus geen vaste landwaartse begrenzing hadden (Beets et al., 1995). Vanaf de 18e eeuw hebben er op grote schaal bedijkingen en inpolderingen plaatsgevonden door de mens. Het Schelde-estuarium bestaat dan uit de rivier de Schelde, die uitmondt in een zeegebied, waarin eilanden liggen van zeeklei op (restanten) veen (de huidige Ooster- en Westerschelde). Rond 1870 werd de verbinding tussen Schelde en Oosterschelde verbroken door aanleg van de Kreekrak- en Sloedam, waardoor de Schelde sindsdien alleen nog uitmondt in de Westerschelde (Haas, 1998). De Grevelingen en Oosterschelde behoren echter wel tot het stroomgebied van de Schelde (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2000).

2.1.2 Stroomgebied van de Maas

Het stroomgebied van de Maas bestaat uit de rivier de Maas, de Biesbosch, het Hollandsch Diep en het Haringvliet en is verweven met het Rijn-estuarium.

De Maas bestond al gedurende de ijstijden en ontspringt in Frankrijk. Via de Belgische Ardennen stroomt zij in Zuid-Limburg ons land binnen. In het Atlanticum vormden de Rijn en Maas een groot stroomgebied dat op vele plaatsen in Zuidwest-Nederland afwaterde.

Vanaf het Subboreaal (5.800 jaar geleden) tot in de 19e eeuw stroomde de Maas bij Monster in zee uit (iets ten noorden van de huidige Nieuwe Waterweg) en de Rijn bij Katwijk aan Zee. Afgezien van het (Ooster)schelde-estuarium was de Zeeuwse en Zuidhollandse kust daarbuiten afgesloten door een strandwal, waarachter zich veen ontwikkelde. Ook in het rivierengebied ontwikkelde zich een uitgestrekt veenmoeras met moerasbos, wat in het Subatlanticum grotendeels werd vervangen door klei en zand. De zee maakte openingen in de kust en veel veen werd weggeslagen. Zuidwest Nederland bestond toen uit een groot aantal eilanden en getijstromen, waarlangs het Rijn- en Maaswater een uitweg naar zee zocht. Het getij kwam via de rivieren ver landinwaarts en er ontwikkelde zich door een opeenvolgende serie van vloeden, in combinatie met menselijke invloeden, een zoetwatergetijdengebied in de Biesbosch. Sinds het graven van de Nieuwe Merwede worden Rijn- en Maaswater gemengd en is er geen grens meer te trekken. Door de aanleg van de Grevelingendam in 1964 en de Volkerakdam in 1969 zijn de Grevelingen en Oosterschelde afgesloten van het Rijn- en Maaswater en wordt dit alleen nog via de Nieuwe Waterweg (gegraven tussen 1864 en 1868) en de Haringvlietsluizen in zee geloosd. Door de Haringvlietdam, die in 1970 werd aangelegd, is het Haringvliet verzoet en het getij in de Biesbosch vrijwel verdwenen (Zagwijn, 1986; Haas, 1998; Paalvast et al., 1998) (zie figuur 2.5).



Figuur 2.5
Overzicht van de Deltawerken in Zuid-West Nederland. Bron: Haas, 1998.
0 = Markiezaatskade/Kreekrakdam,
1 = Zandkreekdam, 2 = Veerse Gatdam,
3 = Grevelingendam, 4 = Volkerakdam,
5 = Haringvlietdam, 6 = Brouwersdam,
7 = Oosterscheldekering, 8 = Philipsdam,
9 = Oesterdam, 10 = Stormvloedkering Nieuwe Waterweg.

2.1.3 Stroomgebied van de Rijn

Tot het stroomgebied van de Rijn behoort langs de kust: de Nieuwe Waterweg, de Zuid- en Noordhollandse duinen, de Waddenzee, het IJsselmeer en het Lauwersmeer.

Een groot deel van Nederland behoort tot het stroomgebied van de Rijn, een belangrijke internationale rivier. Deze ontspringt in de Zwitserse Alpen en stroomt langs Oostenrijk door Duitsland, waar hij bij Lobith ons land binnenkomt met een grote hoeveelheid water, mede verzameld door de vele zijrivieren die er in uitstromen. De Rijn stroomde al voor de ijstijden in noordelijke richting door Nederland, maar werd door het landijs in het Pleistoceen gedwongen om in westelijke richting af te buigen. Vanaf het Subboreaal (ongeveer 5800 jaar geleden) stabiliseerde de Nederlandse kustlijn zich en stroomde de Rijn op de hoogte van Katwijk aan Zee in de Noordzee uit. Een groot deel van de Zeeuwse en Zuidhollandse kust was toen afgesloten door een strandwal, waarachter zich veen ontwikkelde. Ook in het rivierengebied ontwikkelde zich een uitgestrekt veenmoeras met moerasbos, wat in het Subatlanticum grotendeels werd vervangen door klei en zand.

Op de strandwal vormden zich oude duinen. De strandwal werd alleen onderbroken door het oude Schelde-, Maas- en Rijn-estuarium en het zeegat van Bergen, dat eerst een verbinding met het IJssel- en Vechtsysteem had en later met het Oer-IJ-estuarium (zie figuur 2.2 en 2.4). Dit estuarium was tijdens het Atlanticum ontstaan als een lagune, aanvankelijk zout, maar zoeter wordend tijdens het Subboreaal. Tijdens het Subatlanticum werd de verbinding naar zee verbroken en ontstond een zoetwaterlagune die zich nog verder uitbreidde: het Flevomeer of Almere. Deze werd gevoed door de IJssel, die in de vroege Middeleeuwen (zo'n 1500 jaar geleden) is ontstaan als noordelijke aftakking van de Rijn. Later (tussen 600 en 1200, zie figuur 2.3) ontstond een steeds grotere verbinding naar het noorden met de westelijke Waddenzee, waardoor de Almere-lagune opnieuw zouter werd en tevens groter. In de loop van enkele eeuwen ontstond zo de Zuiderzee, een brakke binnenzee met weinig getij, waarin behalve de IJssel ook de Overijsselse en Utrechtse Vecht en de Eem in uitmondden.
Nieuw onderzoek geeft aan dat langs de Hollandse kust de hoge Jonge Duinen ontstonden vanaf de eerste eeuw na Chr. (Romeinse tijd) en dat dit samenviel met afslag van de Hollandse Kust. De achterliggende veengebieden werden in de Middeleeuwen ontgonnen, waardoor grote brakwatermeren ontstonden, die vervolgens werden ingepolderd. De voormalige Rijnmond bij Katwijk was in de loop der tijd verzand, waardoor de Utrechtse Vecht was ontstaan. Sinds de opening van de Nieuwe Waterweg in 1868 stroomt het merendeel van het Rijnwater via de Nieuwe Waterweg bij Hoek van Holland in zee uit en bij hoge afvoeren ook via het Haringvliet.

De westelijke Waddenzee (westelijk van Ameland) heeft een relatief hoogliggend pleistoceen oppervlak, waardoor dit gebied pas laat onder invloed van de zee kwam. De Hoge Berg op Texel, Wieringen en Gaasterland zijn stuwwalrelicten die hier nog eens bovenuit steken. In het Atlanticum breekt de zee vooral in aan de oostzijde van het gebied (op de plaats van het huidige zeegat tussen Terschelling en Ameland), waar een pleistoceen dal lag, dat als afwatering van de Boorne diende (zie figuur 2.2). In de lagere delen vond veengroei plaats tijdens het Subboreaal, achter een Noordzeekust die veel meer dan tegenwoordig gesloten was. Pas laat in het Subatlanticum erodeerde (vanwege de hoge ligging) veel veen en ontstond geleidelijk vanuit het noorden het huidige Waddengebied: een uitgebreid sub- en intergetijdengebied met zee-afzettingen en kwelders en zeegaten met daartussen waddeneilanden (zie figuur 2.3). De doorbraak van het Marsdiep ontstond waarschijnlijk pas in de late Middeleeuwen (zo'n 800 jaar geleden). Vanaf de Middeleeuwen liet ook de mens zijn invloed gelden: kwelders werden ontwaterd door het graven van

kanaaltjes en veen werd afgegraven voor brandstof. Hierdoor daalde het kustgebied en het aangrenzende vaste land en overstroomden deze vaker. Vanaf de 17e eeuw werden op grote schaal dijken aangelegd, waardoor land definitief kon worden behouden. In 1932 werd de Zuiderzee afgesloten door aanleg van de Afsluitdijk.

De pleistocene ondergrond van de oostelijke Waddenzee ligt veel lager dan die van de westelijke Waddenzee, waardoor de ontwikkeling tot Waddengebied veel eerder begon, al vanaf zo'n 6.000 jaar geleden (Atlanticum). De kustlijn van het vaste land lag toen veel verder landinwaarts. Er ontstonden een aantal zeegaten in het verlengde van zoetwaterafvoeren uit het achterland (Boorne en Hunze). Op de verdrinkende vlakten tussen de langzaam onderstromende rivierdalen ontwikkelden zich waddeneilanden. Onder invloed van de zeestromingen en sedimenttransporten verplaatsten de waddeneilanden zich met een gemiddelde snelheid van zo'n 200 à 300 meter per eeuw kustwaarts in zuidoostelijke richting. In het Subboreaal trad wel veengroei op, maar niet zo sterk als in andere gebieden en de zee bleef zijn invloed behouden. Dit is waarschijnlijk te danken aan het feit dat er veel grote zeegaten op relatief korte afstand van elkaar lagen, in tegenstelling tot de ononderbroken strandwal voor de Hollandse kust en langs de westelijke Waddenzee, evenals het feit dat er relatief weinig zoet water afstroomde. De kust van Noord-Nederland bestond toen uit uitgestrekte (wad- en) kweldergebieden (zie figuur 2.2). In het Subatlanticum nam de relatieve zeespiegelstijging weer de overhand, maar de kust bleef bestaan uit uitgestrekte kweldergebieden (zie figuur 2.3), doorsneden door kwelderkreken en rivieruitmondingen (de Boorne en de Hunze). Landinwaarts daarvan lagen lager gelegen zeekleigebieden, begroeid met Riet. Al in het begin van het Subatlanticum arriveerden de eerste mensen, om te gaan wonen op terpen. Deze werden vaak gebouwd op de hoger gelegen kwelderwallen langs kreken. Veel veen werd ontwaterd en afgegraven, waardoor de bodem daalde en de overstromingen toenamen. Zo werden in de Middeleeuwen de Middelzee (tussen eind 9e eeuw en 10e eeuw) en de Lauwerszee (tussen 750-1300 A.D.) groter. Voor landaanwinning werd al snel de Middelzee ingepolderd. De Lauwerszee had tot 1876 een open verbinding met het Reitdiep, dat vanaf Groningen op de Waddenzee uitwaterde. In 1969 werd het afgesloten van de zee, om als opvangbekken voor het Friese en Groningse boezemwater dienst te doen. De gehele kustlijn van Noord-Nederland is nu bedijkt (naar Zagwijn, 1986; Oost, 1995; Esselink, 2000).

2.1.4 Stroomgebied van de Eems

Tot het stroomgebied van de Eems behoort het Eems-Dollard-estuarium.

De rivier de Eems ontspringt in Duitsland, waar zij gevoed wordt door zijrivieren en mondt uit in de Waddenzee. Vanuit Nederland wordt het Eems-estuarium gevoed met kleinere stromen, zoals de Westerwoldse A. De ontwikkeling van het Eems-estuarium is vergelijkbaar met die van de oostelijke Waddenzee (zie hierboven).
Door toedoen van de mens werden de overstromingen in de Middeleeuwen versterkt en ontstond de Dollard-baai als inbraakgebied in Nederland, evenals de Leybocht, Harlebocht en Jadeboezem in het Duitse Waddengebied. In de Dollard (die in de 12e eeuw ontstond en haar grootste omvang bereikte rond 1520 A.D.) heeft vanaf de 16e eeuw tot aan 1954 landaanwinning plaatsgevonden. Sindsdien vindt op onbedijkte stukken weer erosie van kwelders plaats (Oost, 1995; Esselink, 2000).

2.2 Huidige en voormalige estuaria

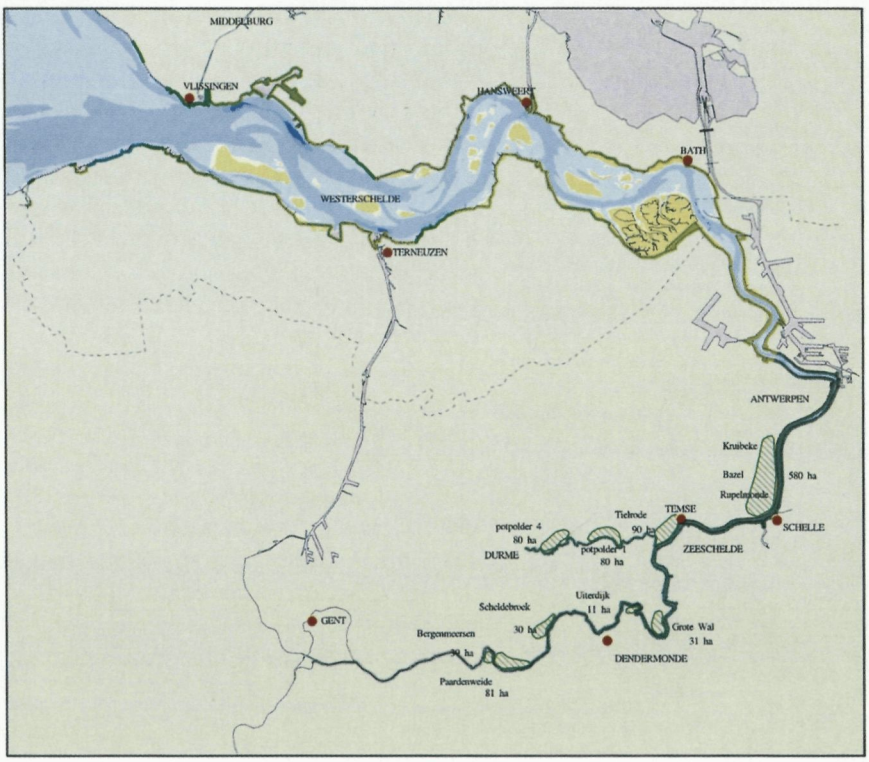
Uit de beschrijvingen in de vorige paragraaf is gebleken, dat het Nederlandse kustgebied gedurende een lange tijd een zeer dynamisch gebied was, waar zeeinbraken en rustige periodes elkaar afwisselden. Zo ontstonden veen, zand- en kleiafzettingen in een kustzone met vele geleidelijke overgangen tussen water en land en tussen zee en rivier. In de laatste eeuwen heeft de mens de kustlijn echter vastgelegd omwille van zijn veiligheid (Zuiderzeewerken, Deltaplan) en zijn alle estuaria afgesloten, behalve de twee estuaria aan onze uiterste grenzen en gedeeltelijk op buitenlands grondgebied: de Westerschelde en het Eems-Dollard-estuarium. Hierdoor heeft Nederland een kustlijn van duinen en dijken gekregen, zonder dynamiek en estuariene gradiÎnten. Binnen de randvoorwaarde van veiligheid boven alles, wordt nu op diverse plaatsen onderzocht waar herstel van estuaria of estuariene gradiÎnten mogelijk is. Daarom wordt een overzicht gegeven van de huidige, evenals de recent afgesloten estuaria, waar eventueel herstelmogelijkheden zijn. Deze zullen, net als in de vorige paragraaf, beschreven worden per stroomgebied, ingedeeld volgens de Europese Kaderrichtlijn Water, een kunstmatige indeling ten behoeve van het beleid.

2.2.1 Stroomgebied van de Schelde

Het stroomgebied van de Schelde bestaat uit het Westerschelde-Zeeschelde-estuarium, de (gedeeltelijk afgesloten) Oosterschelde (inclusief de omliggende wateren) en de (volledig afgesloten) Grevelingen. Daartussen ligt bedijkt land (klei op veen), met duinen aan de Noordzeekant.

Schelde-estuarium

Het estuarium van de Schelde bestaat uit de Zeeschelde, een voornamelijk Belgische rivier die in Nederland uitmondt in de Westerschelde (zie figuur 2.6).



Figuur 2.6
Het Schelde-estuarium. Bron: Meire et al., 1995.

De Schelde is van bron (ten noorden van St.-Quentin in Noord-Frankrijk) tot monding 355 km lang. Ze heeft een stroomgebied van circa 21.000 km^2, met diverse zijrivieren. Het getij dringt door tot de sluizen van Gent (die al in de 12^e eeuw gebouwd zijn), zo'n 160 km van zee. Bij Vlissingen, in de monding, is het getijverschil bijna 4 meter; bij Antwerpen ruim 5,2 meter en bij Gent nog 2 meter. Het water heeft daar een zeer gering zoutgehalte. De zoutgradiënt verschuift met de variaties in de zoetwaterafvoer. Tweederde van het water uit de bovenloop wordt afgetapt; benedenstrooms wordt via kanalen nieuw water (waaronder Rijn- en Maaswater) aangevoerd. Ten zuiden van Antwerpen bestaat de Schelde uit een enkelvoudige stroomgeul, die omwille van de scheepvaart geheel gekanaliseerd is. Slikken en zoetwaterschorren komen nog verspreid langs de dijken voor. De breedte van de rivier neemt toe van zo'n 50 meter bij Gent tot 1.350 meter bij Doel, vlak voor de Nederlandse grens. Daarna gaat de rivier meanderen over een brede bedding met een complexe structuur van geulen, zandbanken, slik (= wad)platen en schorren (= kwelders). In de monding bij Vlissingen bedraagt de breedte meer dan 5.000 meter. Ten behoeve van de scheepvaart (haven van Antwerpen) moet er in de Westerschelde intensief gebaggerd worden om de vaargeul op overdiepte te houden. Het grootste probleem van de Schelde is de slechte waterkwaliteit, vooral in de bovenloop. Ook de Westerschelde is sterk beïnvloed door menselijke activiteiten. De dynamiek is sterk afgenomen door inpolderen, baggeren en storten. Daardoor zijn karakteristieke estuariene ecotopen (vooral van het intergetijdengebied) verdwenen of in areaal afgenomen. Door gebrek aan ruimte is nieuwe slik- en schorvorming onmogelijk. Er wordt echter wel gestreefd naar verbeteringen (Meire et al., 1995; Vroon et al., 1997).

Oosterschelde

Tot het afsluiten van de verbinding tussen Ooster- en Westerschelde was de Oosterschelde de belangrijkste benedenloop van de Schelde en een belangrijk onderdeel van het Schelde-Rijn-Maas-estuarium. Het bestond uit de huidige Oosterschelde-zeearm, Veerse Meer, Krammer-Volkerak, Zoommeer, Markizaatsmeer en Eendracht. Na de aanleg van alle dammen inclusief de stormvloedkering (1986) in het kader van de Deltawerken (zie tabel 2.2 en figuur 2.5) is de zoetwateraanvoer minimaal geworden en bleef er een kleiner gebied over met gedempt getij en een constanter zoutgehalte. Veel natuurwaarden gingen daardoor verloren. Onderzocht wordt nu of en hoe een zoet-zout gradiënt in de Oosterschelde weer hersteld kan worden (Haas, 1998). Vanuit de Oosterschelde kwelt zout water binnendijks op. Hiervan wordt gebruik gemaakt bij natuurontwikkelingsprojecten, om een zoet-zout gradiënt te verkrijgen (o.a. Plan Tureluur).
Ook voor het Veerse Meer worden plannen ontwikkeld. Het is momenteel een brak, vrij stagnant meer (15 ‰S) met een vrij hoge watertemperatuur. Het ecosysteem is slecht ontwikkeld; algenbloei komt regelmatig voor.

Grevelingen

Tot de uitvoering van de Deltawerken was de Grevelingen een onderdeel van het Rijn-Maas-estuarium. Door aanleg van de Grevelingendam in 1964 werd er geen zoet water meer aangevoerd en was de Grevelingen even een zoutwatergetijdengebied. De Brouwersdam in 1971 sloot de Grevelingen van de zee af, waardoor het een stagnant zout meer werd, zonder getijden. Vanuit de omringende polders vloeit wat zoet water toe, maar door de spuisluizen in de Brouwersdam wordt het zoutgehalte op peil gehouden (Haas, 1998).

Tabel 2.2
Afsluitingen in het Nederlandse kustgebied.
Bron: aanpassing van Eertman & Smaal, 1997.

Oorspronkelijke situatie	Ingreep (jaar)	Nieuwe situatie	Nieuw karakter van watersysteem
Waddenzee:			
Lauwerszee	Afsluiting (1969)	Lauwersmeer	stagnant zoet met lokaal kwelgebieden
Middelzee	Laatste bedijking in 1921	Bedijkt land en zomerpolders	land en brak
Zuiderzee	Afsluitdijk (1932)	IJsselmeer	stagnant zoet
Deltagebied:			
Haringvliet-estuarium	Haringvlietdam (1970)	Haringvliet	stagnant zoet
Grevelingen-estuarium	Grevelingendam (1964) Brouwersdam (1971)	Grevelingenmeer	stagnant zout
Oosterschelde-estuarium (incl. Krammer-Volkerak, Zoom- en Markiezaatgebied en Veerse Gat-Zandkreek)	Zandkreekdam (1960) Grevelingendam (1964) Oesterdam (1986) Stormvloedkering (1986) Philipsdam (1987)	Oosterschelde-zeearm	marien getijdenwater
	Volkerakdam (1969)	Volkerak-Zoommeer	stagnant zoet
	Markiezaatskade (1983)	Markiezaatsmeer	stagnant zoet
	Veerse Dam (1961)	Veerse Meer	stagnant brak

2.2.2 Stroomgebied van de Maas

Het stroomgebied van de Maas bestaat uit de rivier de Maas, de Biesbosch, het Hollandsch Diep en het Haringvliet.

Het Haringvliet (incl. Hollandsch Diep en Biesbosch)
Voor de grote waterhuishoudkundige ingrepen van de afgelopen eeuw was het Haringvliet een belangrijk onderdeel van het Rijn-Maas-estuarium (evenals Oosterschelde, Grevelingen en Nieuwe Waterweg) en was de Biesbosch een zoetwatergetijdengebied. De getijslag was ongeveer 1,80 meter aan de kust (bij Hellevoetsluis) en maximaal 2,25 meter bij Moerdijk, aan het begin van de Biesbosch. Er was een voortdurend wisselende zoutgradiënt. Het intergetijdengebied bestond uit slikken en zandplaten en schorren op de hogere delen. Door de rivier en vanuit zee werd slib en vooral zand afgezet,. De fauna bestond uit mariene- en brakwatersoorten in het Haringvliet en uit zoetwatersoorten vanaf het Hollands Diep verder oostwaarts. De flora bestond uit uitgebreide biezen- en rietgorzen in het Haringvliet en Hollands Diep en uit grienden (=getijdenbossen) in de Biesbosch. Na afsluiting van de andere estuaria (sinds 1969) en in 1970 ook van de zee, werd het Haringvliet een zoetwaterafvoergebied met zeer weinig getij (tot ongeveer 0,3 meter) en alleen zoet water, met een hogere waterstand. Vrijwel het hele intergetijdengebied verdween. Zout- en brakwatersoorten zijn verdwenen en vervangen door soorten van voedselrijke zoete wateren. De Biesbosch is verruigd en verarmd. Aan de zeezijde van de Haringvlietsluizen nam de sedimentatie toe en ontwikkelden zich nieuwe duinen, schorren en ondiepe zones. Onlangs is een MER-procedure gevoerd en het Kierbesluit getekend, waardoor langzaamaan toegewerkt wordt naar gedeeltelijke openstelling van de Haringvlietsluizen naar

een situatie met getemd getij , zodat estuariene gradiënten en de bijbehorende natuurwaarden weer hersteld kunnen worden (Paalvast et al., 1998).

2.2.3 Stroomgebied van de Rijn

Tot het stroomgebied van de Rijn behoort een groot deel van de Nederlandse kust, namelijk de Nieuwe Waterweg, de Zuid- en Noordhollandse kust, de Waddenzee, het IJsselmeer en het Lauwersmeer.

De Nieuwe Waterweg

De Nieuwe Waterweg is gegraven tussen 1864 en 1868 om de Rotterdamse haven een betere verbinding met zee te geven en sindsdien is het ook de belangrijkste doorlaat van Rijnwater naar de Noordzee. Het vormt (inclusief het havengebied, de Oude en Nieuwe Maas, Lek, Beneden Merwede, Spui, Dordtse Kil en Sliedrechtse Biesbosch) weliswaar geen natuurlijk estuarium, maar wel een gebied met ecologische en estuariene potenties. Het getijverschil is bij zee ongeveer 1,6 meter en in de haven ongeveer 1,8 meter. Het heeft geen intergetijdengebied, maar alleen een diepe vaargeul in het midden, van 10 tot 24 meter diep, en ondieptes van zo'n 1,5 meter langs de smalle oeverstroken. Slechts op een enkele plaats is een geleidelijke, natuurlijke overgang tussen water en land aanwezig. Er is wel een zoet-zout gradiënt aanwezig, maar slechts over een beperkte lengte van ruim 10 km door de grote hoeveelheid zoet water die wordt afgevoerd. Hierbij treedt een verticale gelaagdheid op. Door (gedeeltelijke) openstelling van de Haringvlietsluizen kan de zoutgradiÎnt langer worden. Door aanleg van intergetijdengebieden kunnen de natuurwaarden verhoogd worden (Eertman & Smaal, 1996). Hiervan is onder andere sprake bij het aanleggen van de tweede Maasvlakte.

De Hollandse kust

Deze bestaat al bijna 6000 jaar uit een grotendeels gesloten strandwal, waarop zich later duinen hebben ontwikkeld (Van Dijck, 1999). Hierin heeft zich een zoetwaterbel gevormd. Via het grondwater kwelt zoetwater vanuit de zoetwaterbel naar zee en naar de binnenduinrand. Tevens is er zoute kwel in de binnenduinrand vanuit zee. Op een enkele plaats (De Kerf) dringt de zee tegenwoordig een eindje landinwaarts door de duinen heen (sluftervorming).

Het Waddengebied

Het Nederlandse (en Duitse) Waddengebied is al zo'n 6.000 jaar een open barrière-eiland kust, met waddeneilanden en daarachter een groot intergetijdengebied (zand en klei), bestaande uit droogvallende zandplaten, wad en kwelders (Van Dijck, 1999). Aan de Noordzeekant van de eilanden liggen duinen, met hier en daar een inham (slufter). Aan de wadkant van de eilanden en aan de vastelandkant liggen kwelders, al dan niet ingedijkt en ingepolderd. De Noord-Nederlandse kust is geheel bedijkt en de Zuiderzee en Lauwerszee zijn afgesloten. Door de dimensies van de Zuiderzee heeft de afsluiting van de Zuiderzee geresulteerd in een opslingering van het getij (en daarmee van het getijvolume) in het resterende stroomgebied van Marsdiep en Vlie. De grootste veranderingen die optraden, waren het opvullen van de geulen naar de Zuiderzee en het verdiepen van de overblijvende geulen om het grotere getij te verwerken. Ook zijn vlak na de afsluiting de zeegrassen verdwenen (deze gedijen het best bij 25 ‰ zout). Een aanzienlijke verarming van het ecosysteem was het gevolg.
De afsluiting van de Lauwerszee had daarentegen tot gevolg dat het getijvolume afnam. Daarop namen de stroomsnelheden door de Zoutkamperlaag sterk af, waardoor versterkte sedimentatie optrad in deze geul,

zodat deze lokaal meters ondieper werd. Door opvulling met tientallen miljoenen kubieke meters zand en slib (vanuit de buitendelta) nemen de stroomsnelheden geleidelijk weer toe. Doordat het getijdewater door de (na de afsluiting te diepe) geul snel naar het wantij onder Schiermonnikoog kon doorlopen, verschoof deze in oostwaartse richting. De laatste tijd lijkt deze situatie zich langzaam te herstellen (Oost, 1995).

IJsselmeer
Het IJsselmeer is in 1932 ontstaan door de aanleg van de Afsluitdijk, die de Zuiderzee afsloot van de Waddenzee. De Zuiderzee was een brakwater-getijdengebied, waarin de IJssel, de Overijsselse en Utrechtse Vecht en de Eem uitmondden. Het getijverschil was niet groot: bij Stavoren ongeveer 50 cm en bij Urk zo'n 20 cm. In het zuiden was de Zuiderzee vrijwel zoet door de uitstroom van rivieren. Naar het noorden toe werd het water langzaam zouter, waardoor er een geleidelijke zoet-zoutgradiënt bestond.
Na de afsluiting was het getij direct verdwenen en na 5 jaar ook de zoute invloed. Nu is het een groot, vrij ondiep zoetwatermeer, dat gebruikt wordt voor de drinkwatervoorziening, de landbouw, recreatie en door vele vogelsoorten. Onderzocht wordt of het mogelijk is om naast een aangepast spuibeheer ook een brakke zone rond de Afsluitdijk te creëren (Walker et al., 2000).

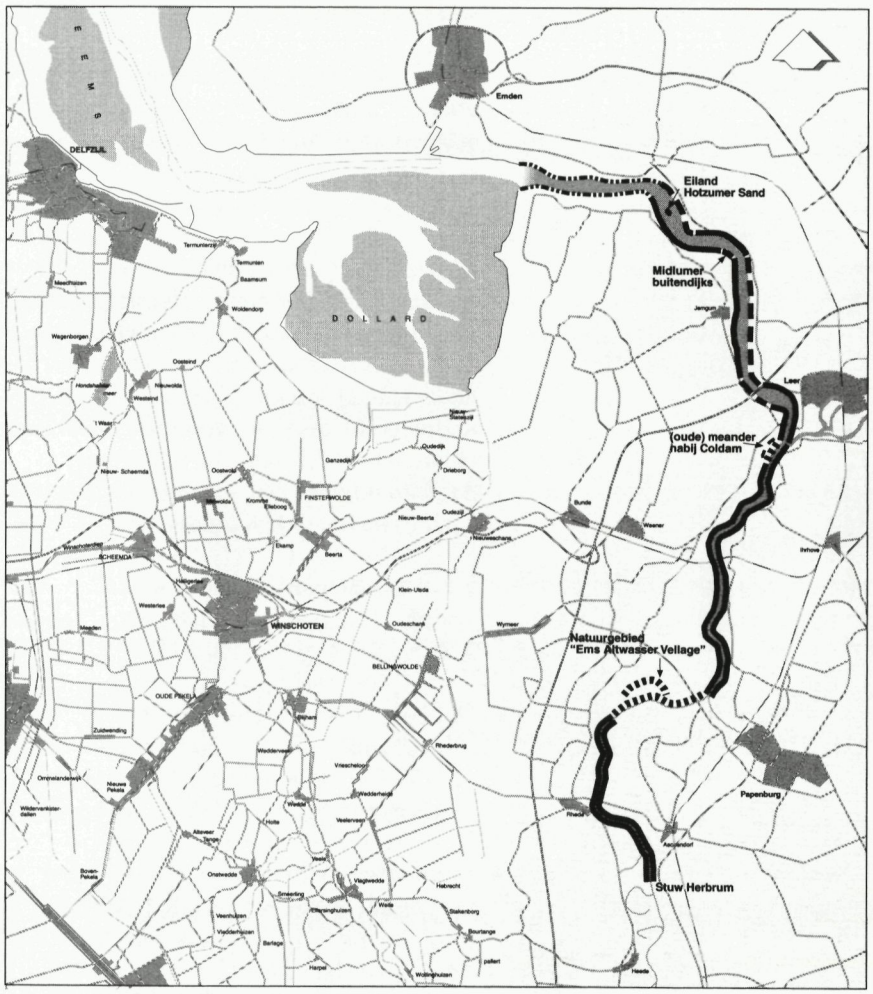
Lauwersmeer
In 1969 is de Lauwerszee afgesloten van de Waddenzee en zo is het Lauwersmeer ontstaan. De Lauwerszee was een inham van de Waddenzee en bestond uit een zout tot brak intergetijdengebied (geulen, zand- en slibplaten en kwelders), waarin zoet water stroomde via o.a. de Ee, de Lauwers en het Reitdiep (die deels het voormalige Hunzedal volgt). Ooit reikte het getij via de rivieren tot in Groningen en Dokkum. De getijdekaden in Groningen zijn daarvan nog een stille getuige. Het afgesloten Lauwersmeer is in korte tijd verzoet en het getij is verdwenen.

2.2.4 Stroomgebied van de Eems
Tot het stroomgebied van de Eems behoort het Eems-Dollard estuarium (figuur 2.7).

Het Eems-Dollard-estuarium
Het estuarium van de Eems ligt op de grens met Duitsland (zonder duidelijke grenslijn) en is het enige nog open estuarium in het noorden van Nederland. Het is in een aantal opzichten vergelijkbaar met de andere Wadden-estuaria, namelijk die van de Weser, Elbe, Eider (Duitsland) en Varde Å (Denemarken). Het bestaat uit de Duitse rivier de Eems, die bij Pogum in de Dollard uitmondt. De Dollard is een inham van de Waddenzee en wordt gezamenlijk door Nederland en Duitsland beheerd, op grond van het Eems-Dollard Verdrag uit 1960. Aan Nederlandse zijde mondt de Westerwoldse Aa bij Nieuwe Statenzijl in de Dollard uit. Het getijverschil in het Eems-Dollard-estuarium is 2,3 meter bij de monding in de Waddenzee (Borkum), ongeveer 3,2 meter bij Emden (Dollard) en is meer dan 100 km landinwaarts nog merkbaar bij de sluis van Herbrum. Er is een horizontale zoutgradiënt, die verschuift onder invloed van het getij en de wisselende zoetwaterafvoer. Daarnaast is er grote dynamiek op het gebied van sedimentatie, die wisselt van erosie tot afzetting, van zowel fijn als grof materiaal. De Dollard bestaat uit een stelsel van geulen, wad- en slikplaten en, langs de zuidrand, kwelders (ten gevolge van landaanwinning). Ten behoeve van de scheepvaart moet er continu gebaggerd worden in de

Eems-vaargeul. Het estuarium is een ecologisch rijk gebied, dat echter sterk antropogeen beïnvloed wordt. Vervuiling van de Dollard door lozingen van industrieel organisch afvalwater via de Westerwoldse A leidde tot een groot inventarisatieproject in de jaren 70 (BOEDE: Biologisch Onderzoek Eems-Dollard Estuarium) en een zuivering van het afvalwater. Een nieuwe ingreep is de bouw van een stormvloedkering annex stuw (Sperrwerk) in de Eems, vlak voor de monding in de Dollard (Essink & Esselink, 1998). Hoe dit Sperrwerk in de toekomst wordt ingezet, zal bepalen of dit een belangrijke invloed zal hebben op het gebied, met name benedenstrooms. Mogelijkheden voor herstel van de ecologische waarde, met toename van de veiligheid van het watersysteem van de Eems en de Dollard, is uitgebreid beschreven in een Herstelplan voor Eems en Dollard (Van der Welle & Meire, 1999).

Figuur 2.7
Het Eems-Dollard estuarium. Bron: Van der Welle & Meire, 1999.



Samenvattend kunnen we stellen, dat het Nederlandse kustgebied anno 2000 bestaat uit:

- dijken, met zoetwater-uitlaten vanuit het achterliggende polderland
- duinen aan de Noordzee-kant, met kleine zee-inhammen (=slufters) en een brakke binnen- en buitenduinrand
- waddengebied met zandplaten en geulen, wad en kwelders (met slenken)
- estuaria (Westerschelde en Eems-Dollard), met estuariene overgangen (schorren/kwelders, slikken, platen) en binnendijkse brakke gebieden

- afgesloten estuaria (Oosterschelde, Grevelingen, Haringvliet, IJsselmeer en Lauwersmeer), zonder estuariene overgangen

Dijken zijn volledig antropogene landschapselementen en vormen een harde grens tussen zee en land, nat en droog, hoog en laag en zout en zoet. Duinen, wadden, kwelders en estuaria vormen (semi-)natuurlijke overgangen van zee naar land, die meer of minder worden beïnvloed door menselijke ingrepen en vrijwel overal vastgelegd zijn, waardoor de natuurlijke dynamiek sterk achteruitgegaan is, evenals de natuurwaarden van deze voor Nederland karakteristieke gebieden (De Boer & Wolff, 1996; Lenselink & Gerits, 2000). Afsluitingen van estuaria hebben grote gevolgen gehad voor de omgeving, door veranderende waterstromen en sedimentatieprocessen.

Van de bovengenoemde semi-natuurlijke overgangen hebben alleen de estuaria een **totaal aan geleidelijke overgangen,** van zout naar zoet water, van zee- naar riviersediment, van zand naar slik, van hoog en droog naar laag en nat, en van zoutwater- naar zoetwaterorganismen. Voor het bestuderen van deze **estuariene gradiënten** moeten we ons dus in de eerste plaats richten op estuaria. Een uitgebreide en algemene beschrijving daarvan wordt gegeven in hoofdstuk 3 en 4.

2.3 Toekomstige (autonome) ontwikkelingen

Zeespiegelstijging is een belangrijke factor geweest bij de ontwikkeling van het Nederlandse kustgebied (zie paragraaf 2.1). Voorspellingen geven aan dat de **natuurlijke zeespiegelstijging** voort zal gaan. Mogelijk zal dit door het broeikaseffect zelfs in versnelde mate gebeuren. Daarnaast treedt **natuurlijke bodemdaling** op (door tectoniek en inklinking), die plaatselijk versterkt kan worden door zand-, schelpen- en vooral gas- en zoutwinning. Alleen al de natuurlijke zeespiegelstijging en de natuurlijke bodemdaling leiden momenteel al tot een relatieve zeespiegelstijging van gemiddeld 18 cm per eeuw. Voorspellingen over klimaatopwarming geven scenario's waarbij een zeespiegelstijging van 85 cm per eeuw en een **temperatuurstijging** van het water van 3°C tot de mogelijkheden behoort.

Ook de hoeveelheid **stormen** kan met circa 10% toenemen. Door sedimenttransport kan in een gebied als de Waddenzee, volgens modellen en studies, een zeespiegelstijging van maximaal 30 tot 100 cm nog door de natuur opgevangen worden. Bij een grotere zeespiegelstijging zullen naar verwachting de wadplaten niet meer genoeg kunnen aanzanden en zal de Waddenzee verdrinken en een lagune worden. Metingen suggereren dat de kwelders op de Waddeneilanden een stijging tot hooguit zo'n 60 cm per eeuw kunnen bijhouden, tenzij doorbraakgeulen en slufters worden toegestaan, zodat het kweldergebied versneld kan ophogen (zoals in het verleden van nature gebeurde). De vastelandskwelders zullen een grotere stijging kunnen bijhouden door kunstmatig versnelde ophoging op de landaanwinningswerken, maar zullen wel aan zeer sterke kliferosie blootgesteld worden.
De grote hoeveelheden extra zand die de Waddenzee nodig heeft ter compensatie van de zeespiegelstijging, zullen aangevoerd worden door de stromingen uit de Noordzee, waardoor de erosie aan de Noordzeekant sterk zal toenemen. Dit betekent toename van zandsuppletie en extra kosten.
In nationaal en internationaal verband wordt gezocht naar mogelijkheden om gebruik te maken van de veerkracht van het kustsysteem, om de negatieve

gevolgen zo goed mogelijk op te vangen. Dit kan bijvoorbeeld door mosselbanken op de platen uit te zetten, of door aanleg van zeegrasvelden, omdat deze in staat zijn om door een slibneerslag een grote zeespiegelstijging (plaatselijk) bij te houden (Krol et al., 2000).

Naast zeespiegelstijging is ook een **veranderende zoetwaterafvoer** een ontwikkeling die aandacht behoeft. Men verwacht een toename van de afvoer gedurende de winterperiode en een afname gedurende de zomers. Meer ruimte voor het water, met natuurlijke, geleidelijke overgangen, kunnen een oplossing voor de verhoogde waterstanden zijn, zonder dat de veiligheid in het geding komt (Kiezebrink, 2000). Weinig is echter nog bekend over de effecten van klimaatsverandering op estuariene gradiÎnten en op de afzonderlijke soortengroepen.



Het riviertje De Westerwoldse A stroomt uit in de Dollard.
Foto: Jaap de Vlas

3 Estuaria

Samenvatting
Estuaria zijn kustgebieden, die in een zeer lange tijdsperiode gevormd worden onder invloed van valleivorming (door water of ijs), verdrinking (door zeespiegelstijging) en opvulling (door sedimentatie). Ze ontwikkelen zich naar een hydrodynamische evenwichtstoestand. Ze bestaan uit het hele overgangsspectrum van rivier tot zee, inclusief de oevers, zijnde 1) zoetwatergetijdengebied, 2) mengzone met vele gradiënten (van zoet naar zout, van zand naar slib, van hoog naar laag, van nat naar droog) en 3) de kustzone. Estuaria hebben een intergetijdengebied en zijn zeer dynamisch. Het middengedeelte bestaat uit brak water: al het water tussen zoet en zout, met een saliniteit van 0,5 tot 35 ‰ S. Estuaria kunnen op velerlei manieren geclassificeerd worden, zoals bijvoorbeeld op grond van geomorfologie (sedimentatie, vorm en reliëf), hydrologie (water- en zoutbalans, getij, golfslag en stratificatie) en antropogene invloeden. Binnen een estuarium zelf zijn ook diverse indelingen te maken, op grond van vooral de saliniteit, waterkwaliteit en ecotopen. Deze laatste worden tegenwoordig veel gebruikt in het beleid, ter vergelijking van gebieden en evaluatie van ontwikkelingen.

Doel
Overzicht geven van het ontstaan van estuaria op mondiale schaal.

Het geven van een bruikbare definitie van een estuarium en van brak water.

Het geven van een zo compleet mogelijk beeld over de verschillen en overeenkomsten tussen estuaria op mondiale schaal.

Het geven van een gedetailleerd beeld van de lokale verschillen binnen een estuarium.

Conclusies en aanbevelingen
Estuaria danken hun bestaan aan een langdurig samenspel van getij en zoetwaterafvoer, waarbij de overheersing en sedimentatie van de zee of de rivier uiteindelijk de morfologie van het estuarium bepaalt.

De meest gebruikte en geaccepteerde definitie van een estuarium (Day et al., 1989) omschrijft het totale estuariene systeem van zoetwatergetijdengebied op de rivier tot en met de kustzone op zee; hierin komt een groot aantal zoetwater- tot zoutwaterorganismen voor. Aanbevolen wordt om deze definitie ook in de Nederlandse situatie te gebruiken. Brak water is het water tussen zoet water en zeewater in, dus 0,5-35 ‰S, waarin vooral estuariene soorten leven.

De veelheid aan classificaties geeft de enorme variatie en veelzijdigheid van een estuarium weer. Het geeft een compleet beeld van de dynamiek in ruimte en tijd. Aanbevolen wordt om vanuit deze compleetheid naar de specifieke omstandigheden te kijken van het te onderzoeken estuarium. Kwantitatieve gegevens (bijvoorbeeld over de lengte van een zoutgradiënt en hoeveel zoetwater er nodig is) ontbreken echter nog.

Classificatiecriteria ter onderscheid van estuaria of estuariene zones, geven een beeld van de karakteristieken en hun onderlinge verhoudingen (bijvoorbeeld de getijinvloed, de hoeveelheid zoetwater en de waterkwaliteit). Dit kan gebruikt worden bij het maken van keuzes over wat en hoe hersteld moet worden.

Binnen een estuarium worden in de waterkolom diverse saliniteitszones onderscheiden, die fluctueren in ruimte en tijd. Op de bodem van estuaria worden "ruimtelijke habitats" (ecotopen) onderscheiden, die de grote diversiteit aan organismen weerspiegeld.

Er wordt een ecotopenstelsel ontworpen, dat de habitats met bijbehorende soorten van het zoute naar het zoete water beschrijft, om veranderingen op ecologisch gebied in estuaria te kunnen meten en te voorspellen. Hierdoor kunnen ontwikkelingen op het gebied van ingrepen en herstel in de ruimte en de tijd gevolgd worden op lokale en gedetailleerde schaal.

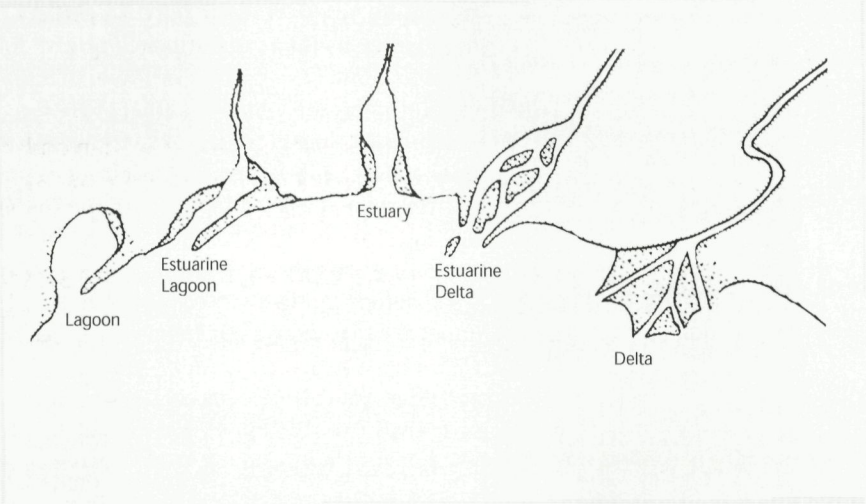
3.1 Ontstaan

Estuaria zijn kustgebieden, die in een zeer lange tijdsperiode (in Nederland: Pleistoceen en Holoceen) zijn gevormd onder invloed van 3 belangrijke ruimtelijke processen, namelijk 1) valleivorming (door uitstroming van rivierwater of gletsjerijs), 2) verdrinking (door zeespiegelstijging) en 3) opvulling (door sedimentatie). Ieder estuarium ontwikkelt zich in zijn eigen tempo en onder specifieke fysische omstandigheden en is daarom uniek. Vanuit geomorfologisch oogpunt heeft een estuarium op de zeer lange termijn een eindstadium, waarin het volledig opgevuld is (fossiel estuarium). Vanuit hydrodynamisch oogpunt ontwikkelt een estuarium zich echter op een kortere termijn van eeuwen naar een semistabiele evenwichtstoestand. De huidige estuaria zijn alle ontstaan na de laatste ijstijd (11.000 jaar geleden) door de post-glaciale zeespiegelstijging (zie figuur 2.1). Deze stabiliseerde vanaf zo'n 6.000 jaar geleden. Sindsdien is de zeespiegelstijging gering en overheerst de sedimentatie. Door een natuurlijke bodemdaling is er echter nog steeds sprake van een relatieve zeespiegelstijging (Fairbridge, 1980), die wordt versterkt door antropogene invloeden (zie paragraaf 2.3).

Wanneer in een estuarium de sedimentatie vanuit de rivier de overhand heeft op de getij-invloed en de golfkrachten van de zee, dan wordt een **delta** opgebouwd. Dit is een in zee uitstekend sedimentlichaam, dat meestal bestaat uit een zandig skelet met tussenliggende delen van fijnkorreliger materiaal (Oost, 1999). Wanneer de zee-invloed overheerst door grote getijverschillen en er weinig sedimentatie is, ontstaat een trechtervormig, **open estuarium** (Fairbridge, 1980). Wanneer bij een kust bestaande uit los zand de sedimentatie vanuit zee overheerst en de stroming gering is, kunnen door longitudinaal transport strandwallen worden gevormd, met daarachter een **lagune of**

waddengebied (Pannekoek & Van Straaten, 1984; Fairbridge, 1980). Day et al. (1989) beschrijven deze kustvormen als vijf estuariene typen (zie figuur 3.1).

Figuur 3.1
Schematische weergave van het continuüm aan estuariene typen, van lagune tot delta. Bron: Day et al., 1989.



In de Nederlandse situatie zijn de estuaria in het Deltagebied alle open estuaria geweest (zee-invloed overheerste met grote getijverschillen over rivierafvoer), is het Waddengebied een lagune (met geringe stroomsnelheid, veel sedimentatie vanuit zee en weinig zoetwaterafvoer) en komen delta's niet voor.

Alle estuaria verkeren in een dynamisch evenwicht, waarbij zeespiegelschommelingen en sedimentatieprocessen een allesbepalende rol spelen en afhankelijk zijn van de fysische omstandigheden. Daarnaast spelen ook menselijke ingrepen tegenwoordig een grote rol. Deze natuurlijke en antropogene invloeden maken elk estuarium uniek. Desalniettemin hebben alle estuaria gemeenschappelijke kenmerken en levensvoorwaarden, die hierna beschreven worden.

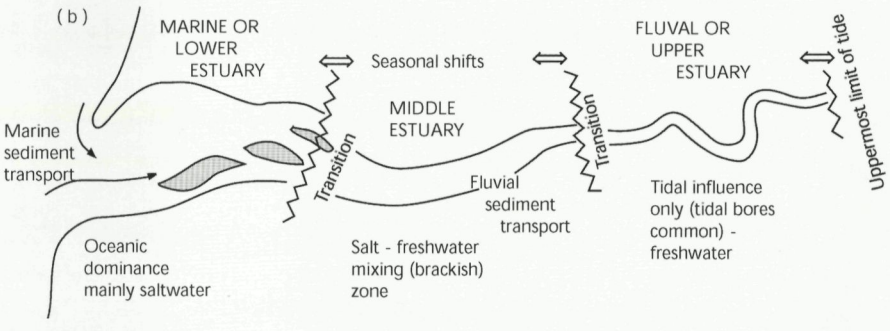
3.2 Definitie

In het Groot Woordenboek der Nederlandse taal (Van Dale, 1992) wordt een estuarium omschreven als **"een wijde trechtervormige riviermond, waarin eb en vloed zich sterk doen gevoelen"** . In de loop van de tijd is er in de wetenschappelijke literatuur een definitie van estuaria ontwikkeld, die meer de karakteristieken en de ruime begrenzing van een estuarium aangeven. Achtereenvolgens worden definities van de bekendste auteurs besproken.

Pritchard
Veel geciteerd werd in eerste instantie de definitie van Pritchard (1967): **"An estuary is a semi-enclosed coastal body of water which has a free connection with the open sea and within which sea water is measurably diluted with fresh water derived from land drainage".** In deze definitie wordt alleen de eigenschap van menging van zoet en zout water beschreven. Dit houdt in, dat de begrenzing van het estuarium in de rivier verschuift met de seizoens-fluctuaties in de rivierafvoer.

Fairbridge

Fairbridge (1980) bekritiseert deze definitie omdat het de belangrijke factor getij mist (terwijl het woord estuarium afkomstig is van het Latijnse woord "aestuarium" hetgeen "getijde" betekent) en geen grenzen aangeeft. Hij komt zelf tot de volgende definitie: **"An estuary is an inlet of the sea reaching into a river valley as far as the upper limit of tidal rise, usually being divisible into three sectors: (a) a marine or lower estuary, in free connection with the open sea; (b) a middle estuary, subject to strong salt and freshwater mixing; and (c) an upper or fluvial estuary, characterized by fresh water but subject to daily tidal action"** (zie figuur 3.2). Hiermee is het begrip estuarium uitgebreid met het zoetwatergetijdengebied, dat een duidelijk meetbare grens heeft. Deze bovengrens wordt zelfs op alle Britse Ordnance Survey kaarten aangegeven (McLusky, 1993). Deze uitbreiding is algemeen geaccepteerd (bijvoorbeeld Davidson et al., 1991; McLusky, 1993; Schuchardt et al., 1993 en 1999) en impliceert dat de organismen van het zoetwatergetijdengebied nu ook tot de estuariene levensgemeenschappen behoren. Deze omvatten hierdoor het volledige saliniteitsspectrum van zoet tot en met zout. Onder invloed van seizoensfluctuaties in het rivierdebiet zullen de grenzen verschuiven.



Figuur 3.2
Geïdealiseerd schema van de 3 onderdelen van een estuarium volgens Fairbridge. De grenzen zijn overgangszones, die verschuiven onder invloed van het seizoen, het weer en het getij. Bron: Fairbridge, 1980.

Day et al.

Day et al. (1989) gaan echter nog een stap verder. Voor het beschrijven van de ecologie van een estuarium hebben zij een heel ruime definitie gemaakt, die het hele spectrum van estuariene typen van lagune tot delta beschrijft en ook de kustzone meeneemt: **"An estuarine system is a coastal indentation that has restricted connection to the ocean and remains open at least intermittently. The estuarine system can be subdivided into three regions: (a) a tidal river zone, subject to tidal rise and fall of sea level; (b) a mixing zone (the estuary proper), characterized by water mass mixing and existence of strong gradients of physical, chemical and biotic quantities; and (c) a nearshore turbid zone in the open ocean"**. Naast een mengzone van zoet en zout water (eerder beschreven door Pritchard), een zoetwatergetijdengebied (al geïntroduceerd door Fairbridge), horen volgens deze definitie ook de aanliggende kustwateren bij een estuarium en kan het vele vormen hebben. Alle grenzen zijn echter dynamisch door de schommelingen in rivierwaterafvoer en in getijamplitude (van dood tij tot spring tij).

De zijwaartse begrenzing van een estuarium wordt in één rapport besproken en wel als volgt: **"alle gebieden tot de hoofddijk of, waar die ontbreekt, de springvloedlijn"** (Schuchardt et al., 1999).

In ons rapport gaan wij uit van de beschrijving van een estuarien systeem, volgens de definitie van Day et al. (1989) (zie boven). Dit impliceert dat de begrenzing aan de zeezijde wordt gevormd door het zoutgehalte, en aan de rivierzijde en landzijde door het getij. Hierdoor ontstaat een range van (geleidelijke) overgangen, van een mariene kustzone (zout) tot en met een zoetwatergetijdenzone (zoet) landinwaarts, en zijwaarts van open water (laag en nat) tot en met kwelders, cq zoetwatergetijdenvegetaties (zoetwaterschorren) (hoog en droog).

Brak water

In het kader van estuaria en estuariene gradiënten wordt ook de term **brak water** veel gebruikt: water met een zoutgehalte tussen de 35 en 0,5 ‰ S (totale zoutconcentratie), dus **het water met een zoutgehalte tussen zee en zoet water in**. Het zoutgehalte van zeewater is namelijk gemiddeld 35 ‰ (kustzeeën gemiddeld 33 ‰; tropische zeeën gemiddeld 37 ‰). Rivierwater heeft onder natuurlijke omstandigheden nooit een zoutgehalte boven de 0,5 ‰. Het water van estuaria heeft dus een zoutgehalte tussen de 35 en 0,5 ‰ S en kan dus in zijn algemeenheid brak genoemd worden, ter onderscheiding van het zoute zeewater en het zoete rivierwater. Deze laatste twee hebben een zeer constant zoutgehalte; estuarien water daarentegen heeft **een zeer variabel zoutgehalte** (McLusky, 1989).

Verwarrend is, dat de term brak ook wel wordt gebruikt voor alleen het mesohaliene gedeelte van een estuarium (met een gemiddelde saliniteit van ongeveer 5-18 ‰ S), vooral wanneer het om brakwatersoorten gaat (bron: Redeke, 1922; Remane, 1934) (zie paragraaf 4.5). Tegenwoordig wordt echter naar het hele spectrum van zoet tot zout gekeken.

3.3 Classificatie van estuaria

Estuaria kunnen op grond van vele criteria geclassificeerd worden. Veel auteurs hebben zich daar mee bezig gehouden. Dit geeft een groot inzicht in de kenmerken van estuaria en vooral de verschillen er tussen. In onderstaand schema wordt een overzicht gegeven van de meest voorkomende criteria en referenties. Deze worden daarna kort beschreven, om het totaalbeeld over estuaria te vergroten.

CRITERIA VOOR CLASSIFICATIE VAN ESTUARIA

1. Geomorfologie
   - Pritchard, 1952 (in: Fairbridge, 1980) (sedimentafvoer)
   - Fairbridge, 1980 (morfologie)
   - Day et al., 1989 (morfologie)
   - Davidson et al., 1991 (morfologie)
2. Hydrologie
   - Pritchard, 1952 (in: Fairbridge, 1980) (rivierwaterafvoer)
   - Hansen & Rattray, 1966 (stratificatie en circulatie)
   - Biggs & Cronin, 1981 (in: Cadeé, 1994a) (zout, getij en menging)
   - Eisma, 1998 (getijverschil)
   - Nichols & Biggs, 1985 (in: Dyer, 1997) (getij en morfologie)
   - Dalrymple et al., 1992 (getij en golfslag)
   - Pieters, 1998 (stratificatie)

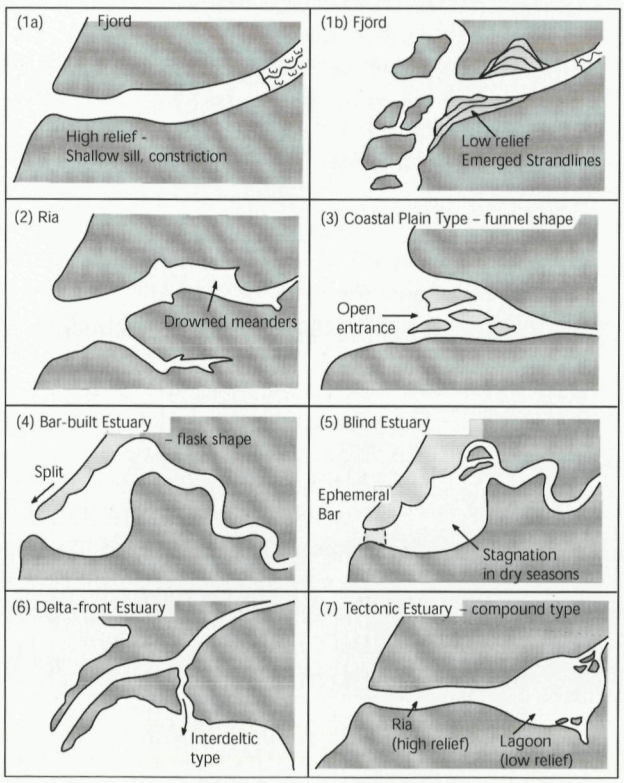
3. Antropogene invloeden
- Saeijs, 1982 (menselijke aktiviteiten)
- Van Westen & Scheele, 1996 (vervuilingsgraad)

3.3.1 Geomorfologie

Pritchard (1952) (in: Fairbridge, 1980) heeft estuaria geclassificeerd op grond van hun sedimentatie. Hij onderscheidde 3 groepen van estuaria:
- estuaria die snel opgevuld worden (tot een delta) door hoge sedimentlast vanuit de rivier *(positive-fill estuaria)*;
- estuaria waarin de sedimentatie vanuit zee de overhand heeft (*inverse-fill estuaria*);
- estuaria waarin een zeker evenwicht bestaat en vooral organisch materiaal sedimenteert (*neutral estuaria*).

Nederlandse estuaria zijn **inverse-fill** estuaria.

Fairbridge (1980) heeft op grond van reliëf en vorm een indeling in 7 categorieën gemaakt (zie figuur 3.3), namelijk:
- estuarium met een hoog of gematigd reliëf en een U-vormig bodemprofiel: respectievelijk *fjord* of *fjärd*.
- estuarium met een gematigd reliëf en een V-vormig bodemprofiel: *ria*.
- estuarium met weinig reliëf, veel sedimentatie en trechter- of flesvormig: *kustvlakte-estuarium* ('*coastal plain*').
- estuarium met weinig reliëf, sedimentatie vanuit zee, benedenloop parallel aan de kust, L-vormig: *drempelvormig estuarium* ('*bar-built estuary*').
- estuarium met weinig reliëf, in droge seizoenen afgesloten door kustsedimenten: *blind estuarium*.
- estuarium met weinig reliëf en sedimentatie vanuit de rivier: *delta front estuarium*.
- samengesteld estuarium: een flesvormige ria met achterliggende lagune: *tectonisch estuarium*.



Figuur 3.3
Estuarium-typen op grond van geomorfologie. Bron: Fairbridge, 1980.

Binnen de bovengenoemde categorieën komen natuurlijk regionale verschillen voor. De Nederlandse estuaria kunnen het beste worden gekarakteriseerd als **kustvlakte estuaria**. Ook Day et al. (1989) en Davidson et al. (1991) geven een soortgelijke indeling, in respectievelijk 4 en 9 categorieën, met een uitgebreide beschrijving van het kustvlakte type. Dit komt vooral in de gematigde streken voor, met een zandige tot slikkige bodem en is meestal vrij ondiep.

3.3.2 Hydrologie

Pritchard (1952) (in: Fairbridge, 1980) en Day et al. (1989) hebben estuaria ook ingedeeld op grond van hun waterbalans, en wel in 3 categorieën:
- *positieve estuaria*: de zoetwatertoevoer is groter dan de verdamping, dus er treedt verdunning van zeewater op.
- *neutrale estuaria*: de zoetwatertoevoer is in evenwicht met de verdamping.
- *negatieve estuaria*: de zoetwatertoevoer is kleiner dan de verdamping.

Deze indeling kan wisselen per seizoen. Over het algemeen komt in de gematigde streken, waaronder Nederland, het eerste type (**positieve estuaria**) het meeste voor (McLusky, 1989).

Hansen & Rattray (1966) hebben een indeling van kustvlakte estuaria gemaakt op grond van hun zoutbalans en vonden als belangrijke onderscheidende parameters stratificatie en circulatie.

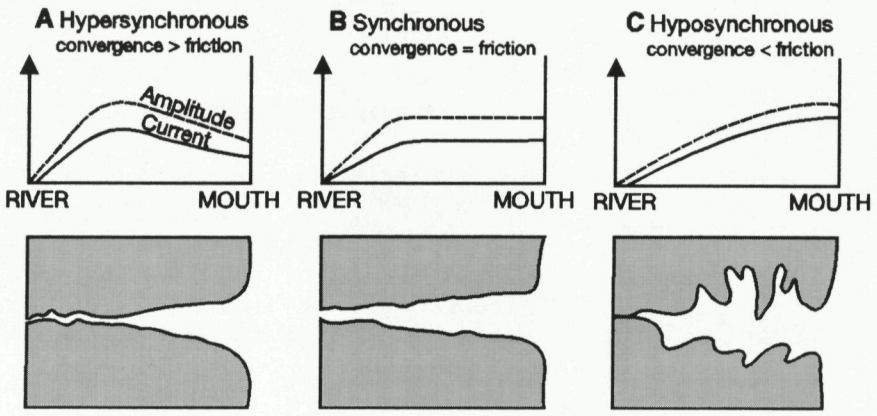
Biggs & Cronin (1981) (in: Cadeé, 1994a) hebben estuaria ingedeeld op basis van nog meer hydrologische karakteristieken. Zij onderscheiden vier typen. Deze zijn in tabel 3.1 weergegeven.

Tabel 3.1
Hydrologische indeling van estuaria volgens Biggs & Cronin (1981). Bron: Cadeé, 1994a.

Est. type	Dominante mengfactor	Meng-energie	Breedte – diepte ratio	Saliniteits-gradiënt	Troebel-heid	Bodem-stabiliteit	Biologische productiviteit	Voor-beeld
A	rivier	laag	laag	longitudinaal en vertikaal	zeer hoog	laag	laag	
B	rivier en getij	matig	matig	longitudinaal vertikaal en lateraal	matig	hoog	zeer hoog	Elbe, Loire, Gironde
C	getij en wind	hoog	hoog	longitudinaal en lateraal	hoog	gemiddeld	hoog	Eems, Schelde
D	getij en wind	zeer hoog	zeer hoog	longitudinaal	hoog	laag	laag	

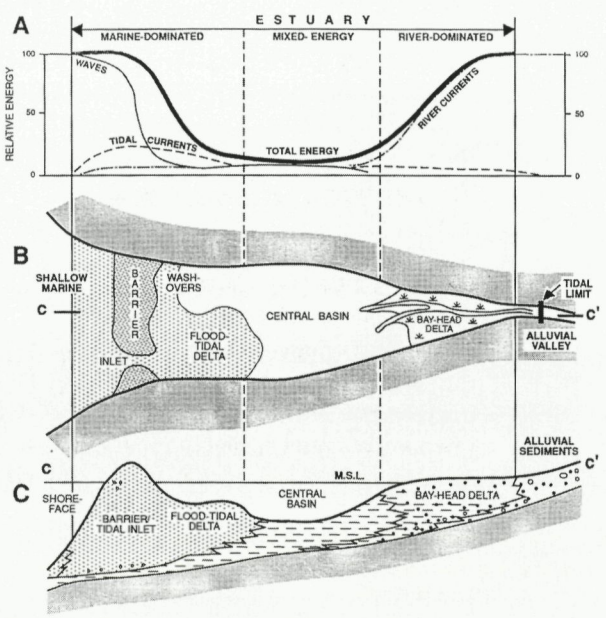
Eisma, 1998 en vele andere auteurs hanteren een indeling van estuaria naar getijverschillen. Het meest gebruikt is:
- microtidal: getijverschil < 2 meter
- mesotidal: getijverschil 2-4 meter
- macrotidal: getijverschil 4-6 meter
- hypertidal: getijverschil > 6 meter

Nichols & Biggs (1985) (in: Dyer, 1997) hebben de interactie tussen het getij en de morfologie van een estuarium beschreven, wat leidt tot verschillen in getij-amplitude en de sterkte van de getijstromen (zie figuur 3.4):
- hypersynchrone estuaria: convergentie is groter dan de wrijving, dus getijverschil en getijstromen nemen toe van zee naar rivier, totdat de convergentie minder wordt, de wrijving groter en de getij-invloed afneemt (veel voorkomend bij trechtervormige estuaria).
- synchrone estuaria: convergentie en wrijving hebben een evenredig, maar tegengesteld effect op het getij, tot in de rivier.
- hyposynchrone estuaria: convergentie is kleiner dan de wrijving en het getijverschil en stroomsterkte verkleint van zee naar rivier.



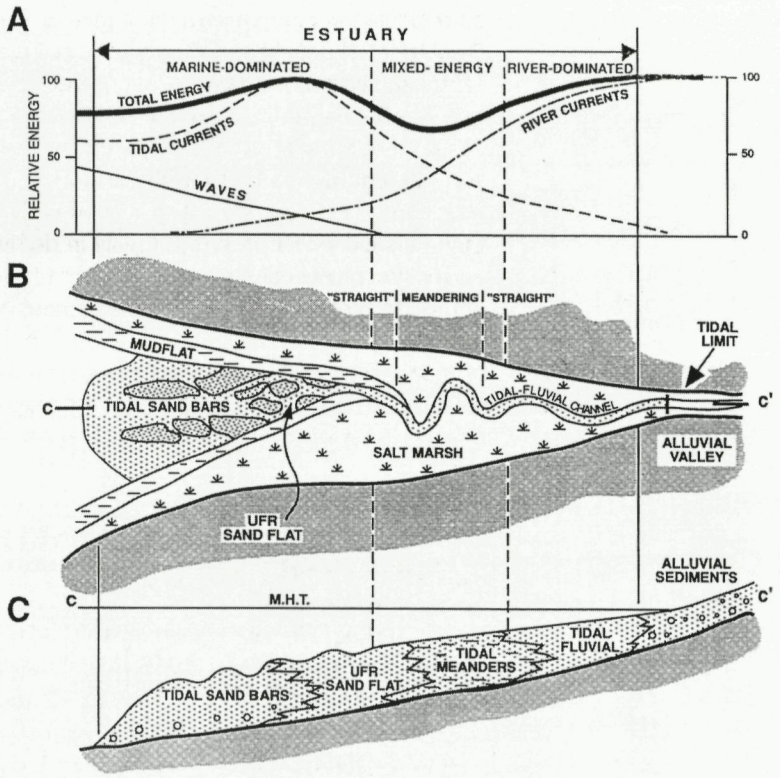
Figuur 3.4
Interactie tussen het getij en de morfologie van een estuarium, naar Nichols & Biggs (1985). Bron: Dyer, 1997.

Dalrymple et al. (1992) hebben de interactie tussen rivier, golven en getij bestudeerd en komen tot een twee-deling:
- golf-gedomineerd estuarium (micro- of mesotidal en hyposynchroon): golfslag domineert bij de monding, waardoor er veel zandig sediment wordt afgezet (landtongen); getij-invloed neemt snel af; slik- en kweldervorming aan het begin van de rivier (zie figuur 3.5).
- getij-gedomineerd estuarium (macrotidal en hypersynchroon): getij domineert bij de monding, waardoor zandbanken ontstaan; veel slik- en kweldervorming (zie figuur 3.6).



Figuur 3.5
Schematisch overzicht van de relatieve energie (A), de morfologie (B) en de sedimenten (C) in een golf-gedomineerd (microtidal en hyposynchroon) estuarium. Bron: Dalrymple et al., 1992.

Figuur 3.6
Schematisch overzicht van de relatieve energie (A), de morfologie (B) en de sedimenten (C) in een getij-gedomineerd (macrotidal en hypersynchroon) estuarium. Bron: Dalrymple et al., 1992.



Een veelgebruikte hydrologische classificatie is die op basis van stratificatie: de verspreiding en menging van zoet rivierwater en zout zeewater. Pieters (1998) heeft de volgende indeling gemaakt, grotendeels gebaseerd op Dyer (1995) en de situatie in de Oosterschelde:
- zoutwig-estuarium: plaatselijk sterke verticale en longitudinale gradiënten; komt voor in situaties van hoge zoetwaterafvoer en klein getijverschil (microtidal), waardoor het zoete rivierwater op het zwaardere zeewater blijft drijven en slecht mengt;
- gestratificeerd estuarium: geleidelijk verlopende verticale en horizontale gradiënten over een substantieel deel van het estuarium;
- matig gestratificeerd (= gedeeltelijk gemengd) estuarium: door groter getijverschil is er meer waterbeweging en wrijving met de bodem, dus meer menging; vooral horizontale zoutgradiënt;
- verticaal homogeen estuarium: alleen horizontale zoutgradiënt;
- goed gemengd estuarium: goede verticale en horizontale menging door groot getijverschil (macrotidal).

3.3.3 Antropogene invloeden

Veel estuaria zijn door mensen beïnvloed. Saeijs (1982) beveelt daarom aan om bij het beleid rekening te houden met de mate van natuurlijkheid en komt tot een driedeling:
- estuaria die nauwelijks beïnvloed zijn en een hoge graad van natuurlijkheid bezitten.
- estuaria die beïnvloed zijn en minder natuurlijk zijn (door toevoer van afvalwater, visserij, zandwinning, havenactiviteiten, sluizen, enz.) (bijvoorbeeld het Eems/Dollard estuarium en de Ooster- en Westerschelde).
- voormalige estuaria, die zo beïnvloed zijn dat er nauwelijks sprake is van een natuurlijk systeem (bijvoorbeeld het IJsselmeer).

Van Westen & Scheele (1996) hebben een aantal Europese estuaria onderscheiden naar vervuilingsgraad, op grond van waterkwaliteitsbepalingen. De Westerschelde scoort daarbij hoog als zeer vervuild estuarium; de Oosterschelde scoort laag.

3.4 Classificatie binnen een estuarium

Ook binnen een estuarium zijn vele classificaties gemaakt, om de kenmerken en verschillen binnen een estuarium weer te geven. Een zeer belangrijke en veel gebruikte factor daarbij is het zoutgehalte (= de saliniteit). In onderstaand schema wordt een overzicht gegeven van de meest voorkomende criteria en referenties. Het gaat hierbij niet om het maken van een keuze, maar om een totaal-overzicht.

CRITERIA VOOR CLASSIFICATIE BINNEN EEN ESTUARIUM

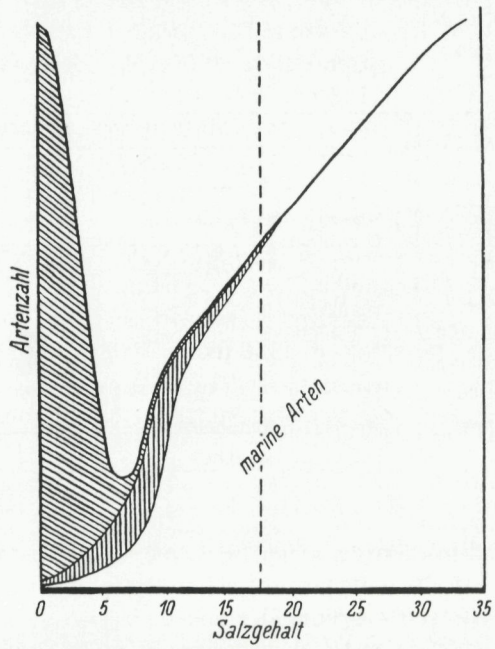
1. Saliniteit en getij
   - Redeke, 1922 (saliniteit)
   - Remane, 1934, 1958 (saliniteit)
   - Venetië systeem, 1959 (in: Carriker, 1967) (saliniteit)
   - Carriker, 1967 (saliniteit, getij en substraat)
   - Den Hartog, 1959, 1964, 1971 (saliniteit en getij)
   - Boesch, 1977 (saliniteit)
   - McLusky, 1993 (aanpassing Carriker, 1967) (saliniteit en getij)
   - Bulger et al., 1993 (saliniteitszones)
   - Eertman & Smaal, 1997 (saliniteit en getij)
2. Waterkwaliteit
   - Van Westen & Scheele, 1996 (waterkwaliteit)
3. Ecotopen
   - Laffoley & Hiscock, 1993 ("ecotopen")
   - Maas, 1998 (ecotopen)
   - De Jong, 1999 (ecotopen)
   - Van der Molen et al., 2000 (ecotopen)

3.4.1 Saliniteit en getij

Verreweg de meeste indelingen binnen een estuarium zijn gerelateerd aan het zoutgehalte van het water (= de saliniteit). Deze kan worden weergegeven in gram Cl^- / liter, in g NaCl/ liter en in ‰S (totale zoutconcentratie). De indeling op grond van saliniteit wordt vaak gebruikt om een classificatie van (een deel van) de aanwezige soorten te maken. Voor een benoeming van de klassen worden de termen **oligohalien**, **mesohalien** en **polyhalien** vaak gebruikt. In de loop van de tijd hebben vele auteurs zich met deze classificatie en de daarbij behorende soorten(groepen) beziggehouden. In paragraaf 4.5 wordt nader ingegaan op de relatie tussen saliniteit en het voorkomen van soorten. Hieronder wordt een (zo veel mogelijk chronologisch) overzicht gegeven van de meest voorkomende en gebruikte classificaties. In tabel 3.4 worden de indelingen als een samenvatting schematisch weergegeven. De Cl^- gehaltes zijn daarbij omgerekend naar ‰ S, door ze met de factor 1,8 te vermenigvuldigen.

In 1922 heeft Redeke een indeling van het Nederlandse brakwater gegeven om de brakwatersoorten te kunnen beschrijven. Hij koos het Cl^- gehalte als onderscheidende factor omdat alleen hiervan veel gegevens bekend waren:
- *oligohalien: 0,1-1 g Cl^- / l* ; voornamelijk zoetwatersoorten.
- *mesohalien: 1-10 g Cl^- / l* ; vooral echte brakwatersoorten, die niet in de omringende gebieden voorkomen; weinig soorten, wel grote aantallen.
- *polyhalien: >10 g Cl^- / l* ; voornamelijk zoutwatersoorten

Remane (1934) heeft een studie gemaakt van de brakwaterfauna van de Oostzee en een relatie gelegd tussen het zoutgehalte en het voorkomen van soorten (zie figuur 3.7). In paragraaf 4.5 wordt hier nader op ingegaan.
Het Oostzeegebied is in 5 verschillende saliniteitszones in te delen. De grenzen daartussen zijn alleen waarneembaar door de toe- of afname van zoutwater-, brakwater- of zoetwatersoorten:
- 0 - 3 ‰ S: zoetwatersoorten
- 3 - 5 ‰ S: zoet-brakwater menggebied met overwegend zoetwatersoorten
- 5 - 8 à 10 ‰ S: brakwatergebied met maximale ontwikkeling van brakwaterdieren
- 8 à 10 - 14 à 15 ‰ S: brak-zoutwater menggebied met overwegend zoutwatersoorten
- 14 à 15 - 35 ‰ S: zoutwatersoorten; bij toenemende saliniteitsgehaltes neemt het soortenaantal ook toe.



Figuur 3.7
De relatie tussen soortendiversiteit (niet aantallen individuen!) en het zoutgehalte op grond van gegevens uit de Oostzee. Bron: Remane, 1934.

In 1958 baseerde Remane zich op een nieuwe indeling in saliniteitsklassen, die erg veel lijkt op het kort daarna en later veel aangehaalde Systeem van Venetië, te weten:
- 0 - 0,5 ‰: zoetwater
- 0,5 - 3 ‰: oligohalien
- 3 - 8 a10 ‰: mesohalien
- 8 a 10 - 18 ‰: mesohalien
- 18 - 30 ‰: polyhalien
- 30 - 40 ‰: euhalien
- > 40 ‰: zeewater

In 1958 werd er in Venetië een symposium over de classificatie van brakwatergebieden gehouden. Een indeling werd gemaakt (en gepubliceerd in 1959) op basis van gegevens uit Noordwest-europese estuaria, zoals onder andere het Deltagebied in Nederland (Boesch, 1977). Dit zogenaamde Venetië-systeem is daarna veel gebruikt. Carriker (1967) gebruikt dit als basis voor een ecologische classificatie, met 5 fysische regio's binnen een estuarium en 5 soortengroepen (zie tabel 3.2):

- *estuarium-hoofd (waar het zoete water instroomt): zoutgehalte 0,5- 5 ‰ S*; vooral zoetwatersoorten. De meesten tolereren hooguit 0,1 ‰ S, de oligohaliene soorten kunnen tot 5 ‰ S weerstaan en een enkele soort tot 19 ‰ S.
- *boven-bereik van het estuarium: 5-18 ‰ S*; slappe bodem, weinig waterbeweging; echte estuariene organismen (met mariene affiniteit, maar kunnen niet concurreren met mariene organismen in zee).
- *midden-bereik van het estuarium: 18-25 ‰ S*; slappe zandige bodem, veel meer waterbeweging; echte estuariene organismen.
- *onder-bereik van het estuarium: 25-30 ‰ S*; zandige bodem; snelle waterbeweging; vooral mariene soorten en migranten.
- *estuarium-mond (uitkomend in zee): zoutgehalte > 30 ‰ S*; schoon zand of rotsbodem, sterke waterbeweging; mariene soorten.

Tabel 3.2
Classificatie van estuariene zones met bijbehorende soorten volgens Carriker (1967).

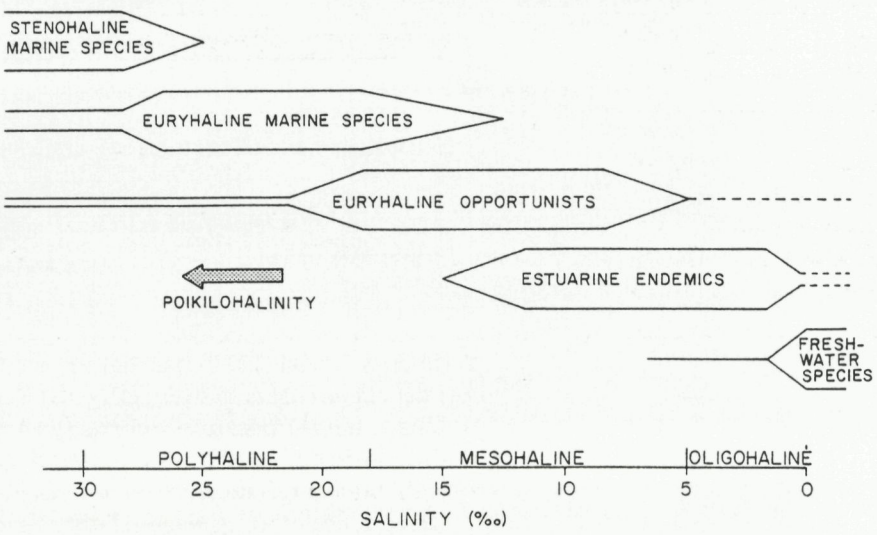
Venice system			Ecological classification			
Divisions of estuary	Salinity ranges ‰	Zones	Types of organisms and approximate range of distribution in estuary, relative to divisions and salinities			
River	0,5	limnetic	limnetic			
Head	0,5 - 5	oligohaline	oligohaline			
Upper Reaches	5 - 18	mesohaline	mixohaline			
Middle Reaches	18 - 25	polyhaline		true estuarine		
Lower Reaches	25 - 30	polyhaline				
Mouth	30 - 40	euhaline	stenohaline marine		euryhaline marine	migrants

Den Hartog heeft in 1959 en 1964 een indeling voor een biologische classificatie gemaakt van het Deltagebied in Nederland, omdat het Venetië-systeem daarvoor niet voldeed. Hij komt echter tot een ongeveer gelijke indeling, in oligohalien, mesohalien en polyhalien. In 1971 onderscheidt hij 7 zones met bijbehorende benthos-soorten tussen zee en rivier, op grond van zoutgehalte en getij:

- *stuw-zone: zoetwaterafstroom met verticale getijbeweging, ‰ $Cl^- < 0,3$*; soortenarme flora en fauna, vergelijkbaar met die van grote rivieren; geen brakwatersoorten.
- *zoetwatergetijdezone: ‰ $Cl^- < 0,3$*; de benthos bestaat uit een rijke zoetwaterflora en -fauna, bestaande uit riviersoorten, pioniersoorten uit onstabiele zoete wateren en soorten uit stagnante zoete wateren.
- *marginale zone: gemiddelde ‰ $Cl^- < 0,3$*, maar minstens een keer per jaar een verhoogde zoutconcentratie; de benthos bestaat uit een beperkt aantal

zout-tolerante zoetwatersoorten en een heel klein aantal (euryhaliene) mariene en brakwatersoorten.
- *oligohalinicum: ‰ Cl^- 0,3-1,8*; de benthos bestaat nog uit zout-tolerante zoetwatersoorten en uit meer (euryhaliene) mariene en brakwatersoorten.
- *mesohalinicum: ‰ Cl^- 1,8-10*; grote dagelijkse saliniteitsfluctuaties; de benthos bestaat voornamelijk uit brakwatersoorten en een beperkt aantal (euryhaliene) mariene soorten (bestand tegen de grote fluctuaties).
- *polyhalinicum: ‰ Cl^- 10-16,5*; nauwelijks brakwatersoorten en voornamelijk mariene soorten (bestand tegen fluctuaties).
- *euhalinicum: ‰ $Cl^- > 16,5$*; de grenszone met de zee, waarin het zoutgehalte minstens eens per jaar kortdurend verlaagd is; de benthos bestaat hier uit eenjarige mariene (stenohaliene) soorten, terwijl meerjarige (stenohaliene) soorten niet permanent voorkomen.

Boesch (1977) onderzocht de zonering van macrobenthos in een groot estuarium met een constante, geleidelijke zoutgradiënt, en die in een estuarium met een seizoensgebonden zoutgradiënt. Bij de geleidelijke zoutgradiënt bleek een geleidelijke verandering van benthosfauna voor te komen, met wat duidelijkere overgangen rond de saliniteitsgehaltes van 3-8 ‰ en 15-20 ‰ (zie figuur 3.8). Deze klassen komen overeen met de zones van het Venetië-systeem. Toch geeft Boesch duidelijk aan dat de grenzen niet scherp zijn en dat er meer factoren dan alleen zout een rol spelen bij de gradiënt. De grenzen in het estuarium met de seizoensgebonden gradiënt zijn veel abrupter en komen niet overeen met het Venetië-systeem. De benthos bestaat voornamelijk uit estuariene endemen.



Figuur 3.8
Schematisch overzicht van de spreiding van bentische soortengroepen langs een geleidelijke zoutgradiënt in een groot estuarium. Bron: Boesch, 1977.

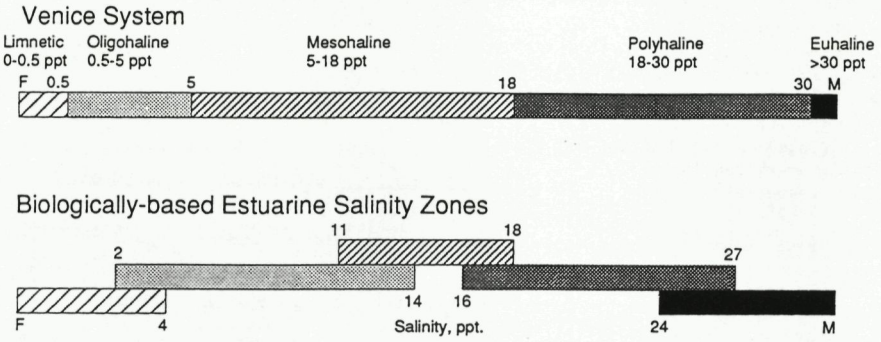
McLusky (1993) bekritiseert de veelgebruikte indeling van Carriker (1967), omdat deze aan de rivierzijde van het estuarium niet werkzaam is en aangepast dient te worden aan het vernieuwde inzicht dat ook het zoetwatergetijdengebied tot het estuarium behoort (zie paragraaf 2.2). Hierdoor komt hij tot de volgende nieuwe indeling, waarbij hij nog eens benadrukt dat de saliniteitsklassen niet geografisch vastliggen, maar verschuiven onder invloed van getij, seizoen en rivierafvoer (zie tabel 3.3).

Tabel 3.3
Aanpassing van Carriker (1967) over indeling van estuarium. Bron: McLusky, 1993.

Proposal for classification of estuarine divisions.

Division	Tidal	Salinity (‰)	Venice system
River	Non-tidal	< 0.5	Limnetic
Head	The highest point to which the tides reach		
Tidal fresh	Tidal	< 0.5	Limnetic
Upper	Tidal	0.5 - 5	Oligohaline
Inner	Tidal	5 - 18	Mesohaline
Middle	Tidal	18 - 25	Polyhaline
Lower	Tidal	25 - 30	Polyhaline
Mouth	Tidal	> 30	Euhaline

Bulger et al. (1993) komen met een hele nieuwe, objectieve indeling van een estuarium op basis van veldgegevens: door multivariabele analyse (PCA) van 316 soorten (vissen en evertebraten) langs een saliniteitsgradiënt komen zij tot een indeling in 5 **overlappende saliniteitszones** (zie figuur 3.9). Hiermee bekritiseren zij de indeling met aansluitende klassen van het Venetië-systeem, dat gebaseerd is op de ervaringen van de wetenschappers die aanwezig waren op het symposium in Venetië, en niet op empirisch onderzoek. Opmerkelijk is echter de grote overeenkomst tussen beide classificaties. Bulger et al. suggereren dat ook andere factoren dan saliniteit, zoals substraat en troebelheid, een rol spelen bij de verspreiding van soorten in een estuarium.



Figuur 3.9
Vergelijking van de indeling in saliniteitszones door multivariabele analyse, met het Venetië-systeem. F = Fluviatiel,
M = Marien. Bron: Bulger et al., 1993.

Eertman & Smaal (1997) maakten een vereenvoudigde indeling op basis van het Venetië-systeem en de indeling van Den Hartog (1959) en McLusky (1993):

- *Zoetwatergetijdenzone*. Het meest stroomafwaarts gelegen deel van de rivier (gezien vanaf de bron), waar de getijdeninvloed merkbaar is. Er is geen zoutindringing vanuit zee in deze zone. De saliniteit is lager dan 0,5 $^{o}/_{oo}$ S. Deze zone wordt gekenmerkt door zoetwatersoorten die getijtolerant zijn.
- *Oligohaliene zone*. De zone waar het zoete rivierwater voor het eerst in contact komt met zeewater. De zone staat onder getijdeninvloed, maar de rivierstroming domineert. De zoutindringing is nog zeer gering. De saliniteit varieert van 0,5 tot 5 $^{o}/_{oo}$ S. Deze zone wordt gekenmerkt door zoetwater-organismen die getij- en zouttolerant zijn en brakwaterorganismen.
- *Mesohaliene zone*. De zone waar rivierwater en getijdestroom elkaar ontmoeten. De stromingen zijn minimaal, in het bijzonder tijdens vloed, wat resulteert in troebelheidsmaxima en sedimentatie van slib. De saliniteit varieert van 5 tot 18 $^{o}/_{oo}$ S. Deze zone wordt gekenmerkt door brakwaterorganismen.

- *Polyhaliene zone*. In deze zone nemen de getijstromen toe van zwak tot matig. De sedimentatie van slibdeeltjes gaat bij toenemende stroming over in een sedimentatie van zandige deeltjes. De saliniteit varieert van 18 tot 30 $^{o}/_{oo}$ S. Deze zone wordt gekenmerkt door brakwatersoorten en mariene soorten met een grote zouttolerantie.
- *Euhaliene zone*. Deze zone bevindt zich in het mondingsgebied van het estuarium en wordt gekenmerkt door sterke getijstromen. Er vindt alleen sedimentatie van zandige deeltjes plaats. De saliniteit wijkt niet veel af van die van de zee (> 30 $^{o}/_{oo}$ S). Deze zone wordt gekenmerkt door mariene soorten.

Samenvattend kan geconcludeerd worden, dat alle indelingen in saliniteitsklassen in grote lijnen overeenkomen (zie tabel 3.4). Het is niet altijd duidelijk waarop de indelingen gebaseerd zijn. Veel auteurs geven aan, dat de grenzen tussen de klassen geen harde grenzen zijn (en dat lijkt logisch bij een geleidelijke gradiënt). Dit maakt het onderzoek van Bulger et al. (1993), dat gebaseerd is op statistische gegevens, nog interessanter, omdat het overlappende zones aangeeft. Tevens wordt vaak aangegeven dat fluctuaties in zoutgehalte nog belangrijker zijn dan de absolute gehaltes en dat het voorkomen van soorten ook bepaald wordt door andere factoren dan zoutgehalte. In paragraaf 4.5 wordt hier nader op ingegaan en gezocht naar een verklaring voor de grenzen, in relatie tot het voorkomen van soorten.

Tabel 3.4
Overzicht van de gebruikte saliniteitsklassen door de bovengenoemde auteurs, weergegeven (of omgerekend naar) $^{o}/_{oo}$ S (=totaalzout). De Cl^- gehaltes (lichter weergegeven) zijn omgerekend naar $^{o}/_{oo}$ S door ze met de factor 1,8 te vermenigvuldigen, zodat alle indelingen onderling vergelijkbaar zijn.

	Zoetwater	oligohalien	mesohalien	polyhalien	zeewater
Redeke (1922)		(0,1-1 g Cl^-/l) **0,18-1,8 ‰**	(1-10 g Cl^-/l) **1,8-18 ‰**	(>10 g Cl^-/l) **> 18 ‰**	
Remane (1958)	**< 0,5 ‰**	**0,5-3 ‰**	**3-18 ‰**	**18-30 ‰**	**> 30 ‰**
Venetië-systeem (1959)	**< 0,5 ‰**	**0,5-5 ‰**	**5-18 ‰**	**18-25/25-30 ‰**	**30-40 ‰**
Den Hartog (1971)	(< 0,3 %0 Cl-) **< 0,54 %0**	(0,3-1,8 ‰ Cl^-) **0,54-3,24 ‰**	(1,8-10 ‰ Cl^-) **3,24-18 ‰**	(10-16,5 ‰Cl^-) **18-29,7 ‰**	> 16,5 %0 Cl- **> 29,7 %0**
Boesch (1977)		**0,5-5 ‰**	**5-18 ‰**	**18-30 ‰**	
McLusky (1993)	**< 0,5 ‰**	**0,5-5 ‰**	**5-18 ‰**	**18-25/25-30 ‰**	**> 30 ‰**
Bulger et al. (1993)	**< 4 ‰**	**2-14 ‰**	**11-18 ‰**	**16-27 ‰**	**> 24 ‰**
Eertman & Smaal (1997)	**< 0,5 ‰**	**0,5-5 ‰**	**5-18 ‰**	**18-30 ‰**	**> 30 ‰**

3.4.2 Waterkwaliteit

Van Westen & Scheele (1996) hebben een indeling gemaakt op basis van zoutgehalte, nutriënten en vervuilende stoffen (zie tabel 3.5).

Tabel 3.5
Indeling binnen een estuarium op basis van waterkwaliteitsgegevens. Bron: Van Westen & Scheele, 1996.

Table 5. Classification waterquality, standards

		Classification		
		I	II	III
Salinity 0/00 Cl^-/l (variable)		0-6	6-10	>10
General parameters				
Dissolved oxygen	(mg/l)	5	8.4	8.7
Chlorophyll	(µg/l)	<100		<10
Ph			6.5-9	
Tot. coli	(MPN/ml)	0	0	0
BOD 5	(mg/l)			<5
Phosphate tot. P	(mg/l)	0.15	0.09	0.03
Phosphate ortho. P	(mg/l)	0.10	0.06	0.017
Nitrogen tot. N	(mg/l)	0.61	0.45	0.21
NO3 + NO2 tot. N	(mg/l)	0.52	0.39	0.19
Inorganic parameters				
Cd tot.	(µg/l)	0.28	0.21	0.10
Hg tot.	(µg/l)	0.13	0.09	0.04
Cu tot.	(µg/l)	5.7	4.5	2.7
Pb tot.	(µg/l)	7.4	5.6	2.8
Cr tot.	(µg/l)	14.6	11.4	6.2
Organic parameters and oil				
PAK (Σ)	(ng/l)	25	13	1
Phenols	(µg/l)	0.2	0.1	0
Oil	(µg/l)	140	95	30
PCB	(ng/l)	0	0	0

3.4.3 Ecotopen

Vanuit de wens tot behoud van de natuur in estuaria is in Engeland een classificatie van benthische levensgemeenschappen ontwikkeld, gebaseerd op beschrijvingen van habitats en hun biota. Hierbij zijn saliniteit (gebaseerd op het Venetië-systeem) en getijde-invloed belangrijke onderscheidende criteria (Laffoley & Hiscock, 1993).

In Nederland is vanuit de beleidswereld een classificatie op ecosysteem niveau ontwikkeld voor de rijkswateren, die ecologische gegevens in kaart brengt en waarbij veranderingen gemeten en voorspeld kunnen worden. Hierbij wordt een indeling gemaakt op grond van **ecotopen**: ruimtelijk te begrenzen ecologische eenheden, waarvan de samenstelling en ontwikkeling wordt bepaald door de abiotische, biotische en antropogene condities ter plaatse (Wolfert, 1996). De aanleiding tot het maken van een ecotopenindeling was de behoefte om een brug te slaan tussen onderzoekers (ecologen en hydrologen), planners en uitvoerders.

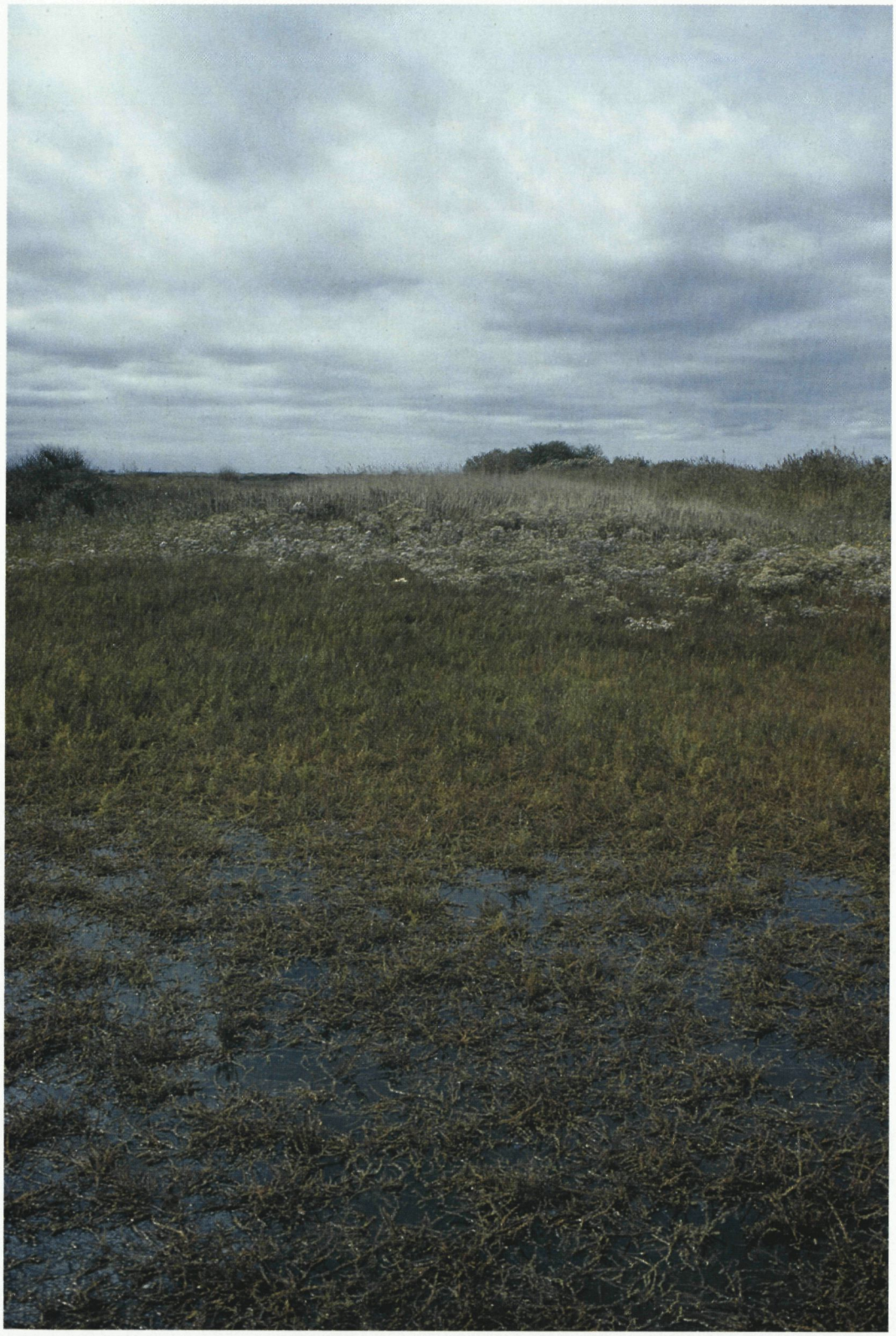
Ecotopen zijn min of meer homogene landschappelijke eenheden, die te herkennen zijn aan hun overeenkomsten en verschillen in geomorfologische en hydrologische kenmerken, vegetatiestructuur en landgebruik. Ze hebben een omvang van één tot vele hectaren. Voor zover mogelijk wordt per ecotoop aangegeven welke soorten(groepen) kunnen voorkomen in de referentietoestand (dat wil zeggen: een toestand met minimale milieudruk) (Maas, 1998; De Jong, 1999; Van der Molen et al., 2000).

De Rijkswateren-Ecotopen-Stelsels (RWES) zijn hiërarchische indelingen, waardoor ze op verschillende schaalniveaus gebruikt kunnen worden. Allereerst worden **watersystemen** onderscheiden op basis van positionele factoren: grootschalige factoren, zoals zoutgehalte, getijdenwerking en stromingsrichting. Op grond hiervan worden rivieren, getijdenwateren, meren, kanalen, brakke

wateren en zoute wateren onderscheiden. Op het volgende niveau worden **ecotopen** onderscheiden. Nog een niveau lager staan de **eco-elementen**.

De indelingskenmerken van ecotopen worden gemaakt op basis van conditionele factoren: specifieke indelingskenmerken, die ecologisch relevant zijn voor het desbetreffende watersysteem, zoals morfodynamiek, hydrodynamiek en gebruiksdynamiek. Bij *morfodynamiek* gaat het om (de mate van) mechanische krachten die worden uitgeoefend op bodem, vegetatie en fauna (bijvoorbeeld erosie, transport, sedimentatie, golfwerking en stroomsnelheid). Onder *hydrodynamiek* wordt verstaan de fysische en chemische invloeden van water op bodem, vegetatie en fauna. Te denken valt aan overstromingsfrequentie en -duur. Onder *gebruiksdynamiek* vallen zowel verschillende vormen van natuurlijk beheer alswel multifunctioneel gebruik. Een voorbeeld hiervan is bijvoorbeeld begrazing: veel begrazing kan leiden tot grasland, weinig begrazing tot ruigte en geen begrazing tot de ontwikkeling van bos. De genoemde indelingskenmerken onder morfo- en hydrodynamiek zijn abiotische kenmerken. De klassegrenzen binnen één zo'n abiotisch kenmerk (bijvoorbeeld waterdiepte) zijn gebaseerd op ecologische informatie (bijvoorbeeld of waterplanten wel of niet in een hoge dichtheid kunnen voorkomen).

Voor de beschrijving van estuaria zijn het BES (Benedenrivieren-Ecotopen-Stelsel) (Maas, 1998) en het ZES (Zoutewateren-Ecotopen-Stelsel) (De Jong, 1999) relevant. Een nadere uitwerking en onderbouwing van de aquatische ecotopen is beschreven in Van der Molen et al., (2000). In bijlage 1 is de ecotopenindeling van het BES en de voorlopige indeling van het ZES weergegeven. Er is duidelijk behoefte aan één stelsel met ecotopen/habitats van estuaria. Afstemming tussen deze twee huidige stelsels (die het zoete en het zoute water beslaan) is gewenst en vindt momenteel plaats binnen het RWES. Meer informatie over de stelsels is te vinden in Maas (1998), De Jong (1999) en van der Molen et al. (2000).



Kwelders hebben een typische zonering van zout naar zoet en van nat naar droog.
Foto: Gerard Janssen

4 Ecologie

Samenvatting
De belangrijkste abiotische factoren in een estuarium zijn getij en rivierwaterafvoer, waardoor menging en complexe waterstromingen ontstaan vanwege het samenkomen van een eenzijdige zoetwaterafvoer en een tweezijdige zoute getijdestroom. Hierdoor ontstaan gradiënten van hoog en droog naar laag en nat, van zoet naar zout en van zand naar klei. Daarnaast zijn er nog min of meer geleidelijke overgangen wat betreft andere belangrijke factoren, zoals temperatuur, organisch materiaal, nutriënten, contaminanten en zuurstof.
Onder deze variabele milieuomstandigheden, met constante aanvoer van nutriënten, kunnen vele soorten en aantallen organismen leven, variërend van zoetwater- tot zoutwatersoorten. Zij zijn tezamen de grote groep van typische estuariene soorten. Brakwatersoorten komen alleen in brak water voor, hetgeen een dusdanig gespecialiseerd milieu is, dat maar weinig soorten hieraan aangepast zijn. Alle planten- en diergroepen hebben vertegenwoordigers in het estuarien milieu. Dat komt door de grote diversiteit aan habitats, door de hoge primaire productie en door de open verbinding tussen zoet en zout water, waar onder andere migrerende vissen van kunnen profiteren. Daarnaast heeft het estuarium een belangrijke functie in het filtreren van ongewenste stoffen.

Doel
Overzicht geven van de abiotische factoren die de dynamiek van een estuarium in ruimte en tijd bepalen.

Beschrijving geven van de estuariene gradiënten in ruimte en tijd.

Onderscheid maken tussen estuariene soorten en brakwatersoorten.

Overzicht geven van de in een estuarium voorkomende planten- en diergroepen en de natuurwaarde van een estuarium.

Analyse maken van de relatie tussen het zoutgehalte van het water en het voorkomen van soorten in een estuarium.

Conclusies en aanbevelingen
Een estuarium heeft een zeer dynamisch milieu met vele geleidelijke overgangen. Daarom is een natuurlijk estuarium toch soortenrijk. Een keuze tussen dynamiek of soortenrijkdom is dus niet nodig.

Het zoutgehalte van het water is geenszins de allesbepalende factor voor het voorkomen van soorten. Het type sediment, de waterstroming, diepte, troebelheid, temperatuur en het zuurstofgehalte zijn medebepalend.

De term estuariene soorten moet niet verward worden met de term brakwatersoorten. Brak water is slechts een onderdeel van een estuarium. Het is fysiologisch goed te onderscheiden, maar ecologisch gezien niet. Brakwatergebieden leveren een duidelijke bijdrage aan de totale diversiteit.

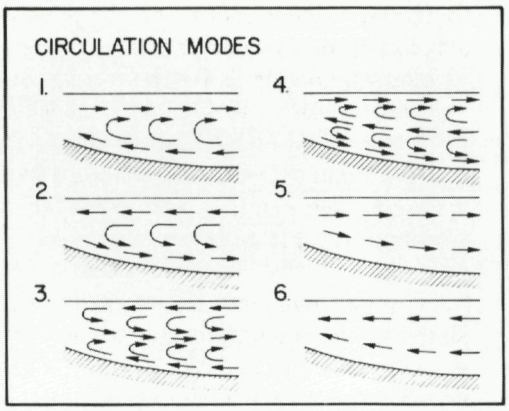
Beschrijvingen van een estuarien voedselweb zijn zeer beknopt en vaak onvolledig. Alle planten- en diergroepen die in een estuarium voorkomen moeten daarin genoemd worden.

Het binnendringen van ongewenste soorten zal steeds meer voorkomen en een groter probleem worden. Schepen met ballastwater zijn mondiaal actief en de veranderende milieuomstandigheden, zoals toename van de watertemperatuur, maken het makkelijker voor bijvoorbeeld toxische algen om tot bloei te komen.

Wanneer er twijfels zijn over de functies van een estuarium, zou onderzoek zich moeten toespitsen op de functie voor (migrerende) vissen, de functie van kwelders en platen (voor vogels, planten en ongewervelden) en de functie van bijvoorbeeld zeegras als slibvanger, waardoor zeespiegelstijging tot op behoorlijke hoogte is op te vangen. De functie filterwerking is reeds onomstotelijk bewezen.

4.1 Abiotiek

Waterstroming
In een estuarium mondt een rivier uit in zee. Er is daardoor een zeewaarts gerichte zoete waterstroom, die in het estuarium het zoute zeewater ontmoet. Dit zeewater stroomt onder invloed van het getij twee keer per etmaal landinwaarts (met vloed) en trekt zich twee keer per etmaal terug richting zee (met eb). Hierdoor is het water in een estuarium steeds in beweging, zowel horizontaal als verticaal (hoog-laag verschillen). De verschillen in hoog en laag water (getij-amplitude) variëren van plaats tot plaats en binnen een estuarium ook in de tijd, vanwege de verschillen tussen dood- en springtij. Hoe groter de getij-amplitude, hoe krachtiger de getijdenstromingen en hoe groter de intergetijdengebieden (McLusky, 1989). Met vloed ontmoeten en mengen het zee- en rivierwater; met eb stroomt al het water zeewaarts en wordt de rivierwaterstroom versterkt. Behalve het dagelijkse getij (waaruit een gemiddelde getijwerking te berekenen is) zijn ook de rivierwaterafvoer en de wind zeer bepalende factoren voor de waterstromingen in een estuarium. Dit leidt tot een ingewikkeld patroon van watercirculatie, dat zeer bepalend is voor de ecologische processen. Ook de diepte en vorm van een estuarium zijn medebepalend voor de waterstromingen, waardoor een enorme variatie mogelijk is, zelfs binnen één estuarium. Onderstaande figuur (figuur 4.1) laat 6 verschillende circulatiepatronen zien die in een-en-hetzelfde, gedeeltelijk gemengde, estuarium gemeten zijn, als voorbeeld van de enorme variabiliteit aan stromingen die zelfs binnen één estuarium kunnen voorkomen (Day et al., 1989).

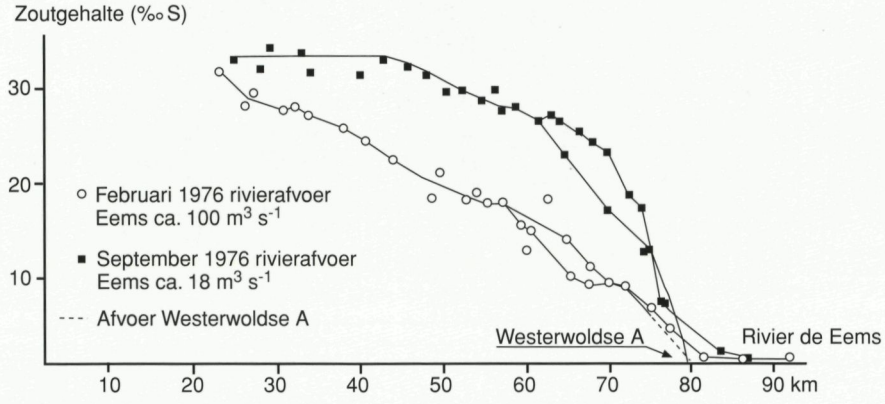


Figuur 4.1
Schematische weergave van de circulatiepatronen die in een gedeeltelijk gemengd estuarium gemeten zijn. Bron: Day et al., 1989.

Ook de **waterstromingen buiten het estuarium**, langs de kust, zijn van invloed op het leven binnen het estuarium: zeer waarschijnlijk worden pelagische larven van macrobenthos met de ebstroom uit een estuarium opgenomen in de kuststroom en met vloed mogelijk naar een nabijgelegen estuarium getransporteerd (Carriker, 1967). Dit roept de vraag op, wat de minimale afstand tussen twee estuaria moet zijn, zodat larven weer in een geschikt milieu (= een volgend estuarium) opgenomen kunnen worden. Vanwege de afsluiting van vrijwel het hele Nederlandse kustgebied (zie hoofdstuk 2) zou dit wel eens een probleem kunnen zijn.

Menging

In een estuarium wordt het zee- en rivierwater in meer of mindere mate gemengd. De ligging van de mengzone (met een horizontale zoutgradiënt, zie figuur 4.2) en de mate van menging (verticale zoutgradiënt, omdat het zoete water lichter is dan het zoute) zijn sterk afhankelijk van de mate van het getij, de golfslag en wind enerzijds en de hoeveelheid rivierwater anderzijds. Dit kan enorm fluctueren in de ruimte, maar ook in de tijd: per dag, per getijcyclus (spring- en doodtij), per seizoen en per jaar (Day et al., 1989; Mulder, 1998). De mengzone is dan ook moeilijk op een kaart vast te leggen, evenals de mate van menging. De menging van zoet en zout water wordt positief beinvloed door wind en getij. De afvoer van zoetwater leidt juist tot stratificatie, omdat het lichtere zoete water op het zwaardere zoute water blijft drijven waardoor een zouttong ontstaat. Bij onvoldoende menging kunnen (periodiek) zoetwaterbellen ontstaan, vooral in estuaria met een grote rivier-invloed (Eertman & Smaal, 1997). Estuaria met een geringe rivier-invloed en een grote getij-invloed zijn over het algemeen zeer goed verticaal gemengd (Day et al., 1989). In vergelijking met de waterkolom is het zoutgehalte in de bodem van een estuarium relatief stabieler en hoger. Slikhoudende bodems (in vergelijking met zandige bodems) zijn het meest stabiel in zoutgehalte, omdat de permeabiliteit daar gering is (Wolff, 1973).

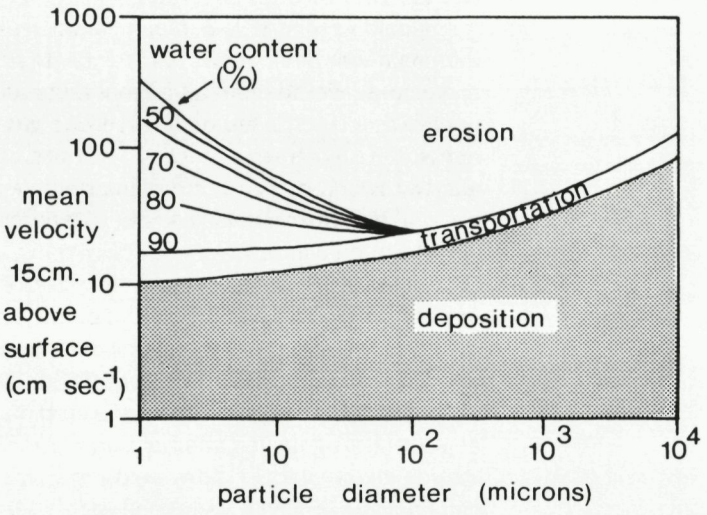


Figuur 4.2
Voorbeeld van longitudinale zoutgradiënt in het Eems estuarium (getijdominant) gedurende de winter (februari; veel zoetwaterafvoer) en zomer (september: minder zoetwaterafvoer). Bron: De Jonge & Essink, 1992.

Temperatuur
De temperatuur van het water in een estuarium is een factor die kan variëren in de tijd en de ruimte. 's Zomers warmt het land op en stroomt er dus warmer rivierwater in de relatief koudere zee. Dit zorgt voor een temperatuurgradiënt in de ruimte. Hierdoor wordt in de vroege zomer de stratificatie (zoet water op zout water) in het estuarium vergroot (warmer water is lichter dan kouder water). Naast de seizoensschommelingen zijn er de dagelijkse dag/nacht-schommelingen in de temperatuur van de lucht, die hun invloed hebben op (vooral de bovenste laag van) het water en de droogvallende bodems (Wolff, 1983). In de winter zijn de verschillen in temperatuur minder. Over het algemeen zijn de temperatuurschommelingen aan de rivierzijde groter dan aan de zeezijde (Carriker, 1967). Met de te verwachten klimaatsopwarming en bijbehorende temperatuurstijging, wordt rekening gehouden met een verhoging van de watertemperatuur van tenminste 3°C per eeuw (Krol et al., 2000). Dit kan vergaande gevolgen hebben voor het voorkomen van allerlei planten- en diersoorten (zie (plaag)algen bij paragraaf 4.2 (biotiek)).
De temperatuur van de bodem kent minder variatie in temperatuur dan de waterkolom. Met toenemende diepte nemen de temperatuurverschillen in de bodem enorm af. Ook de aard van het sediment is van invloed op de variatie in temperatuur: temperatuurveranderingen gaan in modderbodems minstens 2 keer zo langzaam als in zandbodems (Wolff, 1973).
In de winter kunnen grote delen (van vooral de ondiepe gedeelten) van estuaria bevriezen en kan ijsgang (= beweging van het ijs) optreden.

Sediment
Het dynamische waterbewegingspatroon (zie hierboven) is ook van grote invloed op het transport van sediment, zowel vanuit zee als vanuit de rivier. Hierdoor ontstaat een gevarieerde morfologie, samengesteld uit parallelle en vertakte geulen en meerdere typen ondiepe gebieden, zoals zandplaten, slikken (slibrijke gebieden boven de gemiddelde laagwaterlijn) en kwelders. Op plaatsen waar het water snel stroomt worden geulen uitgesleten; daaromheen wordt grof materiaal (zand) afgezet. Op plaatsen waar het water langzamer stroomt, komt fijner materiaal (slib) tot bezinking. Zo ontstaan er geleidelijke overgangen tussen grofzandige en slibrijke (fijnkorrelige) bodems. De morfologie (en sedimentlast (Wolff, 1983)) van een estuarium is echter voortdurend aan veranderingen onderhevig, in ruimte en tijd, door korte termijndynamiek (getijwerking), seizoensdynamiek (stormen met grote golfactiviteit) en zeer lange termijndynamiek (zeespiegelstijging) (Mulder, 1998).
In het algemeen bestaan de middenregionen van een estuarium (het mesohaliene deel) vooral langs de randen uit de kenmerkende fijne sedimenten, bestaande uit kleideeltjes en organisch materiaal; aan de zee- en rivierzijde worden grovere zanden afgezet, door getij- en golfwerking enerzijds en rivierwatertoevoer anderzijds (Carriker, 1967). In de intergetijdengebieden, waar de stroomsnelheden en windinvloed gering zijn, wordt heel fijn materiaal afgezet (slib) en kunnen zich kwelders ontwikkelen.
Naast sedimentatie komt ook erosie voor, afhankelijk van de stroomsnelheid van het water (zie figuur 4.3), waardoor de bodem een zeer dynamisch milieu voor het bodemleven vormt. Zo vindt bij fijn zand (met een partikel grootte van 10^2 micron (= 0,1 mm)) depositie plaats bij een stroomsnelheid onder de 15 cm/s en treedt er erosie op wanneer de stroomsnelheid boven de 30 cm/s is (McLusky, 1989).

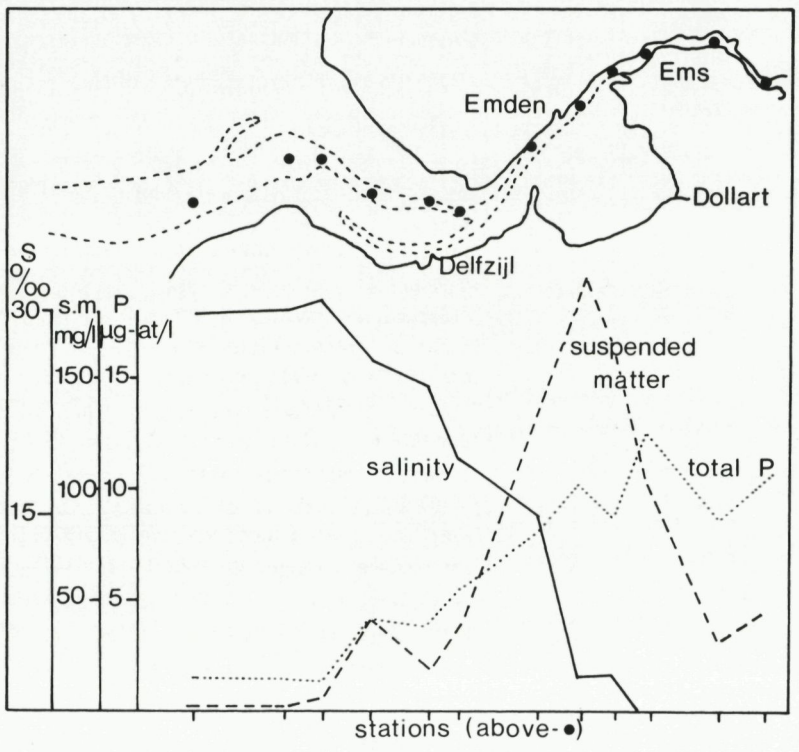
Figuur 4.3
Relatie tussen stroomsnelheid en erosie, transportatie en depositie van sediment. Bron: McLusky, 1989.



Troebelheidsmaximum

In de bovenregionen van een estuarium kunnen troebelheidsmaxima optreden: plaatsen waar het percentage zwevend materiaal (sedimentdeeltjes en/of organisch materiaal) zeer groot is en de lichtdoordringing dus zeer gering. Deze troebelheidsmaxima variëren in locatie en grootte, maar liggen meestal in de zone tussen de 5 ‰ saliniteit en de zoetwatergetijdenzone (McLusky, 1993; Eertman & Smaal, 1997), de gemiddelde plaats waar zee- en rivierwater elkaar ontmoeten. Hier stagneert het zeewater dat over de bodem kruipt en vindt menging plaats met het rivierwater aan de oppervlakte. Bij grote hoeveelheden rivierwaterafvoer verschuift het troebelheidsmaximum stroomafwaarts, bij geringe hoeveelheden schuift het stroomopwaarts (McLusky, 1989). In figuur 4.4 is de ligging van het troebelheidsmaximum in het Eems/Dollard estuarium weergegeven.

Figuur 4.4
Troebelheidsmaximum in het Eems/Dollard estuarium. Bron: McLusky, 1989.



Organisch materiaal

De hoeveelheid organisch materiaal in een estuarium is hoger dan in zee, maar gemiddeld veel lager dan in een rivier. De hoogste concentraties organisch materiaal worden in het estuarium bij de troebelheidsmaxima aangetroffen, zowel in de waterkolom als bezonken op de bodem (McLusky, 1989). Er is een duidelijke relatie tussen de hoeveelheid zwevend materiaal en de helderheid van het water. De aanwezigheid van deeltjes vermindert de doordringing van **licht**, wat het voorkomen van fytoplankton beperkt en zodoende gevolgen heeft voor de rest van de voedselketen (Carriker, 1967).

Opgeloste stoffen

Behalve zwevende en bezonken deeltjes, komen er ook veel opgeloste stoffen in het water voor, die van invloed zijn op de biota. Deze stoffen worden aangevoerd door de rivier of door de zee, of in het estuarium gevormd onder invloed van de fysische, chemische en biologische processen. In tabel 4.1 wordt een overzicht gegeven van het voorkomen van de belangrijkste opgeloste stoffen die gemiddeld, op wereldschaal, in zee- en rivierwater voorkomen, om een indicatie te geven van de herkomst van de belangrijkste elementen (Day et al., 1989).

Tabel 4.1
Geschatte samenstelling van opgeloste stoffen in gemiddeld zeewater (A) en (op wereldschaal) gemiddeld rivierwater (B). Bron: Day et al., 1989.

		Sea Water		River Water	
Constituent		Concentration (mg/l)	Rank	Concentration (mg/l)	Rank
		Major Ions[b]			
Chloride	(Cl^-)	19,340	1	8	5
Sodium	(Na^+)	10,770	2	6	6
Sulfate	(SO_4^{2-})	2,712	3	11	4
Magnesium	(Mg^{2+})	1,294	4	4	7
Calcium	(Ca^{2+})	412	5	15	2
Potassium	(K^+)	399	6	2	8
Bicarbonate	(HCO_3^-)	140	7	58	1
Bromide	(Br^-)	65	8	-	-
Strontium	(Sr^+)	9	9	-	-
		Trace Elements mg/l			
Boron	(B)	4,500	1	10	15
Silicon	Si)	(5,000)	2	13,100	3
Fluoride	(F)	1,400	3	100	12
Nitrogen	(N)	(250)	4	230	11
Phosphorus	(P)	(35)	5	20	13
Molybdenum	(Mo)	11	6	1	18
Zinc	(Zn)	5	7	20	14
Iron	(Fe)	3	8	670	9
Copper	(Cu)	3	9	7	17
Manganese	(Mn)	2	10	7	16
Nickle	(Ni)	2	11	0.3	19
Aluminium	(Al)	1	12	(400)[b]	10

[a] After Nicol 1960, Burton 1976, and Liss 1976. Designations, major ions, and trace elements are with respect to sea water, and separate rankings are given for sea water in both designations, while a single combined ranking is used for river water.

[b] Median values given in parentheses.

Veel van de bovengenoemde stoffen zijn voedingsstoffen (nutriënten) en de basis van de voedselketen. De belangrijkste nutriënten zijn de stikstofverbindingen (ammonia, nitraat en nitriet), fosforverbindingen (fosfaat) en silicaat. Nitraat en silicaat worden voornamelijk door rivieren aangevoerd; fosfaat vaak vanuit de zee (McLusky, 1989), in Nederland echter vooral door rivieren. Deze stoffen hopen zich op gedurende de winterperiode en zorgen voor de voorjaarsbloei van het fytoplankton (Bakker et al., 2000). Estuaria zijn over het algemeen rijk aan voedingsstoffen. In de zomer kunnen echter tekorten ontstaan. Concentraties van deze nutriënten veranderen steeds in ruimte en tijd, door fluctuerende aanvoer via het water, verbruik binnen het estuarium en omzetting in organische of anorganische verbindingen (Day et al., 1989).
Daarnaast komen er chemische stoffen voor die in het sediment ophopen en een verontreinigende werking hebben, zoals de zware metalen (cadmium, koper, kwik, lood en zink) en de organische contaminanten (PAK's, PCB's, HCB (Hexachloorbenzeen), TBT (Tributyltin) en bijvoorbeeld lindaan (een pesticide) (Bakker et al., 2000).

Filterwerking
Veel van de stoffen die door de rivier worden aangevoerd komen niet in zee terecht, omdat ze door een estuarium (al dan niet tijdelijk) worden opgeslagen. Een estuarium werkt als het ware als een filter. Deze filterwerking is vooral afhankelijk van 1) de retentie (= vermogen tot vasthouden) van zwevend materiaal, 2) de concentratie zwevend materiaal, 3) de verblijftijd van het water en 4) van stof-specifieke proces-parameters. De retentie van zwevend materiaal vindt met name plaats in de intergetijdengebieden en is afhankelijk van de grootte van dit gebied. De Waddenzee, Eems-Dollard en Westerschelde hebben alle een hoge retentiewaarde (80-95 %). Zowel voedingsstoffen als contaminanten kunnen zich binden aan zwevend materiaal. Vooral de contaminanten kunnen zich zeer langdurig hechten en ophopen in de bodem. Wanneer een estuarium wordt afgesloten en zoet water via sluizen in zee wordt gespuid (zoals bij de Haringvlietsluizen), verdwijnt de filterwerking. Bij een meer open sluisbeheer zal iets van de filterwerking kunnen terugkeren, afhankelijk van de bovengenoemde factoren die bepalend zijn voor de filterwerking (Eertman & Smaal, 1997; Wulffraat et al., 1993). (Zie ook paragraaf 4.4).

Zuurstof
Onder ideale omstandigheden is een estuarium rijk aan zuurstof door de toevoer van zuurstofrijk zee- en rivierwater. Door uitwisseling met de lucht en fotosynthese van planten komt er extra zuurstof in het water en treedt (over)verzadiging op. Door vervuiling (meestal vanuit de rivier) kunnen plaatselijk (en vaak tijdelijk) zuurstofarme omstandigheden voorkomen. Hierdoor ontstaat een zuurstofgradiënt, die afloopt in stroomopwaartse richting (horizontale stratificatie) (Eertman & Smaal, 1997). Soms is de zuurstofarmheid (of zuurstoffloosheid) beperkt tot de bodemlaag (verticale stratificatie), vooral in modderbodems (Wolff, 1973). In de zomer kunnen zelfs perioden van volledige zuurstoffloosheid voorkomen, die fataal zijn voor de meeste organismen. Onderzoek heeft echter uitgewezen dat een redelijk snel herstel mogelijk is wanneer de waterkwaliteit verbetert (Eertman & Smaal, 1997). Veel estuariene bodemdieren zijn aangepast aan (perioden met) lage zuurstofgehalten of zelfs periodieke zuurstoffloosheid (Wolff, 1983).

Samenvattend kan geconcludeerd worden, dat een estuarium een heel **dynamisch** milieu heeft, met veel **variabelen**, die variëren **in de tijd** en/of **in de ruimte** en een grote variatie heeft aan habitats. De dynamiek van een estuarium wordt voornamelijk veroorzaakt door de zeer belangrijke factor waterbeweging: de ontmoeting van een *eenzijdige* zoete rivierwaterafvoerstroom en een *tweezijdige* zoute getijbeweging vanuit zee. Hierdoor ontstaan een aantal (meer of minder) **geleidelijke overgangen,** de zogenaamde **estuariene gradiënten**, die **habitats** leveren voor vele planten- en diersoorten en door hun **filterwerking** voor een leefbaar milieu zorgen.

De belangrijkste estuariene gradiënten zijn:

1. **gradiënt van hoog (en droog) naar laag (en nat)**, langs de oevers van het estuarium (lateraal). Deze ontstaat door de getijbeweging en is van grote invloed op de vegetatie en fauna van het intergetijdengebied. Hierin spelen ook allerlei chemische processen een rol, zoals nitrificatie en denitrificatie.

2. **gradiënt van rivier- naar zeesediment en van grof naar fijn materiaal**, op de bodem en langs de randen van het estuarium (horizontaal en lateraal). Deze is zeer bepalend voor het bodemleven en daarvan afhankelijke soorten (vogels en vissen) en voor de vegetatie.

3. **gradiënt van zoet naar zout water**, door de menging van zoet rivierwater en zout zeewater, zowel in de waterkolom als (in mindere mate) in de bodem (horizontaal en verticaal). Deze is zeer bepalend voor het voorkomen van organismen en zorgt voor een overgang van fluviatiele naar mariene organismen. In het intergetijdengebied is er ook min of meer een laterale zoet-zout gradiënt, doordat op de hogere delen de invloed van regenwater veel groter is.

Daarnaast zijn er ook gradiënten in **temperatuur**, **zuurstof**, **licht** en bijvoorbeeld **nutriënten**.

De variabelen, die tezamen de abiotiek van een estuarium bepalen, zijn weergegeven in tabel 4.2. Deze variabelen kunnen in tijd en/of ruimte variëren. Hierbij gaat het om de toestand binnen één estuarium. Tezamen bepalen zij de levensvoorwaarden voor de biota. Ze zijn heel verschillend in belangrijkheid en omvang en hun variatie in de tijd of ruimte is ook sterk afhankelijk van de schaal van het estuarium.
De variatie in de ruimte kan zijn horizontaal, verticaal, lateraal en/of diagonaal. De variatie in de tijd is onder te verdelen in korte termijn (binnen een getijcyclus), middellange termijn (seizoen, jaar) en lange termijn (decennia) (McLusky, 1993).

Onderzoek in zoetwatergetijdengebieden heeft uitgewezen dat voor deze gebieden enkele variabelen cruciaal zijn. Dit zijn saliniteit, zuurstof en troebelheid/sediment als ruimtelijke variabelen en temperatuur als belangrijkste variabele in de tijd (McLusky, 1993). Deze zijn in de tabel met xx aangegeven. Andere publicaties over gradiënten in een estuarium zijn niet gevonden. Volgens mondelinge mededeling van McLusky vormen saliniteit, sediment en temperatuur gradiënten die voorkomen in het gehele estuarium (en niet alleen in het zoetwatergetijdengebied).

Zuurstof is een meer lokale gradiënt, omdat zuurstofminima vooral gevonden worden in de bovenste delen van het estuarium (mond.med. McLusky, 2000).

Tabel 4.2
Overzicht van variabelen die kunnen variëren in ruimte of tijd (aangegeven met x), en de abiotiek van een estuarium bepalen. De belangrijkste variabelen voor zoetwatergetijdengebieden zijn weergegeven met xx. Bron: McLusky, 1993.

VARIABELEN	Variatie in RUIMTE	Variatie in TIJD
Getij	x	x
Rivierafvoer	x	x
Wind	x	x
Diepte	x	x
Vorm	x	x
Golfslag	x	x
Substraat	x	x
Temperatuur	x	xx
IJsgang	x	x
Troebelheid	xx	x
Licht	x	x
Nutriënten	x	x
Zuurstof	xx	x
Saliniteit	xx	x

4.2 Biotiek

In de vorige paragraaf zijn de abiotische factoren van een estuarium beschreven, die de milieuomstandigheden vormen voor de levende wezens. In de komende paragrafen wordt een kort overzicht gegeven van de organismen(groepen) die voorkomen in een estuarium (paragraaf 4.2.3 - 4.2.12).

4.2.1 Estuariene soorten

De begrippen brakwatersoorten en estuariene soorten worden nogal eens door elkaar gebruikt. Wij hanteren de volgende definities:

Estuariene soorten zijn de soorten die in een estuarien systeem leven (= de soorten die in het zoetwatergetijdengebied, in het brakke middengebied en/of in de kustzone voorkomen). Dit is een omvangrijke groep zoetwater-, brakwater- en mariene soorten die op de een of andere manier (voor voedsel, rust, voortplanting) aan het estuarium gebonden is.

Brakwatersoorten zijn de soorten die alleen in brak water (water met een zoutgehalte tussen zoet water en zeewater in, dus 0,5-35 ‰, met een instabiel zoutgehalte) voorkomen of daarin hun optimum hebben.

De brakwatersoorten worden onderscheiden op grond van hun fysiologie: het alleen voorkomen in brak water. Dit is maar een beperkte groep, want veel soorten hebben een zeer brede fysiologische range en komen daarom ook in zoet of zout water voor (zie paragraaf 4.5).

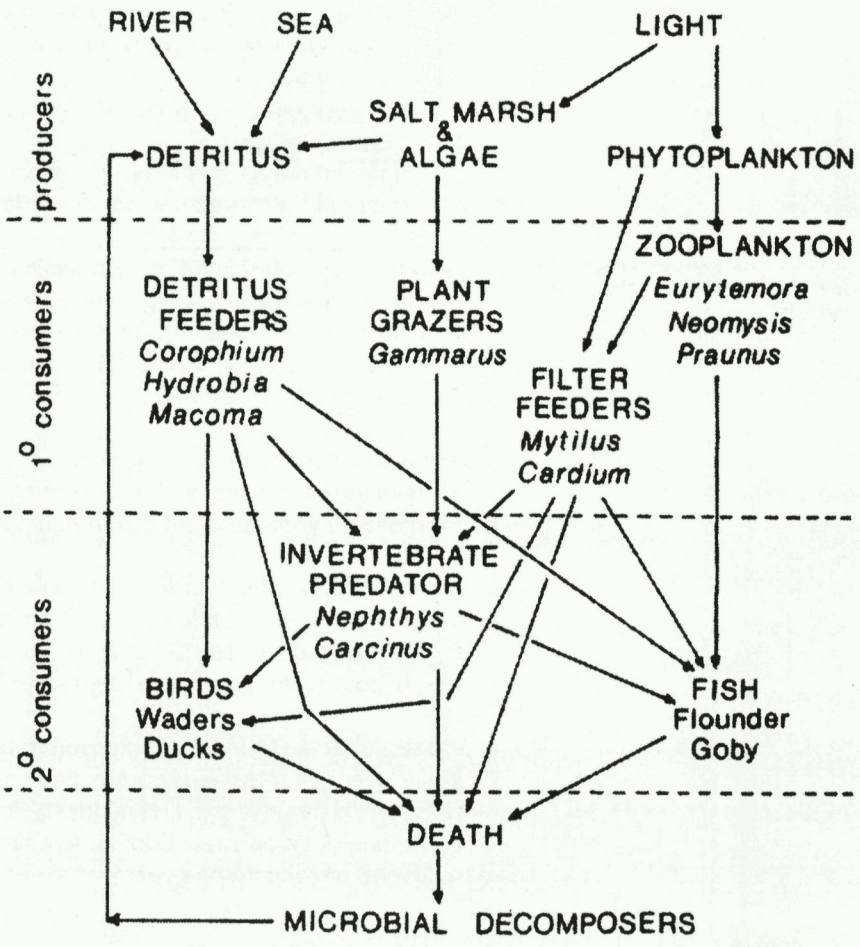
Interessanter is een indeling van soorten op grond van de ecologie. Ecologisch gezien is er een reeks van soorten die hun optimum hebben in brak water of zelfs hiertoe beperkt zijn. Het minder voorkomen in zoet of zout water wordt dan kennelijk veroorzaakt door andere factoren dan zoutgehalte, zoals sediment, of concurrentie.

Tot nu toe zijn nog weinig lijsten verschenen met in estuaria voorkomende planten- of diersoorten (al dan niet per habitat beschreven). Wij bevelen aan om voor estuaria een totaal overzicht te maken van de daarin voorkomende soorten en de bijbehorende habitats en geen onderscheid te maken op grond van zoutgehalte.

Bij het herstel van estuaria dient rekening gehouden te worden met de mogelijkheid dat exoten zich vestigen. Speciaal in deze dynamische, vaak lege milieus met de aanwezigheid van schepen en ballastwater, krijgen exoten een goede kans zich te vestigen, ten koste van endemische soorten (Wolff, 1999).

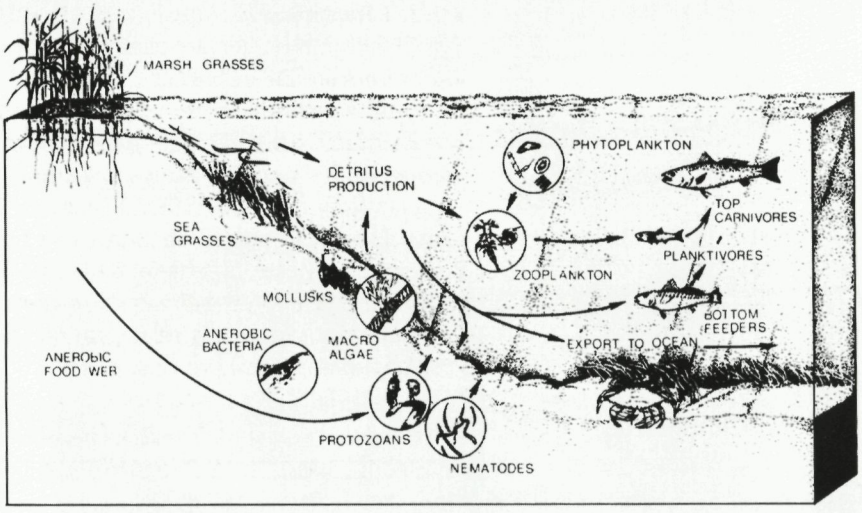
4.2.2 Voedselweb en trofische relaties

De mate van voorkomen van planten- en diersoorten in een estuarium hangt af van de milieuomstandigheden en de input aan energie. Globaal zijn er drie bronnen van energie: 1) zonlicht (nodig voor fotosynthese van de primaire producenten), 2) organisch en anorganisch materiaal dat in de vorm van detritus als extra voedsel het estuarium instroomt vanuit de rivier en de zee en 3) de mechanische energie van bewegend water, dat voedsel brengt naar de filterfeeders (zie figuur 4.5). De primaire producenten (= fytoplankton, fytobenthos, macroalgen en hogere planten), bacterien en het detritus zijn voedsel voor de primaire consumenten (= zoöplankton en macrofauna) en die zijn op hun beurt weer voedsel voor de secundaire consumenten (= ongewervelden, vissen en vogels). Deze zijn tenslotte weer voedsel voor de toppredatoren (= tertiaire consumenten: vogels en zoogdieren).



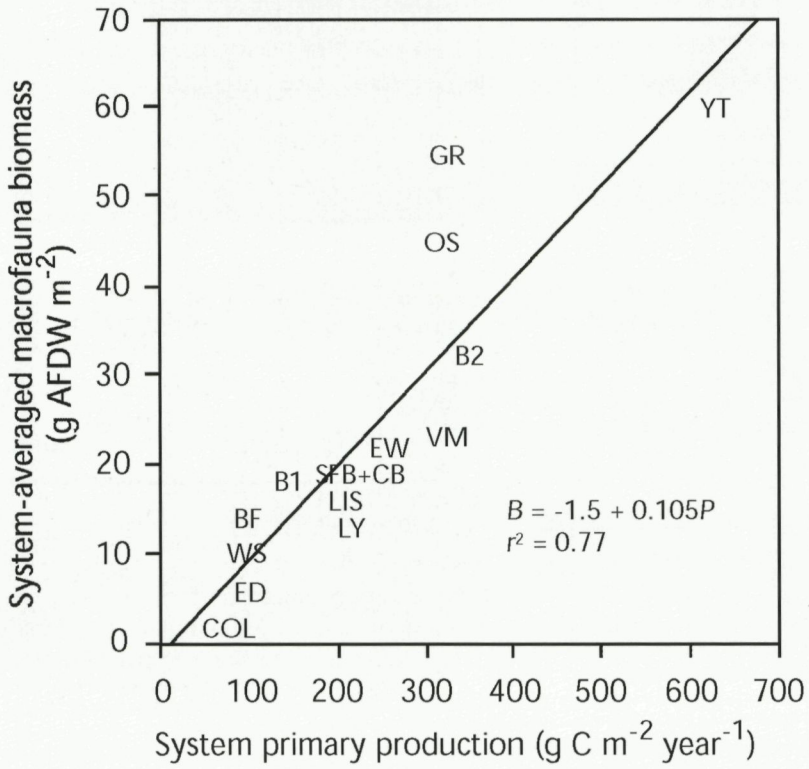
Figuur 4.5
Een vereenvoudigd estuarien voedselweb van een estuarium op het noordelijk halfrond. De pijlen geven de voedselrelaties weer; de gestippelde lijnen scheiden de verschillende trofische niveau's. Bron: McLusky, 1989.

In een estuarium is er ook op voedselniveau uitwisseling tussen de bodem en de waterkolom. Primaire producenten zijn er zowel op de bodem (microfytobenthos, macroalgen en macrofyten) als in het water (fytoplankton). Ook de primaire en secundaire consumenten komen zowel op de bodem als in de waterkolom voor.
In figuur 4.6 zijn de relaties in een vereenvoudigde dwarsdoorsnede weergegeven. Een uitgebreider en compleet estuarien voedselweb is nog niet beschreven.



Figuur 4.6
Vereenvoudigd voedselweb van een estuarium met daarin de belangrijkste voedselgroepen, weergegeven in een dwarsdoorsnede van een estuarium. Bron: Day et al., 1989.

Herman et al. (1999) beschrijven dat het macrobenthos (= macrofauna op de bodem) een belangrijke component van het estuariene ecosysteem is, omdat het direct een groot deel van de primaire productie verwerkt. De biomassa van estuariene macrobenthos is dan ook te voorspellen op grond van gegevens over de primaire productie in een estuarium.

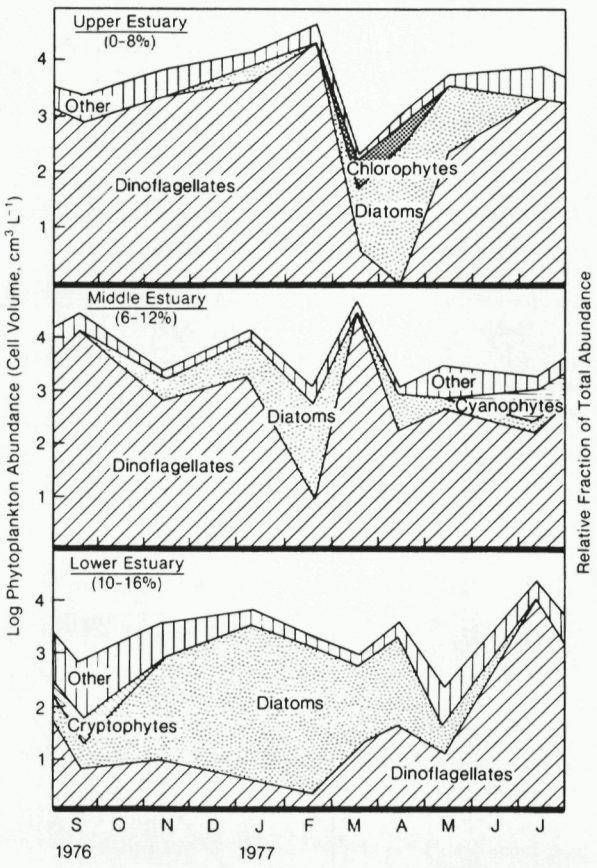


Figuur 4.7
Empirische relatie tussen de gemiddelde macrobenthische biomassa en de primaire productie van ondiepe, goed gemengde estuariene systemen. Bron: Herman et al., 1999.

Bovenstaande illustreert, dat in goed gemengde systemen de koppeling tussen het benthische en pelagische voedselweb intensief is. Enerzijds is productiviteit een belangrijke limiterende factor voor de gemiddelde benthische biomassa; anderzijds dragen benthische plantaardige organismen ook significant bij aan de primaire productie. Om de dynamiek binnen estuaria te kunnen begrijpen is het zeker van belang ook de macrobenthos-populatie goed te kennen, evenals de invloed die deze populaties kunnen hebben op andere organismen en op hun eigen omgeving (Herman et al., 1999).

4.2.3 Fytoplankton

Fytoplankton is de verzamelnaam voor alle eencellige planten die vrij in het water zweven. Ze leveren een substantiele bijdrage aan de primaire productie. Ze vormen een belangrijke voedselbron voor veel organismen. De meest dominante groepen zijn diatomeeën, dinoflagellaten, goudalgen, groenalgen en blauwalgen (= cyanobacterien). Zij komen alle in estuaria voor. De fytoplanktonsamenstelling en de aantallen per groep verschillen gedurende een jaarcyclus en zijn ook afhankelijk van de plaats in het estuarium, onder andere bepaald door het zoutgehalte, de temperatuur, licht en de concentratie nutriënten. Een voorbeeld van de seizoensfluctuaties in de fytoplanktondichtheid, in relatie tot het zoutgehalte, is weergegeven in figuur 4.8 (Day et al., 1989).



Figuur 4.8
Seizoensfluctuaties in de fytoplankton dichtheid (cellen per volume) in relatie tot de saliniteit. Bron: Day et al., 1989.

Onder de fytoplanktonsoorten komen ook soorten voor, die (onder bepaalde omstandigheden) toxisch kunnen zijn en zelfs bij lage dichtheden problemen geven. Vooral in geval van een planktonbloei (waarbij fytoplanktonsoorten zich

in korte tijd enorm vermeerderen) kunnen problemen ontstaan, met verstrekkende gevolgen voor het gehele ecosysteem. Een algenbloei kan ontstaan door een toename van de watertemperatuur, al dan niet in combinatie met een versterkte uitstoot van nutriënten (via rivierwater of uit de lucht) of overbevissing. Na de algenbloei sterven de soorten af, waardoor tijdelijk een zuurstoftekort kan ontstaan.
In de Noordzee leven ongeveer 20 soorten toxische algen, waarvan de toxinen zich via het voedselweb verspreiden, bijvoorbeeld *Gyrodinium aureolum*, *Fibrocapsa japonica* en diverse *Chattonella* soorten. Daarnaast is er een aantal soorten, dat aangewezen is op warmer water dan dat van de Noordzee/Waddenzee. Door verandering van het klimaat en een voorspelde temperatuurstijging van zo'n 3°C in de komende eeuw, kunnen veel meer soorten in onze wateren voorkomen. Verspreiding van soorten via ballastwater of aquacultuurproducten (bijvoorbeeld mosselen, kokkels en oesterlarven) gebeurt al, al dan niet in cystevorm. Als cyste kunnen algensoorten ook onder ongunstige omstandigheden nog jaren voortleven. Zo kunnen zeer toxische algensoorten, zoals *Pfiesteria piscicida*, die nu alleen nog in Noord-Amerika voorkomt (en onder optimale omstandigheden van 24 °C en een zoutgehalte van 15 ‰S, daar zeer grote vissterfte veroorzaakt en ook een gevaar voor mensen kan zijn) mogelijk ook in onze wateren gaan gedijen. Oplettendheid door monitoren en onderzoek naar de sturende factoren is dan ook gewenst.

4.2.4 (Micro)fytobenthos

Een belangrijk deel van de primaire productie in het estuariene ecosysteem wordt geleverd door het microfytobenthos: eencellige planten (voornamelijk diatomeeen) die op de bodem leven. Zij vormen een belangrijke voedselbron voor de macrofauna op de bodem, het macrobenthos.

4.2.5 Macroalgen (= wieren)

Wieren kunnen voorkomen op flauw oplopende getijdenoevers (in het intergetijdengebied), op harde substraten zoals schelpen en op dijken (steile oevers).
Tussen de hoog- en laagwaterlijn (het intergetijdengebied) komen voornamelijk groenwieren voor. Deze kunnen in vier belangrijke groepen worden verdeeld: Zeesla, darmwieren, borstelwieren en rotswieren. Op de open slikken en platen, schelpruggen en kleibanken zijn kleine darmwieren de overheersende plantengroep. Op mosselpercelen worden veelvuldig kluwens van borstelwieren aangetroffen. Tezamen met de (bijna verdwenen) zeegrassen vormen de wieren een specifiek leefmilieu voor een groot aantal kleine dieren en daarop foerageren weer hogere organismen. Op plaatsen waar wieren in grote dichtheden voorkomen kunnen ze veel sediment vangen en vasthouden en zo invloed uitoefenen op de plaatopbouw.
Op steile getijdenoevers (voornamelijk de kunstmatige dijken) kan zich een soortenrijke gemeenschap van wieren bevinden op het gedeelte dat twee keer per dag overspoelt. In de zone daaronder, die altijd onder water staat en waar geen licht in doordringt, komen alleen dieren voor. De wieren komen in een vaste zonering voor, van hoog naar laag:

- pioniersoorten (darmwieren, Zeesla en Purperwier) en zeepokken
- bruinwieren (Kleine zee-eik, Blaaswier, Gezaagde zee-eik, Knotswier), een onderbegroeiing van enkele roodwieren (Iers mos, Kernwier, korstwieren), alikruiken en zeepokken.
- soortenrijke zone met hoge aantallen en soorten bruinwieren en roodwieren en dieren (zoals sponzen, zakpijpen, zeeanemonen, mosselen en oesters).

Een beschrijving van de horizontale en verticale distributie van wieren in relatie tot saliniteit en dynamiek in het intergetijdengebied van Zuidwest Nederland is beschreven door Nienhuis (1980) (zie bijlage 2).

4.2.6 Macrofyten (=waterplanten)

Op de slikken kan tussen de hoog- en laagwaterlijn Klein zeegras voorkomen. Groot zeegras komt ook onder de laagwaterlijn voor. Beide zijn momenteel zeldzame Rode Lijstsoorten, hoewel ze tot 1930 massaal in de Waddenzee voorkwamen. Veranderingen van stroming en golven, bedekking door macroalgen en epifyten, kokkel- en mosselvisserij, ijsgang, begrazing, saliniteitsschommelingen en watervervuiling zijn factoren die een bedreiging vormen voor een goede ontwikkeling en voor herstel van de populaties (De Jonge et al., 1997). Vanwege het grote ecologische belang wordt er nog steeds onderzoek verricht naar de mogelijkheden van herstel/herintroductie van zeegras.
Andere estuariene (en tevens zeldzame Rode Lijst-)soorten zijn Zannichellia, Snavelruppia en Spiraalruppia , die nog in het Delta- en Waddengebied voorkomen en vroeger ook in de Zuiderzee voorkwamen (Van der Meijden et al., 1983).

4.2.7 Terrestrische planten

Aan de randen van de estuariene intergetijdengebieden ontwikkelen zich zoetwater -, brakwater- of zoutwatergetijdenvegetaties.
Alleen in de Biesbosch heeft een goed ontwikkelde zoetwatergetijdenvegetatie bestaan (met waterplanten, biezengorzen, rietgorzen, vloedbos en grienden) die beter ontwikkeld was dan die van de Schelde, Theems, Seine, Weser en Elbe (Westhoff et al., 1981), maar deze is grotendeels verdwenen sinds de afsluiting van het Haringvliet in 1970.
Brakwatergetijdengebieden hebben een eigen, karakteristieke plantengroei met soorten als Heemst , Heen (= Zeebies) en bijvoorbeeld het uit Zuid-Afrika afkomstige Goudknopje (dat voorkomt in de Dollard).
Zoutwatergetijdenvegetaties komen voor op de kwelders in Noord Nederland en de schorren (= kwelders) in Zuidwest Nederland. Ze ontwikkelen een successiereeks van wad (zout en nat) naar hoge kwelder (zoet en droog). Belangrijke soorten in deze reeks zijn Zeekraal, Kweldergras, Schorrezoutgras, Zeeaster, Lamsoor, Zeealsem en tenslotte Rood zwenkgras (Westhoff et al., 1981). De vastelandskwelders in het noorden van Nederland zijn door landaanwinning ontstaan en daardoor half-natuurlijk. Ze verschillen van de natuurlijke kwelders op de Waddeneilanden (Esselink, 2000). De invloed van het beheer van deze gebieden (bijvoorbeeld in de vorm van begrazing) is van essentieel belang voor de vegetatieontwikkeling. Als voorbeeld wordt in bijlage 3 een globale indruk gegeven van de vegetatieontwikkeling in het noordelijk deltabekken onder invloed van het zoutgehalte, weergegeven volgens het model EMOE, in een situatie zonder beweiding en een situatie met beweiding.

4.2.8 Zoöplankton

Het zoöplankton bestaat uit kleine dierlijke organismen, die in het water zweven of zwemmen, maar voor hun bewegingen afhankelijk zijn van de waterbewegingen. Het is verdeeld in twee categorieën: holoplankton en meroplankton. Holoplankton is gedurende het gehele leven zoöplankton, leeft voornamelijk pelagisch, heeft een grote groeisnelheid en een grote fysiologische tolerantie, waardoor het kan overleven onder variabele omstandigheden. De belangrijkste vertegenwoordigers zijn de Copepoda (roeipootkreeften). Meroplankton is alleen plankton gedurende de larvale fase.

Het bestaat uit een grote diversiteit aan soorten. Het meest algemeen zijn de juvenielen van benthische evertebraten (= ongewervelden) en Chordata (Chordadieren): eieren, larven, juvenielen van garnalen, krabben en vis en de diverse stadia van holtedieren (kwallen).

Zoöplankton varieert van microzoöplankton (< 20 um) tot megazoöplankton (> 2 cm).
Naast de grootte kan zoöplankton ook getypeerd worden op basis van het voorkomen in het seizoen. Dittmann (1999) onderscheidt:

- winterplankton: weinig soorten en individuen, dominantie van Copepoda
- lenteplankton: toename van soorten en aantallen, voornamelijk meroplankton
- vroege zomerplankton: grootste aantallen en hoogste soortdiversiteit
- late zomer/herfstplankton: afname in aantallen en toename van soorten, hoge diversiteit

Het zoöplankton is een belangrijke groep in de estuariene voedselketen. Er komen in estuaria zowel veel mariene soorten, alswel ook zoetwater- en echte brakwatersoorten voor (Redeke, 1922; Remane, 1934).

4.2.9 (Macro)benthos

De diversiteit aan benthische organismen in estuaria is enorm groot. Enkele goede voorbeelden van overzichten en beschrijvingen van benthische systemen in relatie tot habitat en processen, zijn te vinden in Carriker (1967) en Wolff (1973).
Benthische organismen worden vaak beschreven in relatie tot hun habitat en worden geclassificeerd in functionele groepen (zie tabel 4.3).

Vanwege de grote diversiteit aan classificatietypen is het vaak moeilijk om resultaten van verschillende macrobenthos-onderzoeken te vergelijken. Het meest algemeen wordt er naar leefwijze (habitatvoorkeur en voedsel) gekeken. Onderzoek concentreert zich vaak op epifauna (aangroei), infauna (= organismen die in de bodem leven) of mobiele organismen (die over het sediment kruipen of er in graven naar voedsel). Verder wordt er vaak alleen naar macrofauna of alleen naar meiofauna gekeken, vanwege beperkte tijd of methodische of taxonomische problemen. Aanbevolen wordt om bij onderzoek in estuaria naar de totale bodemfauna te kijken, dus ook naar epifauna, macroinfauna, meiofauna en mobiele benthos (Herman et al., 1999).

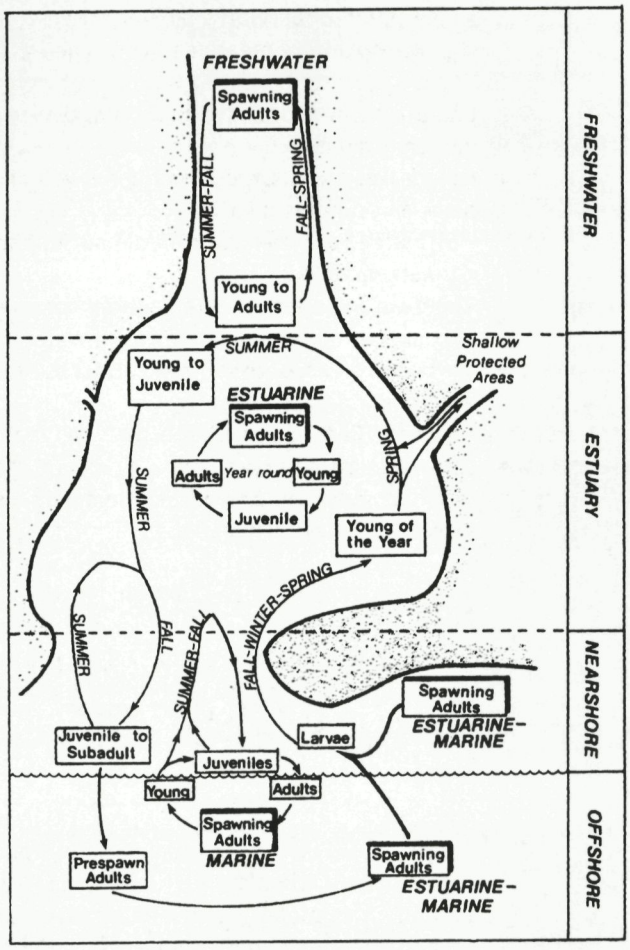
Tabel 4.3
Overzicht van een functionele classificatie van zoöbenthos in estuaria. Bron: naar Day et al., 1989.

Naam	Functionele karakteristiek	Voorbeelden
	Grootte volwassen individu	
Macrobenthos	groot genoeg om te scheiden met een zeef van 0.5 mm (> 1 mm)	meeste mollusca, polychaeta, decapoda en andere crustacea
Meiobenthos	kleiner dan macrobenthische, te scheiden met zeef van 67 um of 44 um (van 32 um tot 1 mm)	nematoda, copepoda, vele tubelaria
Microbenthos	kleiner dan meiobenthos (< 32 um)	protozoa, bacterien
	Microhabitat	
Epibenthos	leven aan of op oppervlaktes	oesters, pokken, sponzen, sommige polychaeta, zeeegels
Infauna	leven in het sediment in buizen of tunnels	meeste bivalven, veel polychaeta, nematoda
Interstitiele fauna	leeft tussen sediment deeltjes	strand meiofauna
	Voedselvoorkeur	
Suspension-feeder	voedt zich door niet-selectief invangen en concentreren van voedsel uit de waterkolom, door gebruik te maken van verschillende organen zoals kieuwen, palpen, lophophoren, slijmuitscheiding en trilharen	sponzen, bryozoa, veel bivalven, sommige polychaeta en crustacea, zoals pokken
Filterfeeder	voedselvergaring door water te filteren; afhankelijk van de grootte van deeltjes	porifera, tunicata en veel bivalven
Non-selective deposit feeder	voeding door sediment te eten met de daarin voorkomende levende organismen en organische stof	vele macro- en meiobenthische organismen (slakken en oligochaeta)
Selective deposit feeder	selectief eten van organisch verrijkt sediment zoals diatomeeen-films	sommige nematoda, zeeegels, krabben
Raporial feeder en predator	eten individuele voedselpartikels dood of levend, zowel uit sediment als uit de waterkolom	zeester, polychaeta, nematod, tubellaria
Parasiet en commensal	gespecialiseerde organismen die in of op benthische dieren leven van lichaamssappen of voedsel uit kiewen	parasitaire platwormen en copepoda, krabben in oesters

4.2.10 Vissen

Vissen gebruiken het estuarium voor verschillende doeleinden. Vaak worden de vissen gekarakteriseerd in relatie tot de functies die het estuarium voor hen vervult of op grond van hun positie in het estuarium. Zo kun je vissen typeren naar migratiepatroon, naar het voorkomen in de waterkolom (pelagisch, in ondiep water of als bodembewoner), naar voedselvoorkeur of naar de wijze van voortplanten (zie bijlage 4).

Een overzicht van mogelijke migratiepatronen van vissen in estuaria, voor voortplanting en overleving van jonge vis, in relatie tot de tijd van het jaar (seizoen), is gegeven in figuur 4.9.



Figuur 4.9
Gebruik van een estuarium door vissen, in ruimte en tijd (naar Deegan & Thompson, 1985). Bron: Day et al., 1989.

Over de rol die estuaria kunnen vervullen voor vissen bestaan nog veel misverstanden en onzekerheden. Vaak worden soorten onterecht gekwalificeerd als estuariene of als brakwatersoort, ondanks het feit dat er geen precieze onderzoeksgegevens bekend zijn. Zo wordt de term "trekvissen" gebruikt voor alle vissoorten die door het estuarium heen trekken: lange-afstandmigreerders (zoals zalmachtigen), korte-afstandmigreerders die zich op de grens van het estuarium voortplanten (zoals de Fint) en vissen waarvan de larven met de vloedstroom binnenkomen (zoals de Bot). De kinderkamerfunctie (het belang van estuaria voor het opgroeien van larven) in bijvoorbeeld het Eems-Dollard estuarium is uitgebreid beschreven door Jager (1999). De kraamkamerfunctie (afzet van eieren) voor zeevissen in estuaria wordt echter nog nauwelijks gesteund door (kwantitatief) onderzoek (Paalvast et al., 1998) en is onvoldoende bekend. Het verdient aanbeveling om de diverse functies die estuaria voor vissen kunnen hebben, goed en volledig in beeld te brengen, met inachtneming van ruimtelijke en temporele aspecten.

De migratie van vissen kan als volgt ingedeeld worden:
1. Potamodroom: migratie geheel in zoetwater
2. Oceanodroom: leven en migreren volledig in zee
3. Diadroom: vissen die migreren tussen zee en rivier

Deze laaste groep wordt vaak onderverdeeld in:

- Anadroom: voornamelijk in zee levend en voortplantend in zoet water
- Katadroom: voornamelijk in zoetwater levend en naar zee migrerend voor voortplanting
- Amphidroom: vissen die vrij tussen zout- en zoetwater migreren, niet voor voortplanting maar vaak voor voedsel

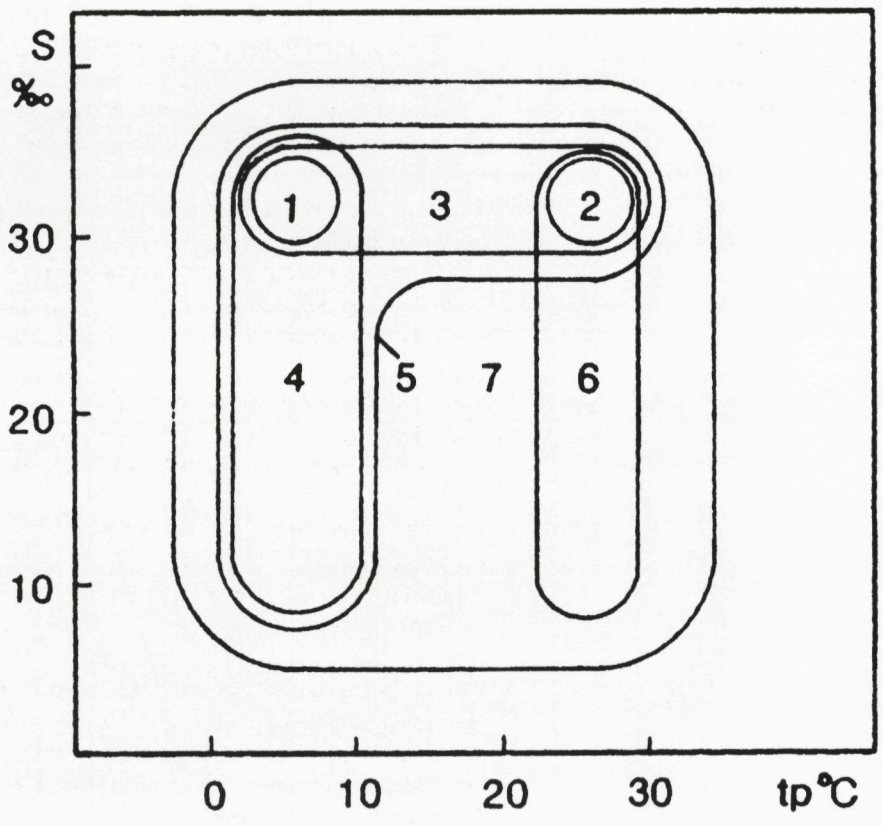
Een estuarium wordt gebruikt door diverse groepen van vissen, die onder te verdelen zijn in:
- **diadrome soorten**: soorten die het estuarium als trekroute gebruiken tussen paai- en opgroeigebied;
- **estuariene soorten**: soorten die hun totale levenscyclus in het estuarium kunnen vervullen;
- **zoetwatersoorten:** soorten zonder speciale behoefte aan een estuarium; bezoeken onregelmatig het brakke water;
- **mariene gasten**: zeesoorten zonder speciale behoefte aan een estuarium; bezoeken het onregelmatig;
- **mariene juvenielen**: zeesoorten waarvan de jonge exemplaren kunnen opgroeien in een estuarium;
- **mariene adulten**: zeesoorten die in een vast seizoen een estuarium bezoeken, meestal in volwassen stadium.

Vissen zijn bij uitstek geschikt om iets dieper in te gaan op de verschillende aanpassingsstrategieën van organismen in de dynamische leefomgeving van het estuarium en het leeftijdsafhankelijke gebruik van de estuariene ruimte in de tijd. Daarom worden twee voorbeelden gegeven:
1. adaptatie en tolerantie
2. levenshistorie van de bot

Adaptatie
Er zijn globaal drie mechanismen voor organismen om zich aan te passen aan stress omstandigheden: migreren, aanpassen of sterven. Het concept van adaptatie is complex. Vaak leeft de juveniele vorm in heel andere omstandigheden dan de adulte vorm. Verreweg het grootste probleem is osmo-regulatie in relatie tot veranderende zoutgehalten en temperatuur. In de gematigde zone kan over het algemeen gesteld worden dat met toenemende temperatuur de mogelijkheid om zich aan te passen aan veranderende zoutgehalten afneemt. Onderstaande voorbeelden illustreren de diversiteit in gevoeligheid van vissoorten ten aanzien van zout- en temperatuurtolerantie.

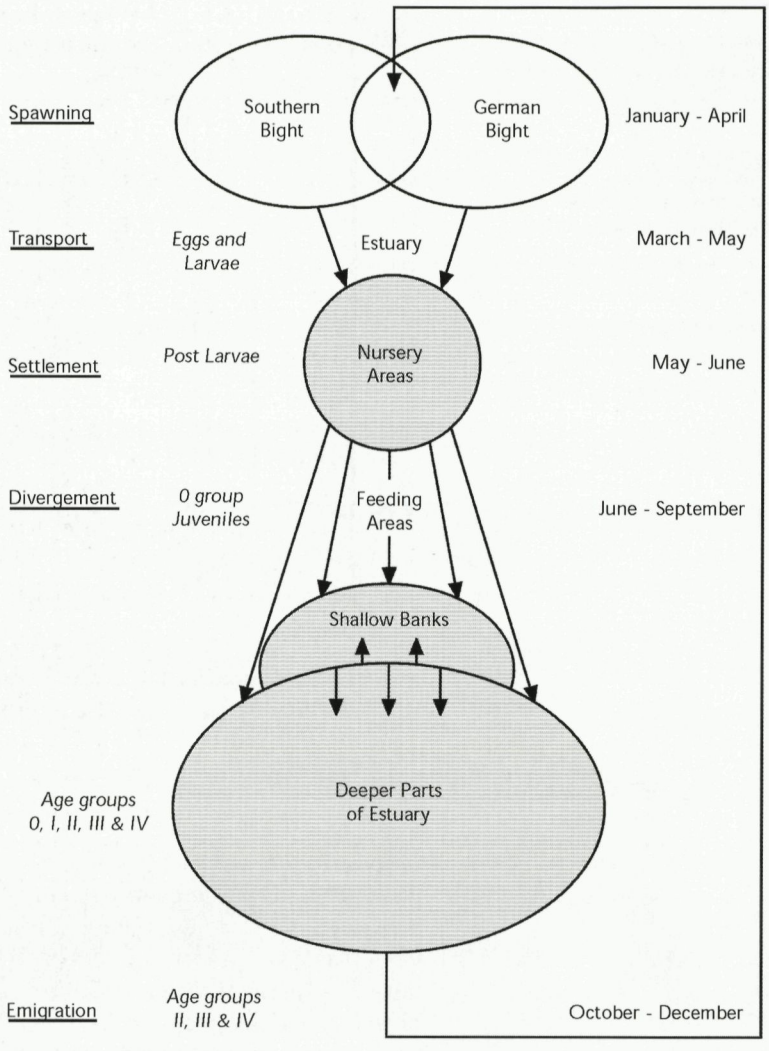
Tolerantieklassen voor vis in reactie op temperatuur en zoutgehalte
Estuariene vissen kunnen globaal in 7 groepen verdeeld worden in relatie tot hun tolerantie voor zout- en temperatuurschommelingen (figuur 4.10). Sommige soorten vereisen een hoge saliniteit en komen derhalve nooit voor in de riviergedomineerde delen van het estuarium. Afhankelijk van hun temperatuurtolerantie zijn er polaire (1), tropische (2) en gematigde (3) soorten. Andere soorten hebben een bredere zouttolerantie, maar zijn door hun temperatuurtolerantie beperkt tot de koudere (4), gematigde (5) of warmere gebieden (6). Er zijn enkele soorten die breed tolerant zijn ten aanzien van zowel zout als temperatuur (7).

Figuur 4.10
Indeling van estuariene vissen op grond van hun tolerantie voor zout en temperatuur. (1) Hoge saliniteit, lage temperatuureisen, niet tolerant voor grote variatie in beide. (2) Hoge saliniteit, hoge temperatuur, niet tolerant voor grote variatie. (3) Beperkte saliniteit-tolerantie, hoge temperatuur-tolerantie. (4, 6) Hoge saliniteit-tolerantie, maar beperkt door lage temperatuur (4) of hoge temperatuur (6). (5) Tolereert bij lage temperatuur grote saliniteitsveranderingen, of tolereert bij hoge temperatuur kleine saliniteitsveranderingen. (7) Brede tolerantie voor zowel temperatuur als saliniteit. Bron: Day et al., 1989.



Levenshistorie van de Bot
Bos (1999) geeft een overzicht van de meest belangrijke gebeurtenissen in de levenscyclus van de Bot (figuur 4.11). Paai van de noordwestelijke Botpopulatie vindt plaats van januari tot april in de Noordzee. Onduidelijk is nog of er één of meerdere, geografisch geïsoleerde paaiplaatsen zijn. De pelagische eieren drijven aanvankelijk passief mee met de stroming, maar al vrij snel kunnen de post-larven zwemmen en daardoor hun migratiepatroon beïnvloeden richting Waddenzee. De larven worden waarschijnlijk gestimuleerd verder stroomopwaarts te migreren naar zogenaamde kinderkamers door lagere zoutgehalten van het water, hogere voedselbeschikbaarheid en andere factoren. In de kinderkamers aangekomen eindigt de metamorfose van de Botlarven en worden de aanvankelijk pelagische larven bodembewoners. Vanuit de kinderkamers bevolken de jonge Botten andere delen van het estuarium. Onderstaand voorbeeld illustreert dat voor het herstel van populaties, naast draagkracht en productiviteit, ook de beschikbaarheid en bereikbaarheid van geschikte habitats tijdens de verschillende levensfasen van de soort van essentieel belang zijn (zie figuur 4.11). Met het beschrijven van deze levenshistorie strategie wordt aandacht gevraagd voor ruimte- en tijdaspecten binnen het ecologisch herstel. In hoofdstuk 5 wordt verder ingegaan op de betekenis van tijdaspecten, schaal en ruimte.

Figuur 4.11
Schematische weergave van de levenshistorie van de Europese botpopulatie in de getijdezone van de Elbe. Estuariene habitats zijn gearceerd. Bron: Bos, 2000.



4.2.11 Vogels

Door hun hoge productiviteit en hun uitgestrektheid zijn intergetijdengebieden ideale foerageer- en overwinteringsgebieden voor een grote groep (trek)vogels en dat maakt onze estuaria van internationaal belang.

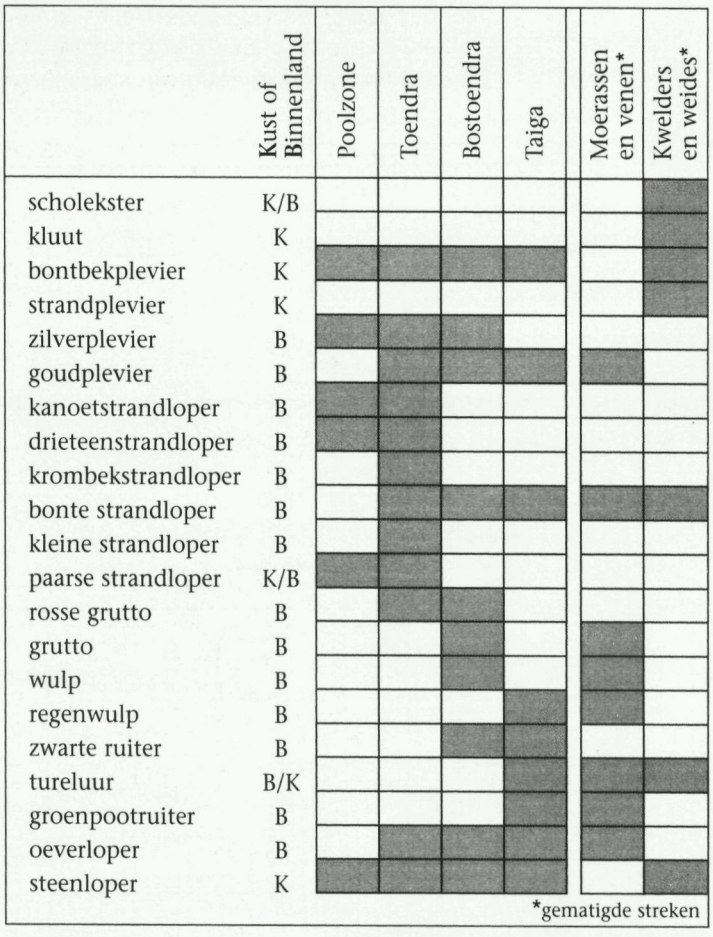
Globaal kunnen vogels ingedeeld worden in de volgende groepen:
1. naar gebruik van ruimte in de tijd:
- broedvogels
- doortrekkers
- standvogels
- overwinteraars

2. naar voedselvoorkeur
- benthivoren (steltlopers en duikeenden)
- piscivoren (aalscholver, meeuwen, sterns, futen)

- herbivoren (ganzen, eenden, zwanen)

De Nederlandse estuaria ontlenen hun internationale betekenis voornamelijk aan de grote aantallen steltlopers die hier verblijven. Deze steltlopers gebruiken de Nederlandse estuaria vooral als foerageer- en rustplaats (zie figuur 4.12).

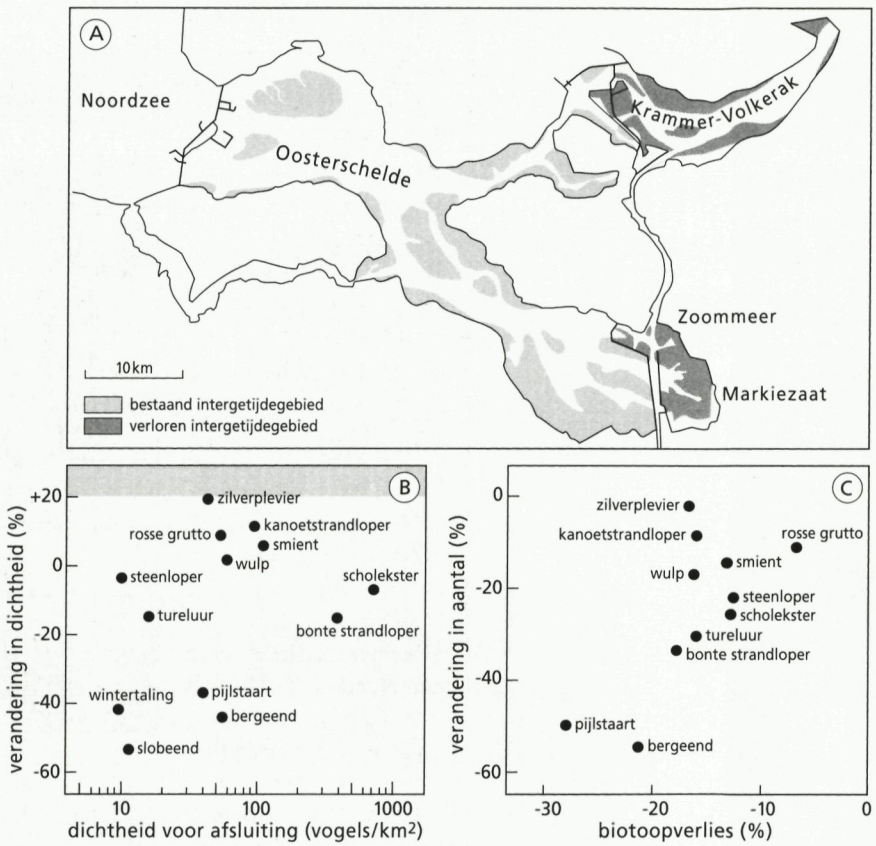
Figuur 4.12
Karakterisering van het broedbiotoop van de Europese steltlopers, op basis van verschillende in de literatuur verschenen overzichten. Bron: Van de Kam et al., 1999.



Standvogels (zoals de Kluut, Zwarte ruiter, Tureluur en Wintertaling) gebruiken het estuarium vooral als broedbiotoop en om te foerageren. Daarnaast komen er in estuaria nog belangrijke wintergasten voor die voedsel en rust zoeken, zoals bijvoorbeeld de Brandgans en Grauwe gans. Rietvelden in het zoetere deel van estuaria zijn vooral van belang voor de Bruine kiekendief, Waterral, Rietzanger, Kleine karekiet en Baardmannetje (De Boer & Wolff, 1996). Daarnaast zijn er vele tientallen soorten, die onder de categorie zoetwater- of zoutwatersoorten vallen, maar tevens gebruik maken (of onderdeel zijn) van het estuariene ecosysteem. Lenselink & Gerits (2000) hebben minstens 50 vogelsoorten gevonden die ecologisch gezien gebruik maken van estuaria (zie bijlage 5).

Van de Kam et al. (1999) laten aan de hand van de gevolgen van de afsluiting van de Oosterschelde zien (figuur 4.13) dat verschillen in reactie tussen soorten meer te maken hebben met het type biotoop dat verloren ging (vooral zachte slikken aan de rand van kwelders) dan met populatieveranderingen op Europees niveau. Geconcludeerd kan worden dat voor vogels het voedselaanbod (kwaliteit) en het aanbod van een voldoende groot areaal (kwantiteit) cruciaal

zijn. Een onderbouwde kwantificering van kritische dichtheden en areaalgrootten ontbreekt nog. Vragen die daarbij rijzen zijn: Hoe groot moet een gebied zijn om als rust- of als foerageergebied voor vogels in aanmerking te komen? Willen vogels bij voorkeur in grote dichtheden overwinteren en stelt dit eisen aan de omvang van arealen? Hoeveel vogels van elke soort moeten in een gebied aan hun trekken kunnen komen om op populatieniveau van belang te kunnen zijn? Hoeveel voedsel moet er minimaal aanwezig zijn? Nader onderzoek op dit gebied lijkt gewenst, ook gezien de Nederlandse verplichtingen ten aanzien van internationale verdragen (zie hoofdstuk 5).



Figuur 4.13
Het effect van de Oosterscheldewerken op de aantallen wadvogels. (A) kaart van het gebied en de afsluitingen, (B) veranderingen in de dichtheid foeragerende vogels na afsluiting, uitgedrukt als % van de dichtheid voor afsluiting en per soort uitgezet tegen die dichtheid voor afsluiting, voor soorten die met meer dan 2000 exemplaren plachten te overwinteren, (C) veranderingen in de aantallen overwinterende vogels na afsluiting, uitgedrukt als % van de aantallen voor afsluiting en per soort uitgezet tegen het soortspecifieke biotoopverlies. Bron: Van de Kam et al., 1999.

4.2.12 Zoogdieren

Over zoogdieren in estuaria is weinig bekend. Voor grote zoogdieren (toppredatoren) kunnen estuaria voedsel en rust bieden. De Zeehond komt nog voor in de Westerschelde en het Eems-Dollard estuarium. De Bruinvis, Tuimelaar en Otter (allen Rode Lijstsoorten) zijn als Nederlandse soort verdwenen. De Bruinvis kwam tot de aanleg van de Afsluitdijk nog voor in de Zuiderzee, waar hij meetrok met de Haring, zijn voornaamste voedselbron.

4.3 De mens

De mens benut en gebruikt estuaria op een groot aantal manieren. Dit heeft direct en indirect gevolgen voor het ecologisch functioneren van estuaria. Eutrofiëring bijvoorbeeld heeft directe gevolgen voor de primaire productie, de nutriëntenhuishouding en de opbouw van de leefgemeenschap.

Veranderingen in de morfologie of hydrologie hebben indirecte gevolgen voor het ecologisch functioneren. Day et al. (1989) noemen vier categorieën van directe en indirecte antropogene invloed (ofwel verstoring). Als vijfde is een restgroep toegevoegd. Per categorie zijn voorbeelden gegeven van functies, gebruik en het nut van estuaria voor de mens.

1. verrijking (nutriënten, organische stof, koelwater)
- afvallozing: riool effluent, industrieel afvalwater, afstroming landbouwwater
- intensieve landbouw: akkerbouw, veeteelt, kassen

2. fysische veranderingen
- kustbescherming: duinaanplant, zeedijken, strekdammen
- hoogwaterbescherming: dammen, stuwen en sluizen
- sedimentverwijdering: baggeren, zand/grindwinning
- infrastructuur: jachthavens, boeien, steigers, pieren

3. verontreinigingen (toxische stoffen, zware metalen)
- industrie
- haven gerelateerde activiteiten: havens, dokken, scheepswerven

4. oogst en gebruik van soorten
- extensieve landbouw: zilte landbouw, rietsnijden
- visserij en schaaldierkweek: vis-, garnalen- en kokkelvangst, mossel- en oesterteelt
- jacht: eenden, ganzen, konijnen, hazen, etc.
- natuur(ontwikkeling), herstel en beheer: natuurbeschermingsgebieden, Riet- en zeegras-aanplant, begrazing, sluisbeheer, moerasontwikkeling, eiland opspuiten

5. overige functies
- transport: scheepvaart, tunnels, wegen, viaducten
- communicatie: kabels over en onder water
- bewoning: woonkernen, populatiedichtheid
- toerisme en recreatie
- watergebonden recreatie: zeilen, waterskieen, speedboten, surfen, duiken, zwemmen, rondvaartboten, vissen, wadlopen, pierensteken
- terrestrische recreatie: wandelen, vogelen, paardrijden, vogelhutten
- militaire activiteiten: testvluchten, schietoefeningen
- gas- en oliewinning: boren, pijpleidingen, morsingen
- energieopwekking: elektriciteitscentrales, windmolens, waterkracht, koelwater

4.4 Natuurwaarden

De beschrijving van de abiotiek (paragraaf 4.1) maakt duidelijk, dat een estuarium een zeer gevarieerd gebied is met een natuurlijke dynamiek. Uit de beschrijving van de biotiek (paragraaf 4.2) blijkt dat ook de biota zeer gevarieerd zijn (hoewel soortenlijsten nog vaak ontbreken). Een estuarium is dan ook een gebied met een potentieel zeer hoge natuurwaarde (dit rapport; Lenselink & Gerits, 2000; De Boer & Wolff, 1996).

Achtereenvolgens zullen een aantal aspecten hiervan kort aangehaald worden, namelijk habitatdiversiteit, productiviteit, kraam- en kinderkamerfunctie voor vissen en zuiverend vermogen.

1. Habitatdiversiteit

Omdat een estuarium zich uitstrekt van open zee tot op de rivier ver landinwaarts, en van diepwaterbodem tot en met oever, is er een grote variatie aan biotopen en bijbehorende soorten. Deze enorme variatie verklaart de grote diversiteit aan soorten: er zijn zoetwater- en zoutwaterorganismen in het water, op de bodem en langs de oever/kust. Daarnaast is er nog een specifieke overgangszone. Vaak wordt er de nadruk op gelegd dat deze nogal soortenarm is aan typische brakwatersoorten. Dat is ook zo, omdat de omstandigheden hier het meest ongunstig zijn, met de grootste mate van dynamiek en fluctuaties. Toch zijn er zelfs in deze brakke overgangszone nog veel soorten die hier kunnen leven, of juist specifiek aan dit gebied zijn aangepast. In paragraaf 4.5 wordt hier nader op ingegaan. Geleidelijke overgangen vergroten het aantal microhabitats van een estuarium. Daarbij zijn vooral kwelders, evenals harde substraten van grote waarde voor de biodiversiteit van het estuariene milieu (Jansen, 2000).

2. Primaire productie

Over het algemeen wordt aangenomen dat estuaria hoog productief zijn, met een primaire productie van fytoplankton tussen de 7 en 875 g C/m^2 per jaar en voor microfytobenthos tussen de 29 en 234 g C/ m^2 per jaar (zie bijlage 6). Volgens Kennish (2000) zijn estuaria en de kustzones verantwoordelijk voor ongeveer 50% van de wereld visoogst, terwijl ze slechts circa 8% beslaan van het totaal oppervlak aan mariene wateren. Deze hoge productiviteit heeft diverse oorzaken (Day et al., 1989; Kennish, 2000):

- een overvloed aan nutriënten
- het voorkomen van verschillende typen primaire producenten (fytoplankton, benthische micro- en macroalgen en moeras- en zeegrasvegetatie), waardoor het beschikbare licht en de ruimte maximaal benut worden
- vastleggen, vrijmaken en efficiënte recycling van nutriënten tussen benthische, wetland en pelagische habitats (koppeling van subsystemen)
- de aan- en afvoer van water onder invloed van het getij (getijde-energie en circulatie)
- snelle turn-over van nutriënten door hoge activiteit van micro-organismen en filterfeeders.

Het individuele belang van bovenstaande factoren is echter niet altijd duidelijk. Vaak wordt slechts één (of een deel van één) van bovenstaande aspecten belicht en de berekeningen zijn omkleed met een grote mate van onzekerheid. De belangrijkste sturende componenten voor de primaire productie zijn de beschikbaarheid van nutriënten en licht. Kennis over de mate waarin de verschillende processen (biologisch en fysisch) de beschikbaarheid van nutriënten sturen, is op wereldschaal nog maar beperkt beschikbaar (Nedwell et al., 1999). Underwood & Kromkamp (1999) noemen de hoge mate van ruimtelijke en temporele diversiteit van fytoplankton en microfytobenthos, evenals het grote aanbod aan analyse-methoden, als belangrijke oorzaken voor de onzekerheden rond de productieberekeningen. Deze bieden vaak niet direct vergelijkbare uitkomsten, zoals "gross photosynthesis", "net photosynthesis" en "net community production". In andere gevallen wordt de hoge productiviteit alleen toegeschreven aan de hoge productie van hogere planten;

soms betekent het slechts dat er meer organische stof wordt geproduceerd dan gebruikt wordt binnen een estuarium, of dat er een relatief hoge visproduktie is. Zelden wordt er een totaalbeeld geschetst, of worden afwijkende definities en gebiedsindelingen gebruikt (Underwood & Kromkamp, 1999). Veel individuele estuaria (zoals Eems-Dollard en Westerschelde) zijn echter wel onderzocht en beschreven en zijn er ook algemeenheden uit dit primaire productie-onderzoek af te leiden. Zo vonden Heip et al. (1995) dat niet stikstof maar organische stof uiteindelijk de primaire productie bepaalt en dat de lokale biomassa van macrobenthische suspensionfeeders sterk afhankelijk is van de hydrodynamische omstandigheden.

3. Kraamkamer- en kinderkamerfunctie voor vissen
De kraamkamerfunctie van estuaria betreft het belang van estuaria voor de afzet van eieren. Het wordt algemeen aangenomen dat deze functie van estuaria belangrijk is, maar veel kwantitatieve gegevens zijn nog niet bekend (Paalvast et al., 1998).
Over de kinderkamerfunctie (= het belang van estuaria voor het opgroeien van larven) is veel meer bekend. De kinderkamer (in het estuarium) voorziet in voedsel, in geschikte abiotische omstandigheden en in rust: er zijn relatief weinig predatoren of er zijn mogelijkheden om er aan te ontkomen. De troebelheid van (delen van) estuaria maakt jonge vissen moeilijk zichtbaar. Daarnaast komen er in het ondiepe water minder grote predatoren voor en wordt de efficientie van de predatoren sterk verminderd door de complexe structuur van een estuarium. Kinderkamers verzekeren het voortbestaan van vispopulaties, maar kunnen door hun begrensde oppervlak ook een beperking zijn. De geografische scheiding tussen paaigebieden en kinderkamergebied vereist een goed transportmechanisme. De toevoer van larven blijkt afhankelijk te zijn van vele factoren, zoals de omvang van de paaipopulatie, de vruchtbaarheid van de vrouwelijke dieren, de ligging van de paaigronden, de stromingspatronen, meteorologische condities en de sterfte van eieren en larven. Dit is allemaal soortspecifiek. Daarnaast spelen er veel antropogene invloeden mee, zoals scheepvaart, baggeren, vervuiling en visvangst. In Nederland zijn veel kinderkamergebieden verloren gegaan, maar herstel lijkt mogelijk (Jager, 1999).

4. Filterwerking estuarium en zuiverend vermogen oevervegetatie
De eutrofiering van de Nederlandse wateren is nog steeds een groot probleem. De fosfaatbelasting van het water is weliswaar met 50 % gedaald, maar is nog 1,5 keer hoger dan de achtergrondwaarde. De stikstofbelasting is in de afgelopen 10 jaar maar met 15 % gedaald en ligt nog 3 keer boven de natuurlijke achtergrondwaarde. De verhouding N/P is daardoor in de kustwateren sterk gestegen, hetgeen een vergroot risico is op toxische algen. Estuaria hebben van nature een groot zuiverend vermogen, omdat ze stoffen kunnen vastleggen (door sedimentatie en opname in organismen) en omzetten en verwijderen. Zo kan stikstof via ammonium tot nitriet en nitraat worden omgezet en vervolgens als stikstofgas of lachgas aan de atmosfeer worden afgegeven. Van belang daarbij is de verblijftijd van het water: hoe langer het zoete water blijft, hoe beter de filterwerking. Onderzoek heeft uitgewezen dat herstel van de natuurlijke dynamiek en van geleidelijke zoet-zout overgangen (met toename van intergetijdengebieden en moerassen) een goede bijdrage kan leveren aan de natuurlijke zuivering van nutrienten, omdat het leidt tot een langere verblijftijd van het water. Maatregelen moeten zich dan ook richten op het hele stroomgebied van het te herstellen estuarium (Haas & Prins, 2000).

Ook voor andere vervuilende stoffen kan een estuarium een belangrijke filterfunctie vervullen. Zie Klamer et al. (1994) en Zwolsman (1994).

4.5 Zoutgehalte en het voorkomen van soorten

Van de abiotische factoren in een estuarium is de factor **zoutgehalte** (saliniteit) een belangrijke bepalende factor voor het voorkomen van soorten. Bij beschrijvingen van classificaties binnen een estuarium in relatie tot het voorkomen van soorten wordt daarom vaak de saliniteit als meest onderscheidende factor genoemd (zie paragraaf 3.4.1). Deze factor wordt daarom hieronder nog eens nader belicht. Met gegevens uit de literatuur wordt een aantal auteurs besproken, die over bovengenoemde relatie (vaak toegespitst op een bepaalde diergroep of een bepaald gebied) hebben gepubliceerd. Geprobeerd wordt om hun zienswijze in een context te plaatsen en een ontwikkeling te laten zien. Vervolgens wordt geprobeerd antwoord te geven op de onderstaande vragen:

- wat is de relatie tussen het zoutgehalte van het water en het voorkomen van soorten?
- is er een verklaring te geven voor de grenzen van de saliniteitsklassen? (zie ook paragraaf 3.4.1)
- hoe scherp zijn de grenzen tussen de verschillende saliniteitsklassen? (zie ook tabel 3.4)
- bestaan er echte brakwatersoorten?

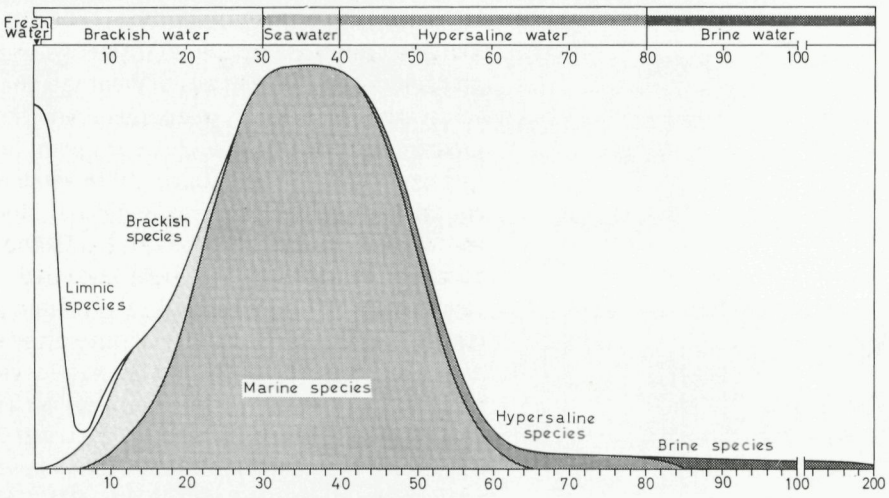
Redeke, 1922

In het begin van de 20e eeuw, voor het uitvoeren van de Deltawerken en het afsluiten van de grote zeearmen, heeft Redeke veel gepubliceerd over de biologie van brakwatergebieden in Nederland. Deze gebieden varieerden van grote open estuaria tot kleine brakwatermeren in het binnenland en hadden ieder hun eigen karakteristieken. Deze grote verscheidenheid dwong tot een indeling. Door het gebrek aan gegevens over stofkringlopen, nutriënten en zuurstof was helaas een indeling in poly-, meso- en oligotroof niet mogelijk. Data over Cl^- gehalte (en temperatuur) waren wel rijkelijk voorhanden en zodoende werd een indeling in oligohalien (0,1-1 g Cl^-/l), mesohalien (1-10 g Cl^-/l) en polyhalien (>10 g Cl^-/l) gemaakt. De ondergrens van brakwater (0,1 g Cl^-/l) komt overeen met de natuurlijke grens van zoetwater, zonder zee-invloed. Ook de twee andere grenzen noemt Redeke natuurlijke grenzen ("hoewel de natuur geen grenzen kent"), omdat ze overeenkomen met de grenzen van levensgemeenschappen.

De **oligohaliene** zone komt in het bovenstroomse deel van estuaria voor en in afgesloten binnenmeren en bestaat vrijwel alleen uit zoetwaterplanten en –dieren. De **mesohaliene** zone is het echte brakwater, aldus Redeke, en komt in het middengebied van estuaria voor, zoals het zuidelijke deel van de voormalige Zuiderzee (tot ongeveer de lijn Enkhuizen-Stavoren). Hier kwamen autochtone brakwatersoorten voor (fytoplanktonsoorten, borstelwormen, brakwatergarnaal, slakjes), die in het oligo- en polyhalien niet voorkwamen of daar net aan de grens zaten en in het mesohalien hun optimum hadden. Het mesohalien wordt gekenmerkt door een gering soortenaantal, waarbij sommige soorten wel veel individuen hebben. Echte brakwatervissen bestaan niet; hooguit kan de Spiering genoemd worden, omdat die een voorkeur voor het mesohalien heeft. De **polyhaliene** zone komt in het benedenstroomse deel van estuaria voor en in het noordelijke deel van de (voormalige) Zuiderzee. Hier kwam Zeegras voor en verder vooral mariene soorten.

Redeke vindt het opvallend, dat van vele geslachten waarvan typische zoetwater- of zoutwatersoorten bestaan, er geen brakwatersoorten zijn. Deze geslachten ontbreken in het mesohalinicum (Redeke, 1922).

Remane, 1934
Remane heeft veel gegevens onderzocht uit de Oostzee, de grootste brakwaterzee die in open verbinding (hoewel smal) staat met de oceaan en een natuurlijke zoutgradiënt vertoont van 30 ‰ (westkant) naar <2 ‰ (oostkant). Hij heeft veel gepubliceerd over het voorkomen van (vooral dier)soorten in brakwatergebieden. Abiotische factoren zoals temperatuur en vochtigheid laten meestal langs een gradiënt een optimumcurve zien, waarbij bij de uiterste waarden de laagste soortenaantallen zijn te vinden. Bij de factor saliniteit is dat precies andersom: bij de extremen, zoet en zout water, komen de hoogste soortenaantallen voor, terwijl het brakke middengebied het laagste aantal soorten heeft (zie figuur 3.7). Kinne (1971) heeft deze gegevens vergeleken met eigen gegevens en bewerkt tot de beroemde optima-curve (zie figuur 4.14). Wanneer echter het aantal individuen zou worden uitgezet tegen het zoutgehalte, in plaats van het aantal soorten, zou de kromme er heel anders uitzien en waarschijnlijk een optimum in het brakwatergebied vertonen!



Figuur 4.14
Kwantitatieve relatie tussen het aantal ongewervelde diersoorten en het zoutgehalte van het water, gebaseerd op grove schattingen. Bewerkt naar gegevens van Remane (1934) en Kinne. Bron: Kinne (1971).

Andere hypothesen die een verklaring voor de soortenarmoede willen geven (zoals een tekort aan voedingsstoffen) kunnen weerlegd worden, waardoor saliniteit als enige factor overeind blijft. Een verklaring kan Remane hiervoor niet geven. Een tekort aan voedingsstoffen is uitgesloten omdat brakwatergebieden juist zeer productief kunnen zijn (hoge planktonproductie). De soortenarmoede zegt ook niets over het aantal individuen: dit kan soms juist zeer hoog zijn.
Het soortenminimum blijkt tussen 5 en 8 ‰ S te liggen (zie figuur 3.7 en 4.14) dus dichter bij zoet dan bij zout water en niet, zoals wellicht te verwachten was, rond de 17,5 ‰ S (het midden tussen zoet en zeewater). Remane beschouwt de zone van het soortenminimum als de natuurlijke grens tussen de mariene en de zoetwaterfauna en concludeert dat zoutwaterorganismen beter tegen verzoeting kunnen dan zoetwaterdieren tegen verzilting. En dat is vreemd, omdat er 1) veel soortenaanvoer vanuit het zoete water is, 2) zoetwaterorganismen zich fysiologisch makkelijker zouden moeten kunnen aanpassen aan brakwater dan zoutwatersoorten, en 3) veel zoetwatersoorten vanuit de zee ontstaan zijn. Wanneer de brakwatersoorten verdeeld worden

naar afstamming van zout of zoet water, ontstaat voor de Oostzee een verhouding van 32:21, dus een groter marien aandeel.

Echte brakwatersoorten zijn volgens Remane alleen die soorten, die alleen in brakwater voorkomen of hun optimum in brakwater hebben (overal op de wereld). Uitgesloten zijn dus alle zoet- en zoutwaterorganismen die kunnen leven in brak water, alle euryhaliene soorten die talrijk voorkomen omdat ze van de voedselrijkdom profiteren en de soorten die zich in andere klimaatgebieden anders gedragen. Twijfelachtig (maar vaak wel gerekend tot de groep echte brakwaterorganismen) zijn de soorten die in brakke poelen langs de kust voorkomen. Dit zijn echter voornamelijk soorten die tegen zeer sterke wisselingen in zoutgehalte kunnen. In de Oostzee kunnen, volgens bovengenoemde definitie van Remane, een groot aantal echte brakwatersoorten worden onderscheiden. Remane noemt tenminste 2 soorten holtedieren, minstens 4 soorten platwormen, minstens 18 soorten raderdieren, enkele soorten draadwormen (nematoda), 1 soort snoerwormen (nemertini), tenminste 4 soorten *Polychaeta* en *Oligochaeta* (borstelwormen), vele kreeftachtigen (minstens 15 soorten *Copepoda*, 8 soorten mosselkreeftjes, 5 soorten pissebedden, 4 soorten *Amphipoda*) en enkele soorten slakken, kevers en insektenlarven. Daarnaast zijn er enkele honderden soorten die tot de microfauna gerekend moeten worden.
Remane onderscheidt in het Oostzeegebied 5 verschillende saliniteitszones. De grenzen daartussen zijn alleen waarneembaar door de toe- of afname van zoutwater-, brakwater- of zoetwatersoorten (zie paragraaf 3.4.1). Langs de gradiënt van zout naar zoet water neemt het aantal soorten gelijkmatig af tot ongeveer 10 ‰ S (zie figuur 3.7), te verklaren uit de afname van het zoutgehalte. Alleen soorten die mechanismen voor osmo-regulatie hebben, of verdunning van hun lichaamszouten kunnen verdragen, kunnen leven in het zoetere milieu. Vanuit het zoete water neemt het soortenaantal al bij 3-5 ‰ zeer sterk af, hetgeen moeilijk te verklaren is. Ademhaling zou juist steeds makkelijker moeten gaan. Door deze afname vanuit het zoete en het zoute milieu treedt er een dieptepunt in soortenaantallen op bij een saliniteit tussen 5 en 10 ‰ S. Deze zou er niet zijn wanneer er geen abrupte afname van zoetwatersoorten was bij een saliniteit van 3-5 ‰ S. Opvallend is, dat vlak voor hun grens, het aantal individuen van vele soorten plotseling toeneemt. Dit geldt zowel bij mariene soorten (rond de 10‰) als voor zoetwatersoorten (rond de 5‰). Dit fenomeen, evenals het soortenverloop en de ligging van het soortendieptepunt, komt niet alleen bij diersoorten, maar ook bij plantensoorten voor! Een verklaring zou kunnen liggen in het gebrek aan predatie, concurrentie en ziekten (parasieten).

Het zoutgehalte is niet de enige milieufactor die bepalend is voor het voorkomen van soorten. Uit biologisch oogpunt ligt de grens van het brakwatergebied bij de plaats tot waar brakwaterlevensgemeenschappen voorkomen en deze grens zal niet altijd overeenkomen met een saliniteitsgrens. Remane onderscheidt in de Oostzee diverse brakwaterbiotopen met eigen brakwaterlevensgemeenschappen, zoals het brakke kustgrondwater (de zone tussen het zoute zeewater en het zoete grondwater), de groenwierenzone (rond de hoogwatervloedlijn) met een soortenarme fauna, en brakke poelen langs de kust. Hoewel de zoutgehaltes overal schommelen maar gemiddeld vergelijkbaar zijn, zijn de levensgemeenschappen zeer verschillend, evenals de onderlinge verhoudingen tussen de zoutwater-, brakwater- en zoetwatersoorten.

Wanneer de brakwaterfauna van de Oostzee wordt vergeleken met de fauna van andere brakwatergebieden op aarde, blijken er (volgens Remane) zeker overeenkomsten te zijn. Dat betekent dat brakwatersoorten een groot verspreidingsvermogen hebben, onder andere door transport over land met behulp van wind en vogels. Fysiologische experimenten en veldwaarnemingen hebben uitgewezen, dat er duidelijke verschillen zijn tussen zoetwater-, brakwater- en zoutwatersoorten, maar dat verklaringen daarvoor niet gemakkelijk te vinden zijn. Duidelijk is wel dat bij afnemende zoutgehaltes ook de gemiddelde grootte (lengte) van bepaalde diersoorten afneemt. Dit is aangetoond voor weekdieren (schelpen, slakken), stekelhuidigen, neteldieren (kwallen) en voor de meeste vissen. Deze relatie geldt niet voor de meeste kreeftachtigen, wormen en microfauna (inclusief foraminiferen). Als verklaring is gedacht aan de eveneens afnemende kalkgehaltes van zout naar zoeter water, maar de relatie tussen grootte- en kalkreductie blijkt niet altijd op te gaan. Een hoofdoorzaak lijkt moeilijk te geven te zijn.
Andere fysiologische experimenten hebben uitgewezen, dat zoutwater- en brakwatersoorten een sterke voorkeur hebben voor veel zuurstofrijkere plaatsen, wanneer ze in zoet water komen, dan ze gewend zijn in hun eigen zout- of brakwaterbiotoop. Deze zoetwatersituatie maakt osmo-regulatie nodig en zoetwatersoorten hebben dan ook over het algemeen grotere ademhalingsorganen en een groter zuurstofverbruik.
Wanneer mariene dieren in brakwater komen, blijken ze een voorkeur voor de diepere (zoutere) delen te hebben, ook al moeten ze daarvoor vaak een zandbodembiotoop verwisselen voor een modderbodem in het brakwatergebied (Remane, 1934).

Remane & Schlieper, 1958
In 1958 publiceren Remane & Schlieper over de ecologie en fysiologie van het brakke water, waarbij het - op grond van zijn kenmerken - als eigen gebied wordt beschreven en niet meer wordt beschouwd als overgangsgebied tussen zoet en zout water. Wel is er ook aandacht voor de estuaria, als overgangsgebied met sterk wisselende zout- (en andere) gehaltes en daardoor een eigen problematiek.

Den Hartog, 1959
Den Hartog promoveert in 1959 op de algengemeenschappen van de Nederlandse kust. Hij gebruikt een indeling in saliniteitsklassen, gebaseerd op een indeling van Remane, omdat die indeling uitgaat van veranderingen in soortensamenstelling van fauna en daardoor de meest natuurlijke indeling is. Deze blijkt ook zeer bruikbaar voor de flora te zijn, in tegenstelling tot de veelgebruikte indeling van Redeke, die gebaseerd is op meer arbitraire grenzen. Den Hartog geeft echter aan, dat de belangrijkheid van de grenzen niet overschat moet worden, omdat het in feite geleidelijke overgangen zijn tussen de opeenvolgende zones. De grenzen liggen niet altijd op dezelfde plaatsen, maar verschuiven onder invloed van het getij.
De volgende zones met bijbehorende soorten kunnen worden onderscheiden:
- euhaline zone: mariene algensoorten
- polyhaliene zone: mariene en zouttolerante brakwatersoorten; geen eigen soorten
- mesohaliene zone: brakwater algensoorten
- oligohaliene zone: brak- en zoetwatersoorten met zouttolerantie; geen eigen soorten
- zoetwater zone: zoetwater algensoorten

Zoutgehalte is, ook voor algen, één van de voornaamste factoren die de verspreiding van soorten bepalen. In de brakwatergebieden neemt het aantal *Enteromorpha* soorten (groenwieren) enorm toe en het aantal roodwieren sterk af.

Remane, 1969
In 1969 bevestigt Remane de bijzonderheid van brakwatersoorten met onder andere de volgende uitspraken:
- brakwatersoorten zijn niet over alle dier- en plantengroepen gelijkmatig verdeeld;
- het blijft moeilijk (zo niet onmogelijk) om soorten als brakwatersoorten te definiëren binnen een vaststaand saliniteitsbereik; het zoutgehalte is geen soortgebonden grootheid en er zijn veel regionale variaties;
- saliniteit is niet de enige bepalende factor voor het voorkomen van soorten
- een soort is geen eenheid, maar bestaat uit meerdere, ecologisch of fysiologisch verschillend reagerende populaties;
- de grenzen van een soort worden niet bepaald door haar productiviteit, maar door de tegendruk van andere soorten, dus door concurrentie of competitie; dit geldt zeker voor veel zoetwatersoorten die in het brakke gebied voorkomen en teveel concurrentie in het zoetwatergebied ondervinden;
- een echte brakwatersoort vindt zijn optimale levensvoorwaarden op het gebied van voedingsstoffen, temperatuur en zoutgehalte in het brakwatergebied.

Kinne, 1971
Kinne heeft uitgebreid gepubliceerd over de relatie zoutgehalte en het voorkomen van planten- en diersoorten, hun ecologie en hun fysiologie (zie figuur 4.19). In onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van het voorkomen van plantengroepen in zeewater, brak water en zoet water (tabel 4.4).

Tabel 4.4
Voorkomen van plantengroepen in zeewater, brak water en zoet water. Bron: Kinne, 1971.

Occurrence of plant phyla in sea water, brackish water and fresh water (Original)

Plant phyla	Sea water	Brackish water	Fresh
Cyanophyta (blue-green algae)	++	+	+++
Chrysophyta (mainly diatoms)	+++	+	+++
Phaeophyta (brown algae)	+++	+	(+)
Euglenophyta	+	+	+++
Pyrrhophyta (dinoflagellates)	+++	+	+
Rhodophyta (red algae)	+++	++	+
Chlorophyta	+++	++	+++
Vascular plants	+	+	+++

+++ : large, ++ : intermediate, + : small number op species

Kinne (1971) verklaart de geringe soortendiversiteit van het brakke water uit het kortstondige bestaan van brakwatergebieden. Waterorganismen hebben miljoenen jaren de tijd gehad om zich aan zee- of zoet water aan te passen, terwijl brakwatergebieden in de geologische tijdschaal komen en gaan. Ze worden wel snel bevolkt door euryhaliene soorten die vanuit zee komen, maar er is vaak onvoldoende tijd om hieruit nieuwe soorten te kunnen laten ontstaan.

In de Oostzee bijvoorbeeld (een relatief jong gebied) komen 457 algensoorten voor, waarvan 2 endemische soorten en 42 brakwatersoorten.

Wolff, 1973
Wolff beschrijft in zijn proefschrift het voorkomen van benthos in het Deltagebied langs een zoutgradiënt van de Noordzee naar het zoete rivierwater en onderscheidt daarbij 9 groepen van soorten die in het estuarium voorkomen. Minstens 34 soorten macrofauna behoren tot het brakwatergebied (Wolff, 1973).
Uitgaande van de meest voor de hand liggende classificatie van het Deltagebied, namelijk die van Den Hartog uit 1971, concludeert Wolff dat het onmogelijk is om een biologische indeling van het estuarium te maken op grond van de saliniteit: er is een continu verloop van soorten, zonder duidelijke discontinuïteiten rond de grenzen van de saliniteitsklassen. Evenmin zijn er relaties te vinden tussen het voorkomen van een speciale soortengroep en een saliniteitsklasse: alle soorten reageren op hun eigen manier en hebben hun eigen verspreidingspatroon. In een ideaal estuarium, met een heel regelmatig verlopende zoutgradiënt, zou ongetwijfeld wel een vast patroon van toe- of afname zijn waar te nemen.

De soorten van de brakke delen van het Deltagebied blijken ook in de brakke gebieden langs vrijwel alle andere Atlantische kusten van Noordwest Europa voor te komen, zodat sprake lijkt van een europese brakwaterfauna. Deze verschilt wel veel van de brakwaterfauna van andere continenten, zoals Zuid-Afrika, Zuidoost Azië, Nieuw Zeeland, Noord Siberië en de oost- en westkust van Noord Amerika, zodat er geen sprake is van een kosmopolitische brakwaterfauna. Wolff heeft geprobeerd om de (relatieve) soortenarmoede van de brakke delen van het Noordwesteuropese kustgebied te verklaren en concludeert dat de instabiliteit van milieufactoren (zout, temperatuur) gedeeltelijk een rol speelt in het Deltagebied, maar bijvoorbeeld niet in de Oostzee, omdat daar een relatief stabiele zoutgradiënt aanwezig is, en er dus nog een verklaring moet zijn. Deze kan gevonden worden in het korte geologische bestaan van het Noordwest-europees kustgebied, dat pas sinds de ijstijden bestaat en sindsdien door een steeds stijgende zeespiegel verandert. Soorten krijgen daarom niet de tijd om zich aan te passen aan de steeds veranderende omstandigheden. De tropische brakwaterfauna van Zuidoost Azië bijvoorbeeld is wel zeer soortenrijk en bewijst dat soortenrijkdom ook in brakke wateren mogelijk is. Naast het feit, dat tropische wateren misschien gunstiger omstandigheden hebben dan gematigder gebieden, blijkt een belangrijke verklaring voor de aziatische soortenrijkdom toch te liggen in het feit, dat Zuidoost Azië een zeer lange geologische historie heeft, die een stabiele omgeving heeft opgeleverd met constante en uniforme milieucondities, gedurende een zeer lange tijd (Wolff, 1973).

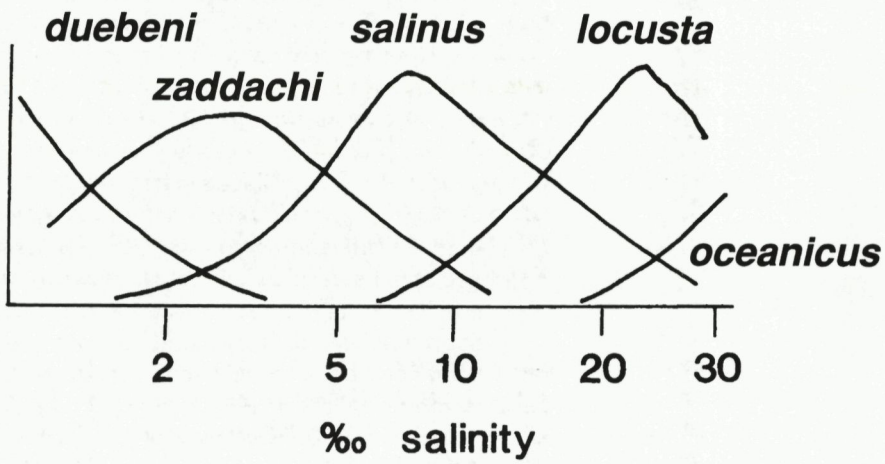
De Jonge, 1974
Heerebout (1970) en De Jonge (1974) hebben binnendijkse brakke gebieden uit het Deltagebied geclassificeerd op basis van een relatie tussen saliniteit en het voorkomen van soorten. De Jonge (1974) vond een duidelijke statistische correlatie tussen de afname van saliniteitsfluctuaties en de toename van het aantal mariene soorten.

Wolff, 1983
Wolff betwijfelt het bestaan van biologische classificaties voor estuariene bodemdieren op grond van eigen onderzoek en dat van Boesch (1977): alle

onderzochte soorten reageerden soortspecifiek op veranderingen in saliniteit en niet als soortengroep. Grenzen langs een saliniteitsgradiënt vallen echter wel eens samen met hydrografische veranderingen. Een indeling in boven, midden en onderbereik van een estuarium is dan ook te verkiezen boven een indeling op grond van saliniteit of soorten.

McLusky, 1993
McLusky heeft ook het voorkomen van soorten langs een saliniteitsgradiënt onderzocht en vond grote verschillen tussen soorten in ruimte en tijd. Saliniteit en deeltjesgrootte van het sediment bleven echter gelijk, in tegenstelling tot het organische stofgehalte van het sediment (door verbetering van de waterkwaliteit), waardoor het organische stofgehalte de bepalende factor moet zijn geweest (McLusky, 1993a).

Barnes, 1994
Barnes bevestigt dat de Noordwesteuropese estuaria zich hebben ontwikkeld vanaf de ijstijden (zo'n 20.000 jaar geleden) door zeespiegelstijging en dat zich vanaf die tijd een eigen brakwaterfauna heeft ontwikkeld, waarbij nauw verwante soorten hun eigen plaats hebben gekozen langs een saliniteitsgradiënt. Op plaatsen met dezelfde saliniteit is een spreiding van soorten in de ruimte ontstaan, op grond van diepte en microhabitat kenmerken (zie figuur 4.15).



Figuur 4.15
De verspreiding van Gammarus soorten langs de saliniteitsgradiënt van de Limfjord in Denemarken. Bron: Barnes, 1994.

Wolff, 1999
In 1999 heeft Wolff onderzocht, waarom de brakke delen van estuaria relatief zoveel exotische soorten bevatten, terwijl het aantal inheemse soorten relatief gering is. Mogelijke verklaringen voor dit fenomeen zouden kunnen zijn: 1) veel soorten worden getransporteerd via havens, die meestal in het brakke gedeelte van een estuarium liggen; 2) brakwatersoorten zijn toleranter dan andere soorten en kunnen daardoor makkelijker vervoerd worden in bijvoorbeeld ballastwater; en 3) brakke wateren hebben nog lege niches en kunnen daardoor beter bezet worden dan soortenrijke gebieden.

Op grond van bovenstaande informatie uit de literatuur kunnen de volgende conclusies worden getrokken ten aanzien van de gestelde vragen (zie begin van deze paragraaf):

1. Wat is de relatie tussen het zoutgehalte van het water en het voorkomen van soorten?

Er is een zekere relatie tussen het voorkomen van groepen van soorten en water met een bepaald saliniteitsgehalte. Veel auteurs onderscheiden 3 saliniteitsklassen (oligohalien, mesohalien en polyhalien), op grond van kenmerkende levensgemeenschappen (Redeke, Remane, Den Hartog, McLusky). Anderen daarentegen bewezen dat het onmogelijk is om een biologische indeling van soorten te maken, omdat er een continu verloop van soorten is, soortspecifiek en zonder duidelijke discontinuiteiten rond de grenzen van de saliniteitsklassen (Wolff, Boesch).
Alle auteurs vinden een minimum aan soorten bij een saliniteit van 5-8 ‰, waarbij een plotselinge toename voorkomt van aantallen individuen rond deze saliniteitsklasse. Het aantal soorten neemt toe bij zowel oplopende als afnemende saliniteitsgehalten, met een optimum aan soorten in het volledig zoete water en in het gemiddelde zeewater (30-40 ‰S) (Remane, Kinne).
Minstens zo belangrijk als het saliniteitsgehalte zijn de fluctuaties in saliniteit: er is een duidelijke relatie tussen de afname van fluctuaties en de toename van het aantal (mariene) soorten (De Jonge). Daarnaast komen er in brakke wateren relatief veel exoten voor (Wolff).
Alle auteurs constateren dat saliniteit zeker niet de enige (maar wel een belangrijke) bepalende factor is voor het voorkomen van soorten (Redeke, Remane, Den Hartog, Wolff, Boesch, Bulger, McLusky, Barnes).

2. Is er een verklaring te vinden voor de ligging van de grenzen van de saliniteitsklassen?

Volgens Redeke zijn alle grenzen natuurlijke grenzen, op basis van de samenstelling van levensgemeenschappen; de 0,18 ‰ S grens is de natuurlijke zoetwatergrens (Redeke). Volgens Remane is 3 ‰ S de zoetwater(dieren)grens. De zone met het soortenminimum (5-8 ‰ S) is de natuurlijke grens tussen de mariene en de zoetwaterfauna, omdat deze saliniteitsklasse een fysiologische barriere lijkt, tot waar osmo-regulatie en andere aanpassingen mogelijk blijken (Remane, Kinne).

3. Hoe scherp zijn de grenzen tussen de verschillende saliniteitsklassen?

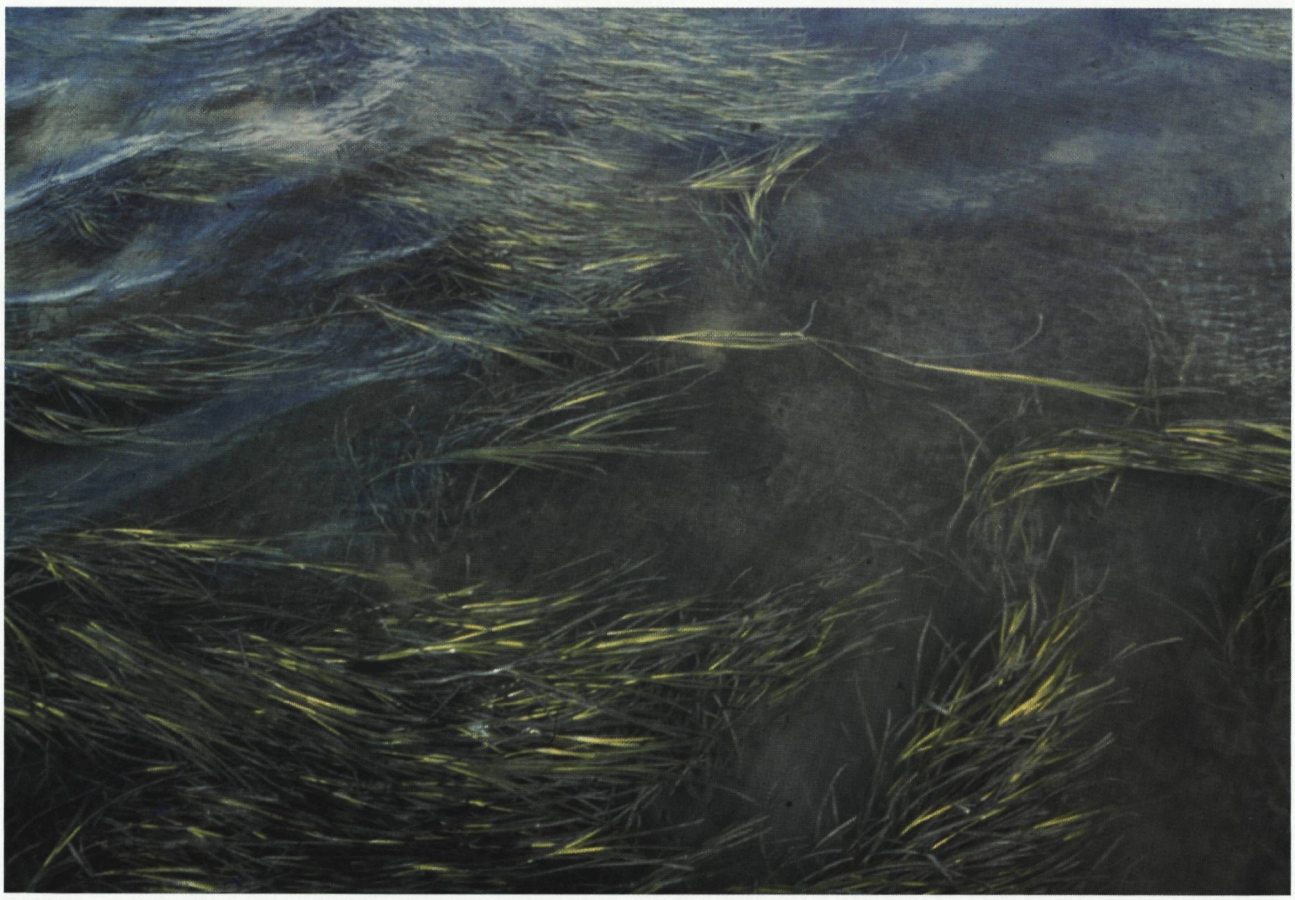
Alle indelingen hebben aansluitende klassen, maar de auteurs geven aan dat in de praktijk de grenzen niet scherp zijn (Remane, Den Hartog, Boesch, Wolff). Bulger heeft zelfs aangetoond dat in relatie met het voorkomen van soorten er statistisch slechts sprake is van overlappende zones. Wolff gaat nog een stap verder en wil geen indeling in klassen maken, omdat er een continu verloop van soorten is, die zeer soortspecifiek is.

4. Bestaan er echte brakwatersoorten?

Ja, er bestaan echte brakwatersoorten, zelfs binnen de strenge definitie van Remane (zie hierboven). De brakwaterfauna, zoals hierboven beschreven door een beperkt aantal auteurs, bestaat uit micro-, meso- en macrofauna, waaronder een groot aantal wormen, kreeftachtigen en enkele holtedieren (Redeke, Remane, Wolff). De specifieke brakwaterflora bestaat uit een aantal fytoplankton- en macroalgensoorten (Redeke, Den Hartog). Daarnaast zijn er nog veel meer typische brakwatersoorten (waaronder hogere planten en vogels) bekend, waarvan een aantal in paragraaf 4.2 bij de bespreking van de diverse soortengroepen wordt genoemd.

Het is echter moeilijk (zo niet onmogelijk) om deze soorten binnen een vast saliniteitsbereik te plaatsen (alle auteurs).

TENSLOTTE:
Veel van bovenstaande auteurs (en vooral de veel aangehaalde, zoals Redeke en Remane) gaan bij een **brakwatergebied** uit van een aparte brakke zone, al dan niet in een estuarium, met een gemiddeld mesohalien zoutgehalte. Daarop zijn hun beschouwingen gebaseerd, evenals bovenstaande conclusies. In de situatie van een **estuarium** is de brakke zone een dynamisch onderdeel van het estuarium: niet weg te denken, maar ook niet vast te leggen in tijd of ruimte door zoutgehalte, soortensamenstelling of welke parameter dan ook. Het is het essentiÎle, onmisbare ìmiddenîdeel, dat de overgang tussen het zoete kalmere milieu en het zoute dynamische zeemilieu vormt, waardoor de waterbeweging, de sedimentatie en de soortenuitwisseling ÈÈn geheel is, met vloeiende overgangen. Door het herstellen van dit nu vaak ontbrekende middengebied wordt de totale diversiteit verhoogd.



Zeegras kwam vroeger veel voor en vormt een specifieke leefgemeenschap voor allerlei soorten.
Foto: RIKZ-Haren

5 Van beleid naar herstel

Samenvatting
Bij het herstel van estuariene overgangen moet rekening worden gehouden met de internationale verdragen die Nederland getekend heeft (Wetlandconventie, Vogelrichtlijn, Habitatrichtlijn, Biodiversiteitsverdrag en Kaderrichtlijn Water) voor de bescherming van biotopen en soorten. De aanleiding komt uit het nationale beleid, zoals dat is vastgelegd in diverse nota's en visies op het gebied van het Waterbeleid, Natuurbeleid en het beleid ten aanzien van de Ruimtelijke Ordening. Sleutelbegrippen in het waterbeleid zijn Gezondheid en Veerkracht en in het natuurbeleid Leefbaarheid, Diversiteit en Bruikbaarheid. In theorie levert dit veel mogelijkheden op voor herstel van estuariene overgangen. Deze begrippen worden echter momenteel per project en regio verschillend geoperationaliseerd en toegepast, wat de afstemming en samenwerking niet bevordert. Ook wat beoordelingscriteria betreft is nadere afstemming en samenwerking gewenst. Naast de AMOEBE-benadering in het waterbeleid en de Natuurdoeltypen-benadering in het natuurbeleid worden in diverse projecten eigen beoordelingscriteria ontwikkeld. Deze zijn globaal in te delen in proces-, patroon- (ecotoop) en soortgebonden criteria. Na de vele kleine projecten worden nu meer grote(re) projecten opgestart, zoals De Kier (open Haringvlietsluizen), Brakke zone Afsluitdijk, Lauwersmeer en het Rammegors (Zeeland). Aanbevolen wordt om een overlegplatform "herstel estuariene overgangen" op te richten waaraan alle betrokken Nederlandse instanties kunnen deelnemen; kennis op te doen over buitenlandse herstelprojecten; om één landelijke beoordelingsmethodiek te ontwikkelen voor het herstel van estuariene overgangen en om voor de Nederlandse situatie een beslisboom te ontwikkelen voor de keuze van geschikte locaties voor ecologische herstelmaatregelen, met een uitwerking op stroomgebiedniveau.
De slaagkans van herstelprojecten, de afstemming met betrokkenen en het aangeven van de verwachtingen zou aanzienlijk kunnen worden vergroot door voorafgaande aan de uitvoering een aantal essentiële vragen te beantwoorden over de aard en de omvang van verstoringen en over het gewenste ecologische herstel, middels een zogenaamde "ecologische checklist". Vanwege de grote ruimtelijke en temporele variatie als gevolg van natuurlijke factoren (licht, temperatuur, nutriënten en biologische factoren zoals genetische variatie) dienen referentiewaarden bij voorkeur in bandbreedtes/klassen beschreven te worden in plaats van in één waarde, waarbij gebruik gemaakt kan worden van de uitgebreide lijst van parameters, die is weergegeven in tabel 5.9.

Doel
Overzicht geven van het huidige internationale en nationale beleid omtrent het behoud en herstel van estuariene overgangen.

Overzicht geven van de instrumenten voor toetsing en beoordeling van herstelmaatregelen.

Inzicht verkrijgen in recente projecten en studies omtrent herstel van estuariene gradiënten.

Overzicht geven van de factoren in ruimte en tijd die van belang zijn bij het opstellen, uitvoeren en beoordelen van maatregelen voor het herstel van estuariene overgangen.

Conclusies en aanbevelingen
Bij herstelplannen in Nederland moet rekening worden gehouden met een aantal internationale verdragen ter bescherming van gebieden en (vogel)soorten, waartoe Nederland zich verplicht heeft. Het nationale beleid ten aanzien van natuur, water en ruimtelijke ordening biedt veel mogelijkheden, maar afstemming en samenwerking zijn gewenst.

Naast de AMOEBE-benadering in het waterbeleid en de Natuurdoeltypen in het natuurbeleid worden in diverse projecten eigen beoordelingscriteria ontwikkeld. Aanbevolen wordt om één landelijke beoordelingsmethodiek te ontwikkelen voor het herstel van estuariene overgangen, waarbij rekening wordt gehouden met de juiste ruimte- en tijdaspecten en de doelen zoals verwoord in het beleid.

In de afgelopen jaren zijn vooral kleine herstelprojecten uitgevoerd, zowel binnen- als buitendijks en door veel verschillende instanties en met wisselende doelen en resultaten. Een aantal grotere projecten zijn in voorbereiding. Aanbevolen wordt om een overlegplatform "herstel estuariene gradiënten" op te richten waarin alle betrokken instanties deelnemen en om kontakten te leggen met buitenlandse instituten voor uitwisseling van kennis en ervaringen.

Op grond van de huidige kennis van herstel ecologie kan veel worden geleerd over de kans van slagen van een project, het kiezen van een goede lokatie en de juiste maatregelen. Daarom wordt voorgesteld om voor de Nederlandse situatie een beslisboom te ontwikkelen voor de keuze van geschikte locaties en maatregelen, die kan uitmonden in een kansenkaart op stroomgebiedniveau.

Om een goede beschrijving te kunnen maken van na te streven processen of patronen bij estuariene overgangen moet rekening worden gehouden met de schaal in de ruimte en in de tijd. Modellen kunnen ook in estuaria een rol spelen bij het inzichtelijk maken en beoordelen van veranderingen, ondanks hun beperkingen. Van de tamelijk volledige lijst van parameters lijkt bijvoorbeeld de parameter "estuariumgetal" een waardevolle bij het beschrijven en vergelijken van estuaria en de daarin voorkomende ecotopen.

5.1 Beleidsanalyse

Onderstaand is een kort overzicht gegeven van het huidige formele internationale en nationale beleid omtrent het behoud en het herstel van estuariene overgangen (AquaSense, 2000).

5.1.1 Internationaal beleid

Conventie van Ramsar, 1971 (Wetlandconventie)
Het verdrag van Ramsar is door Nederland in 1980 ondertekend. Het is een overeenkomst waarin landen "wetlands" van internationale betekenis, met name als verblijfplaats voor watervogels, kunnen aanwijzen. Wetlands zijn "*areas of marsh, fen, peatland or water, whether natural or artificial, permanent or temporary, with water that is static or flowing, fresh, brackish or*

salt, including areas of marine water the depth of which at low tide does not exceed six meters" (Ramsar Convention Bureau, 1994). In het verdrag worden aan wetlands fundamentele ecologische functies toebedacht. Nederland heeft zich met de ondertekening verplicht om iedere noodzakelijke stap te nemen die het voortbestaan van het ecologische karakter van deze gebieden verzekert. In de praktijk betekent dat, dat zo'n gebied een extra status heeft, wat voor de bescherming van het gebied een rol kan spelen (Van Tooren, 1999).

Op de lijst van aangewezen wetlands van november 1999 staan 18 Nederlandse gebieden (waaronder de Waddenzee en het IJsselmeer), waarvan 13 gebieden zijn gelegen in een (potentiële) zoet-zoutzone (Ramsar Convention Bureau, 1999). Alle gebieden die zijn aangewezen volgens de Wetlandconventie zijn ook aangewezen volgens de Vogelrichtlijn (locaties zijn hier onder beschreven).

Vogelrichtlijn, 1979
De Vogelrichtlijn is complementair aan de Habitatrichtlijn en richt zich op het behoud van in het wild levende vogelsoorten (Raad van de Europese Gemeenschappen, 1979). In de bijlagen van deze richtlijn is een groot aantal vogelsoorten aangewezen. De lidstaten dienen voor de leefgebieden van deze soorten speciale beschermingsmaatregelen te treffen, opdat deze soorten kunnen voortbestaan. De Vogelrichtlijn is van belang, omdat een groot deel van de aangewezen vogelsoorten primair afhankelijk is van estuariene en brakwatersystemen.

Voorbeelden van aangewezen wetlands in het kader van de Habitat- en Vogelrichtlijn met een (voormalig) estuarien karakter zijn: Waddeneilanden, Noordzeekustzone, Zuidlaardermeergebied, IJsselmeer, Markermeer, randmeren, Grevelingen, Haringvliet, Hollandsch Diep, Voordelta, Westerschelde, Oosterschelde, Veersemeer en het Volkerak-Zoommeer.

Habitatrichtlijn, 1992
De Habitatrichtlijn van de Europese Gemeenschap heeft als doel het behouden, beschermen en verbeteren van natuurlijke habitats en de wilde flora en fauna (Raad van de Europese Gemeenschappen, 1992) om tot een coherent Europees ecologisch netwerk (Natura 2000) te komen. Er zijn verschillende habitats aangewezen die van belang zijn binnen het kader van de huidige studie. De belangrijkste is het habitat "estuaria" (Natura 2000 code: 1130), dat gekenschetst wordt als: "*Downstream part of a river valley, subject to the tide and extending from the limit of brackish waters*" (benedenstroomse deel van een stroomdal, onderworpen aan getijdewerking en zich uitstrekkend over de lengte van het voorkomen van brak water). Daarnaast is nog een aantal habitats aangewezen die zijdelings van toepassing zijn: zandbanken altijd bedekt met water (code 1110), droogvallende platen (code 1140), lagunes (code 1150), grote inhammen en baaien (code 1160) en binnenlandse zoute gebieden (code 1340). Verder zijn verschillende stadia van duinvorming als habitats aangewezen (codes 2110, 2120).

Agenda 21, 1992 (biodiversiteitsverdrag)
Aan Agenda 21 ligt de verklaring van Rio de Janeiro inzake milieu en ontwikkeling ten grondslag. De kern van de inhoud van de Conventie is de ontwikkeling van plannen om de verscheidenheid van levende organismen en hun leefomgeving te beschermen, waarbij het vooral gaat om *in situ* behoud en waarbij *ex situ* behoud een aanvullende rol heeft. Eén en ander is vastgelegd in

het Biodiversiteitsverdrag dat in Nederland in 1994 in werking is getreden. Agenda 21 is het actieprogramma voor de 21ste eeuw, waarin een groot aantal terreinen aan de orde komt. De regering is voornemens haar beleid steeds te toetsen aan Agenda 21 (Ministeries van VROM en Buitenlandse Zaken, 1993). Van de regeringen wordt verwacht dat zij actie ondernemen waar dat noodzakelijk is voor het behoud van biologische diversiteit, door middel van het *in situ* behoud van natuurlijke ecosystemen en natuurlijke habitats: "*In situ* maatregelen dienen versterking in te houden van systemen van beschermde gebieden op het land en in zoutwater en dienen onder andere kwetsbare ecosystemen van zoet water en andere wetlands en kust-ecosystemen te omvatten, zoals estuaria".

Kaderrichtlijn Water, 1997
De Kaderrichtlijn Water heeft als doel een raamwerk te geven voor de regelgeving ter bescherming van het binnenlands oppervlaktewater, overgangswateren (waaronder estuaria worden verstaan), kustwateren en grondwater (Raad van de Europese Gemeenschappen, 1999). Eén van de overwegingen van deze richtlijn is dat een doeltreffend en samenhangend waterbeleid rekening moet houden met de kwetsbaarheid van de aquatische ecosystemen die in de nabijheid van kusten en estuaria alsook in baaien en relatief gesloten zeeën zijn gelegen, aangezien hun evenwicht sterk wordt beïnvloed door de kwaliteit van het water van de stroomgebieden die erin uitmonden. De lidstaten worden verplicht gesteld om de ecologische achteruitgang en vervuiling van oppervlaktewater te verhinderen en vervuilde oppervlaktewateren te herstellen, teneinde uiterlijk op 31 december 2010 voor alle oppervlaktewateren een goede oppervlaktewatertoestand te bereiken. De richtlijn zelf en daarmee de definitie voor goede kwaliteit is nog aan verandering onderhevig. Duidelijk is wel, dat zowel de ecologische als de chemische toestand hierbij betrokken moeten worden en dat een toestand waarvan kan worden aangetoond dat deze niet door menselijke activiteiten significant wordt beïnvloed zeer goed wordt beoordeeld. Een ecologische toestand die significant door menselijke activiteit wordt beïnvloed, maar niettemin rijk, evenwichtig en duurzaam is, wordt als goed ervaren.

De Kaderrichtlijn vraagt om het opstellen van beheersplannen per stroomgebied of deelstroomgebied. Per stroomgebied moeten ook de ecologische doelstellingen worden bepaald en moeten wateren worden ingedeeld bij een van de drie typen: natuurlijke wateren, sterk veranderde wateren en kunstmatige wateren.

Samengevat kan gezegd worden dat het internationale beleid ten aanzien van het herstel van zoet-zout overgangen aandacht vraagt voor:
- bescherming van habitats als wetlands en estuaria
- bescherming van (vogel)soorten
- behoud van biodiversiteit

5.1.2 Nationaal beleid
Nationaal is het beleid ten aanzien van de veranderde waardering van natuurwaarden gestalte gegeven in diverse **Nota's**, zoals het Natuurbeleidsplan (waarin een nationale strategie voor behoud en herstel van natuur wordt ontvouwd), de Derde en Vierde Nota Waterhuishouding (waarmee wordt ingezet op integraal waterbeheer) en het Structuurschema Groene Ruimte (waarin het compensatiebeleid is uitgekristalliseerd). Het Plan Tureluur (Zeeland) is als één van de eerste voorbeelden van herstel van zoet-zout

overgangen ontwikkeld in 1991, ter compensatie van het verlies van slikken en schorren in de Oosterschelde als gevolg van de afdamming. Het gaat hierbij om het creëren van binnendijks gelegen brakke habitats, die de soorten kunnen opvangen waarvan de habitats verloren zijn gegaan als gevolg van de Oosterschelde-werken.

Naast de beleidsnota's zijn er op landelijk niveau zowel integrale als sectorale **visies** geschreven, die van belang zijn voor herstel van zoet-zout overgangen. Voorbeeld van een integrale (voor)visie is "Kust op Koers" (Ministeries van V&W, VROM, LNV en EZ, 1999). In deze interdepartementale studie wordt het herstellen van zoet-zout overgangen voor het eerst expliciet als opgave voor kust en zee te berde gebracht. Door meer samenhang tussen zoete en zoute systemen te creëren wil men veiligheid én biodiversiteit combineren, waardevolle ecosystemen behouden en ontwikkelen en visintrek naar rivieren bevorderen. Een voorbeeld van een sectorale visie is de nota Ecosysteemvisies (ter onderbouwing van de Ecologische Hoofdstructuur). Hier zijn voor onder meer het zeekleigebied, afgesloten zeearmen, getijdengebieden en de duinen natuurdoeltypen beschreven en is het gewenste te realiseren areaal (meestal) aangegeven. In de landelijke begrenzing van de EHS zijn de buitendijkse gebieden niet meegenomen en krijgt de natte, brakke natuur weinig aandacht.

Ook op regionaal niveau zijn er sectorale en integrale visies voorhanden.
- In bijvoorbeeld de (sectorale) Ecosysteemvisie Deltawateren worden aanbevelingen gedaan voor de korte en lange termijn voor herstel en ontwikkeling van natuur in de Delta:
- PKB Waddenzee en de Integrale Visie Deltawateren en de (in ontwikkeling zijnde) visie Blauwe Delta zijn voorbeelden van integrale visies.

Het valt op, dat op regionaal niveau de relatie tussen binnendijkse en buitendijkse gebieden niet of nauwelijks wordt gelegd.

Recentelijk groeit het besef dat ook de versneld stijgende zeespiegel en de veranderende waterafvoer via de grote rivieren (autonome ontwikkeling, zie paragraaf 3.1) aanleiding kunnen geven voor het maken van zoet-zout herstelplannen.

Achtereenvolgens wordt ingegaan op het huidige water-, natuur- en ruimtelijke ordeningsbeleid.

Waterbeleid

Primair houdt het waterbeheer in Nederland zich bezig met veiligheid en waterkwaliteits- en -kwantiteitsbeheer. Voor wat betreft het aspect natuur zijn gezondheid en veerkracht sleutelwoorden in het huidige waterbeleid. Een watersysteem is gezond, wanneer het voldoet aan de eisen die de verschillende functies (zoals natuur) aan het systeem stellen. Van veerkrachtige watersystemen is de inrichting, het beheer en gebruik afgestemd op natuurlijke processen, patronen en relaties. Belangrijke uitgangspunten zijn enerzijds het werken vanuit de watersysteem- en stroomgebiedsbenadering en anderzijds het op de natuurlijke wijze omgaan met water en watersystemen. Het uitgangspunt van 'water als ordenend principe' is nadrukkelijk aanwezig. Het belang van gezamenlijk optrekken van betrokken instanties, een goede informatie-voorziening en goede communicatie wordt benadrukt, waarbij het open planproces gezien wordt als een belangrijk instrument (Remmelzwaal, 2000).

Het beleid ten aanzien van zoet-zout overgangen is vastgelegd in een aantal nota's. Deze worden in het navolgende behandeld.

De **Derde Nota Waterhuishouding (1989)** introduceert het kernbegrip integraal waterbeheer. Hierin wordt het samenhangend geheel van een watersysteem, dus zowel het water als de waterbodem, de oevers, de technische infrastructuur en de biologische component beschouwd. Gesignaleerd werd dat *"het jaarlijks terugkerend fenomeen van rivier optrekkende vis uit de rivieren is verdwenen, omdat sluizen, stuwen en harde zoet-zout overgangen onneembare barrières blijken"*. Ook *"zoetwatergetijdengebieden en brakwaterzones met karakteristieke landschappen en levensgemeenschappen in de monding van Maas, Rijn en IJssel zijn nagenoeg verdwenen"*.
Als streefbeeld wordt geformuleerd dat trekvissen als zalm, fint en steur in alle rivieren weer voorkomen, dankzij de goede waterkwaliteit en passeerbare stuwen en spuisluizen. Zoet-zout overgangen zijn, binnen de mogelijkheden die de infrastructuur daarvoor biedt, optimaal passeerbaar voor trekvissen. De impact van NW3 is groot, mede dankzij een uitgebreid financieel instrumentarium.

In de **Evaluatienota Water (1994)** wordt gemeld dat de overgang tussen zout en zoet water veel te abrupt is en dat de interactie in ecologische zin daardoor sterk wordt belemmerd. Onderzocht zal worden of de Haringvlietspuisluizen en de schutsluizen van het Noordzeekanaal op een meer ecologische wijze kunnen worden beheerd.

De **Vierde Nota Waterhuishouding (1999)** introduceert een nieuwe veiligheidsfilosofie waarin ruimte wordt gevraagd voor natuurlijke processen: *Een veerkrachtige kust is onze beste garantie voor duurzame veiligheid, zeker waar het maaiveld achter de duinen daalt, de zeespiegel stijgt en de stormintensiteit toeneemt. Door het herstellen van gradiënten, zowel tussen zout en zoet als tussen land en water, wordt de natuurlijke veerkracht vergroot.* Duurzame bescherming kan het beste worden gerealiseerd door mee te werken met de natuurlijke processen. De mens moet letterlijk een stapje terug doen om rivieren, estuaria en kust meer ruimte te geven. Bij de kust zijn reeds ruimtelijke reserveringen aangewezen voor bredere duinen en sterkere waterkeringen; deze zones zijn als claim ingediend voor de Vijfde Nota Ruimtelijke Ordening en zullen ook worden vastgelegd in de in voorbereiding zijnde 3e Kustnota.

Zowel voor veiligheid in het rivierengebied als voor natte natuurontwikkeling heeft de regering voor de komende 12 jaar een flinke financiële impuls gegeven. In het verlengde van de ICES-claims is in 1997 voor Veiligheid Bedijkte Rivieren 1200 miljoen gulden beschikbaar gesteld voor de periode 1999 - 2011. In het Regeerakkoord van 1998 is vastgelegd dat in de periode 1999 - 2010 voor natte natuurontwikkeling 800 miljoen gulden beschikbaar komt. De middelen voor veiligheid zijn bedoeld voor het verlagen van de hoogwaterstanden in de bedijkte rivieren. De voorkeur gaat uit naar maatregelen die het rivierbed verruimen, zo mogelijk in combinatie met natuurontwikkeling. De middelen voor natte natuur zijn bestemd voor grootschalige, natte natuurgebieden in de Zuid-Hollandse Delta en het IJsselmeergebied.

Natuurbeleid
Het ministerie van LNV richt zich op het behoud en herstel van het type biodiversiteit die voor Nederland karakteristiek is en waar Nederland op grond

van de Ramsar conventie, de Habitat- en Vogelrichtlijn en het Biodiversiteitsverdrag internationale verantwoordelijkheid voor heeft. De hoofdlijnen van het huidige natuurbeleid zijn: "Behoud, herstel, ontwikkeling en duurzaam gebruik van natuur en landschap, als essentiële bijdrage aan een leefbare en duurzame samenleving". Er zijn daarbij drie motieven: (be)leefbaarheid (een mooi landschap), diversiteit (bescherming van planten, dieren en gebieden) en bruikbaarheid (duurzaam gebruik).

Als uitwerking van het beleid is een **Ecologische HoofdStructuur (EHS)** ontwikkeld en zijn natuurdoeltypen met bijbehorend na te streven areaal uitgewerkt. De verantwoordelijkheid tot nadere invulling ligt bij de provincies.

Het **Structuurschema Groene Ruimte** bevat concrete ruimtelijke beleidsuitspraken voor land- en tuinbouw, natuur, landschap en cultuurhistorie, openluchtrecreatie, toerisme, bosbouw en visserij en een samenhangend pakket van maatregelen voor de uitvoering van dit beleid.
De hoofddoelstelling van het structuurschema is langs twee wegen ingevuld:
- het formuleren van ruimtelijk beleid voor de sectoren;
- het zorgen voor afstemming tussen sectoren op nationaal niveau.

Het natuurbeheersbeleid is vanouds sterk terrestrisch georiënteerd. Grote wateren maken wel onderdeel uit van de EHS, maar de invulling van natuurdoeltypen voor natte natuur bleef tot op heden uit. Recentelijk neemt de aandacht vanuit het in ontwikkeling zijnde natuurbeleid voor natte natuur toe en vindt er afstemming plaats tussen het natuurdoelstellingensysteem van de ministeries van LNV en V&W.

Het nieuwste beleid van LNV is recent vastgelegd in de nota **Natuur voor mensen, mensen voor natuur; Nota natuur, bos en landschap in de 21e eeuw** (Ministerie van Landbouw, Natuur en Visserij, 2000). Met 'Natuur voor mensen' wordt bedoeld dat natuur moet aansluiten bij de wensen van mensen en goed bereikbaar, toegankelijk en bruikbaar moet zijn. Het betekent ook dat natuur door mensen wordt beschermd, beheerd, bewerkt en ontwikkeld. Als hoofddoelstelling voor het natuurbeleid hanteert het kabinet: behoud, herstel, ontwikkeling en duurzaam gebruik van natuur en landschap, als essentiële bijdrage aan een leefbare en duurzame samenleving. In essentie komt dit neer op:
- De realisatie van de Ecologische Hoofdstructuur met kracht voortzetten en op onderdelen versterken;
- Versterking van de landschappelijke identiteit en kwaliteit en het voortzetten en verder uitbouwen van het beleid met betrekking tot groen om de stad;
- Stevige inzet op het behoud en duurzaam gebruik van biodiversiteit, zowel internationaal als in eigen land.

Onder kwaliteit van natuur en landschap wordt in het kader van deze nota het volgende verstaan.
- De kwaliteit van natuurgebieden;
- De natuurwaarden van het agrarisch cultuurlandschap (biodiversiteit);
- De voorraadfunctie van het landelijk gebied (ruimte, water, milieu, stilte en duisternis);
- De (be)leefbaarheid van het landelijk gebied (bereikbaarheid voor onder andere recreatie, toegankelijkheid);
- Bruikbaarheid voor duurzame economische activiteiten zoals landbouw;

- Schaal en maatvoering van het landschap (kleinschaligheid versus openheid);
- De geschiedenis van het landschap (cultuurhistorie en aardkundige waarden);
- Architectonische- en vormgevingskwaliteiten.

In relatie tot het herstel van estuariene overgangen wordt in de nota als taakstelling voor de natte natuur gegeven dat in 2010 het estuarien karakter en de natuurlijke dynamiek van de Delta, kust en Waddenzee aanzienlijk is versterkt. De kust en de Waddenzee zijn dynamischer geworden: er is meer ruimte voor natuurlijke processen waardoor de veerkracht wordt vergroot in samenhang met het versterken van de veiligheid. Voor de Delta is in 2010 sprake van een samenhangend, natuurlijker functionerend mondingsgebied van Rijn, Maas en Schelde als groen-blauwe buffer tussen Randstad en Zandstad. Op weg naar 2020 worden onder andere de volgende perspectieven geschetst:

- Overgangen van zoet naar zout en van nat naar droog, die zo kenmerkend zijn voor een deltaland, worden hersteld. Onder meer bij het Haringvliet en bij de Waddenzee zijn daarvoor stappen gezet;
- De natte as, die de Biesbosch met het Lauwersmeer verbindt, is op belangrijke onderdelen gerealiseerd. De rivieren vormen een essentieel en robuust onderdeel van het Europees ecologisch netwerk. Door de realisatie van de natte as wil men met een nieuwe daad de Nederlandse traditie van internationaal baanbrekende waterwerken voortzetten.

In de nota wordt gesignaleerd dat bovenstaande ambities veronderstellen dat besluitvormingsprocessen naar hun aard natuurinclusief zijn, dat daarvoor de kennis beschikbaar en toegankelijk is en dat de relevante overheidsinstrumenten (prikkels) de goede kant op werken. Verbetering of vernieuwing is aan de orde voor de samenwerking, de interpretatie van natuur in andere beleidsvelden, stroomlijnen, verbreden en intensivering van de eigen instrumenten en goede monitoring en evaluatie.

Ruimtelijk beleid

Zoet-zout overgangen staan in het ruimtelijk beleid nergens expliciet vermeld. Niet alleen op rijksniveau, maar ook in streek- en bestemmingsplannen wordt niet of amper een woord gerept over dit type ecologisch herstel. In het ruimtelijke ordeningsbeleid is het type natuur minder relevant; het is dus ook niet verwonderlijk dat er geen expliciete aandacht is voor een bepaald type natuur.

Impliciet is er wel aandacht. In de vierde nota ruimtelijke ordening extra (VINEX) is er expliciete aandacht voor Nederland Waterland. Het perspectief is met name gericht op het versterken van de samenhang tussen de functies watervoorziening, natuur, toerisme, recreatie en transport, een betere samenhang tussen grote wateren en het vergroten van de aandacht voor natuurontwikkeling, naast natuurbehoud.

De **Vijfde Nota Ruimtelijke Ordening** wordt momenteel voorbereid. De startnota ervan is in januari 1999 verschenen. In deze nota geldt dat water een duidelijker stempel moet drukken op de ruimtelijke inrichting van Nederland: "water als ordenend principe, afstemming waterhuishouding en ruimtegebruik". Natuurlijke dynamiek moet, waar mogelijk, opnieuw de ruimte krijgen. Geopperd wordt om het vele water dat Nederland rijk is, weer te gebruiken als uitgangspunt (zgn. water als ordenend principe). Nieuwe prioriteiten zullen moeten worden gesteld met veiligheid voorop.

Centraal staat een veerkrachtige aanpak, waarin ruimte wordt gezocht voor de dynamiek van water en anderzijds de samenhang tussen watersystemen wordt versterkt, waardoor er ook kansen ontstaan voor natte natuur, al dan niet in relatie met cultuurhistorie.

Samenvattend kan gesteld worden dat vanuit het nationale beleid ten aanzien van het herstel van zoet-zout overgangen onder andere aandacht gevraagd wordt voor:
- herstel van migratieroutes voor trekvissen
- herstel van zoetwatergetijdengebieden en brakwaterzones
- ruimte voor natuurlijke processen
- herstel van gradiënten
- vergroten van de natuurlijke veerkracht
- behoud en herstel van biodiversiteit
- behoud en herstel van ecologische draagkracht
- ruimtelijke samenhang
- samenhang tussen verschillende functies
- water als ordenend principe

Tot op heden zijn deze begrippen nog niet eenduidig geoperationaliseerd waardoor nog geen uniform landelijk toepasbare beoordelingsinstrumenten en referentiekaders voor het herstel van zoet-zout overgangen zijn ontwikkeld.

5.2 Instrumenten voor toetsing (estuarien) water- en natuurbeleid

AMOEBE (VenW, 1989)
Om de doelstellingen van het waterbeleid te toetsen, is in de Derde Nota Waterhuishouding (NW3) de AMOEBE-benadering geïntroduceerd (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1989). AMOEBE staat voor Algemene Methode voor OEcosysteem Beschrijving en Beoordeling. De AMOEBE laat zien hoe het watersysteem er aan toe is door de huidige situatie te vergelijken met een referentiebeeld. Uitgaande van de situatie in de periode tussen 1991 en 1993 zijn AMOEBEs opgesteld voor bijvoorbeeld het gehele Benedenrivierengebied (Vanhemelrijk & De Hoog, 1996). Voor deze AMOEBEs is een beperkt aantal planten- en diergroepen gekozen, die aan een aantal criteria moeten voldoen. Deze doelvariabelen geven gezamenlijk de toestand van het watersysteem weer, spreken aan en zijn goed te monitoren. Bovendien is een referentiewaarde vastgesteld. Daarbij is uitgegaan van twee verschillende referentietoestanden.
- de historische referentie die de situatie van het brak- en zoetwatergetijdengebied van vóór 1970 weergeeft
- de geconstrueerde referentie die een afgesloten, maar overigens optimaal natuurlijk functionerende situatie beschrijft. Haringvliet en Hollandsch Diep zijn hier zeer langzaam stromende, semi-stagnante wateren met langs de oevers en in de Biesbosch uitgestrekte zoetwatermoerassen.

Het geheel aan referentiewaarden vormt een min of meer objectieve maatlat voor een gezond en duurzaam functionerend systeem. Op deze wijze kunnen de gekozen groepen als indicatoren voor het beleid dienen; ze worden daarom als 'doelvariabelen' aangeduid. In bijlage 7 is een overzicht van de AMOEBEsoorten opgenomen per watersysteem. De referentiewaarden voor de doelvariabelen in de AMOEBEs zijn bepaald op basis van oude inventarisatiegegevens, schattingen en modelberekeningen.

Een belangrijk bezwaar van de AMOEBE-benadering is dat de relatie tussen de beoordeling van het ecologisch functioneren en de gekozen parameters niet duidelijk is. Met andere woorden, het is niet duidelijk waar de graadmeters een maat voor zijn. Daarnaast voeren Baptist & Jagtman (1997) terecht aan dat de interacties tussen soorten in de AMOEBE niet worden beschreven.

ECOMIJ (Jans et al., 2000)
Ten behoeve van het project Waterhuishouding in het Natte Hart (WIN), is door het Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling RIZA een Beslis Ondersteunend Systeem (BOS) ontwikkeld (WINBOS). Dit BOS dient om diverse scenario's op het gebied van de waterhuishouding in het IJsselmeergebied door te kunnen rekenen. Voor de ecologische component van dit systeem zijn twee modellen/modulen ontwikkeld: Ecotopenmodel ECOMIJ en NatuurWaarderingsModule NWM.

Het ecotopenmodel ECOMIJ berekent op gridbasis voor diverse peilbeheerscenario's een ruimtelijke weergave van de te verwachten ecotopenverdeling. De NatuurWaarderingsModule NWM richt zich op de consequenties van veranderingen in waterhuishouding op de **natuurlijkheid en biodiversiteit** van het ecosysteem IJsselmeergebied. Gedeeltelijk wordt NWM direct gevoed door hydrologische berekeningen in WINBOS, maar voor het overgrote deel gebruikt deze module output van ECOMIJ. Hierbij worden de verwachte veranderingen in ecotopensamenstelling doorvertaald in de volgende parameters voor natuurwaarden op het gebied van biodiversiteit:
- Natuurlijkheid waterpeilverloop
- Mogelijkheden vismigratie
- Compleetheid gradiënt water-land
- Compleetheid AMOEBE
- Kansen voor doelsoorten van het Nederlandse natuurbeleid
- Overschrijding Ramsar-normen water - en moerasvogels

Ook geeft NWM per scenario door middel van een weging een totaalwaardering van de natuur in het IJsselmeergebied. Een uitwerking van bovenstaande methodiek is te vinden in Jans et al. (2000).

GONZ (Duel, 1997)
Onlangs is een eerste concept van een nieuw toetsingskader voor het ecologisch functioneren van de Noordzee verschenen, te weten "Graadmeter Ontwikkeling Noordzee", afgekort GONZ (Duel, 1997). De doelstellingen van GONZ zijn:
- Het beschrijven van de toestand van de Noordzee;
- Het beschrijven van de effecten van menselijk gebruik;
- Beoordelingskader bij milieueffectrapportages.

De bedoeling is dat GONZ het instrument wordt waarmee zowel de doelstellingen uit het natuurbeleid (biodiversiteit, natuurlijkheid) als die uit het waterbeleid (duurzaamheid watersysteem) kunnen worden getoetst. De verwachting is dat voor de Noordzee GONZ in zijn definitieve vorm de AMOEBE-benadering en de natuurdoeltypenbenadering zal gaan vervangen.

De ecologische graadmeters worden ontwikkeld rond de thema's biodiversiteit (soortendiversiteit, soortgroepen- en levensgemeenschapsdiversiteit, habitat- en ecotopendiversiteit) en ecologisch functioneren (productiviteit, voedselwebstructuur, hydro- en morfodynamiek). Deze zijn uitgewerkt via ecosysteemkenmerken als soorten, soortengroepen, ecotopen, productiviteit en

voedselwebrelaties in 23 ecologische graadmeters. Om veranderingen in de Noordzee herkenbaar te maken zijn graadmeters doorvertaald naar indicatoren, die zowel beleidsmatig als ecologisch relevant zijn. Tot op heden zijn slechts 13 van de 23 ecologische graadmeters geoperationaliseerd. Er is een overlap met biodiversiteit en ecologisch functioneren wat graadmeters betreft. Wel hebben de graadmeters voor ecologisch verantwoord gebruik een eigen set van indicatoren: de gebruik-indicatoren. Ecologisch verantwoord gebruik (duurzaam) wordt bepaald voor de volgende functies: visserij, scheepvaart, recreatie, militaire activiteiten, mijnbouw, zandwinning en -suppletie, landaanwinning en infrastructuur.

De graadmeters worden geoperationaliseerd aan de hand van één of meerdere indicatoren (zie tabel 5.1). De toestand van de indicatoren wordt bepaald aan de hand van veldgegevens of modelgegevens. Voor het beoordelen van de toestand van de indicatoren is het noodzakelijk ijkpunten (referenties) te definiëren (zie later). Speerpunten voor de verdere ontwikkeling zijn een betere aansluiting bij actuele beleidsontwikkelingen en de koppeling met gebruiksfuncties.

Onderstaande tabel geeft de graadmeters die thans zijn uitgewerkt binnen GONZ, de indicatoren en hun relatie met enkele gebruiksfuncties.

Tabel 5.1
Graadmeters die thans zijn uitgewerkt binnen GONZ, de indicatoren en hun relatie met de gebruiksfuncties Visserij, Delfstoffen en Vervuiling.

Graadmeters	Indicatoren	Visserij	Delfstoffen	Vervuiling
soorten diversiteit fytoplankton	Shannon-Wiener index	X	X	
soorten diversiteit macrobenthos	Shannon-Wiener index	X	X	
populatie macrobenthos	*Spisula*	X	X	
populatie zoutwatervissen	haring, kabeljauw, schol, zandspiering, stekelrog	X		
populatie kust- en zeevogels	7 soorten	X		
populatie zeezoogdieren	gewone zeehond, bruinvis	X X		
structuur fytoplankton	N/P ratio			X
structuur macrobenthos	r/k strategen	X	X	
structuur visgemeenschap	lengte/gewicht	X	X	
primaire productie	chlorofyl-data	X	X	
top predators	kabeljauw, grote stern, bruinvis	X	X	X
trofische structuur Macrobenthos	ITI index	X	X	X
stapel voedsel (dichtheden)	*Spisula*	X	X	

MAASVLAKTE 2 (Heinis et al., 2000)
Binnen het project Maasvlakte 2 is er voor gekozen het ecologisch functioneren van watersystemen te beschouwen aan de hand van de productiviteit en de functionele diversiteit met als functionele eenheid het trofische niveau (het voedselweb). Dit wijkt volgens de auteurs in principe niet af van GONZ. In feite zijn de elementen die betrekking hebben op het ecologisch functioneren uit GONZ gelicht en zodanig aangevuld dat het gehele voedselweb wordt gedekt.

Als hoekstenen voor de beschrijving van de functionele toestand van een ecosysteem zijn productiviteit en functionele diversiteit (Sheppard, 1997) gekozen. Productiviteit is de motor van een ecosysteem.

Productie, consumptie en afbraak vormen een wezenlijke functie van het systeem (Johnson et al., 1996). Productiviteit is dan ook een maat voor het functioneren. Geredeneerd vanuit het menselijk gebruik van het systeem (bijvoorbeeld visserij) en vanuit (andere) toppredatoren (zoals bruinvis, zeehond en vogels) is productiviteit het belangrijkste element.

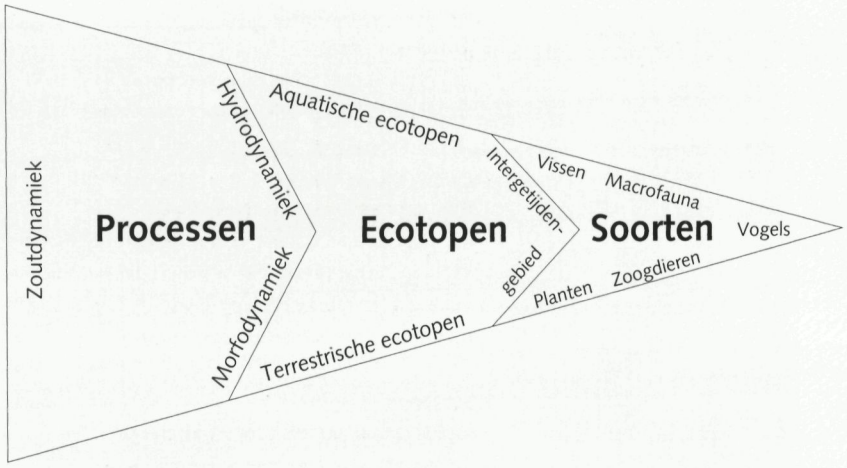
Vanuit het aspect productiviteit bestaan de energiestromen uit een complexe structuur van trofische relaties (eten en gegeten worden) die wordt aangeduid als een voedselweb. De duurzaamheid van de productie wordt bevorderd wanneer de soortensamenstelling en leeftijdsopbouw van de verschillende voedselwebcomponenten in een gebalanceerde verhouding aanwezig zijn. Het is daarom logisch om de productiviteit binnen het ecologisch functioneren te beschouwen aan de hand van dit voedselweb.

Bij beschouwing van de functionele diversiteit dienen soorten te worden samengevoegd in functionele eenheden (Schulze & Mooney, 1994). Een functionele eenheid bestaat uit soorten die een overeenkomstige rol binnen het systeem vervullen. Twee soorten behoren tot een functionele groep wanneer de ene soort zich zal uitbreiden als de andere soort verdwijnt (Tilman, 1996). Het definiëren van functionele eenheden is afhankelijk van het te beschouwen ecosysteem (Schulze & Mooney, 1994). In een systeem met meerdere trofische niveaus zoals de Noordzee, kan de functionele eenheid worden gedefinieerd als het trofisch niveau (Picket et al., 1997).

MER HARINGVLIET (Paalvast et al., 1998)
Met een ander beheer van de Haringvlietsluizen wordt beoogd de estuariene waarden van het systeem zoveel mogelijk te herstellen. Dit ligt geheel in de lijn van het huidige water- en natuurbeleid. Zowel in de 'Ecosysteemvisie Delta' van het ministerie van LNV als in de 'AMOEBE-Benedenrivieren' van RWS wordt een estuarien systeem qua natuurwaarde hoger ingeschat dan een stagnant zoet systeem, omdat het meer aansluit bij de natuurlijke potenties van het gebied,

De doelstellingen voor ecologisch herstel zijn in het water- en natuurbeleid gecentreerd rond de begrippen natuurlijkheid, biodiversiteit en duurzaamheid. Om aan te kunnen geven in hoeverre de estuariene waarden van het voormalige Haringvliet-estuarium kunnen worden hersteld, is het nodig deze begrippen verder te concretiseren.

In het geval van een alternatief beheer van de Haringvlietsluizen is duidelijk sprake van proces-gestuurde natuur met het getij als de belangrijkste motor. Er is dan ook voor gekozen het begrip estuariene waarden niet te beperken tot karakteristieke planten- en diersoorten, maar te zien als het samenhangende complex van processen, patronen en soorten die kenmerkend zijn voor een estuarium (figuur 5.1). Immers: bij een verandering van sluisbeheer zullen primair veranderingen optreden in waterstanden en getijslag, zoutgehalte en stroomsnelheden. Deze veranderde waterbeweging kan leiden tot wijzigingen in de morfologie van het gebied. Tezamen leiden deze veranderingen in abiotische condities tot een verandering in kansen voor soorten, deels direct, bijvoorbeeld voor de trekvissen, deels door een verandering van de omvang en de kwaliteit van de leefgebieden van soorten.



Figuur 5.1
Samenhangend complex van processen, patronen en soorten in het estuarium. Bron: Paalvast et al., 1998.

Abiotische processen op landschapschaal, met getij als de motor van het systeem, worden hierbij gezien als de belangrijkste equivalenten van natuurlijkheid. Biodiversiteit is vertaald naar kansen voor planten en dieren waarbij in het bijzonder is gekeken naar kansen voor estuariene soorten. Ook is hierbij aandacht besteed aan de internationale betekenis en aan de bestaande waarden van het gebied. De schakel tussen processen en soorten wordt gevormd door de ruimtelijke patronen, vertaald in ecotopen. Duurzaamheid is geconcretiseerd door toe te spitsen op de risico's die introductie van storing in de getijdenbeweging als gevolg van het sluisbeheer kunnen inhouden voor planten- en diersoorten.

Tabel 5.2 geeft het beoordelingsschema voor de alternatieven voor het beheer van de Haringvlietsluizen.

Om te voorkomen dat de eindbeoordeling niet meer is dan de som der delen, is er naar gestreefd processen, ecotopen en soorten in hun onderlinge samenhang te beschouwen. Hiertoe is nagegaan in hoeverre de volgende vooronderstellingen t.a.v. het sluisbeheer consistent doorwerken op het herstel van estuariene processen, ecotopen en soorten:

- hoe groter de sluisopening, des te sterker de getijbeweging wordt hersteld, waardoor estuariene ecotopen in diversiteit en areaal toenemen, wat tezamen betere condities schept voor estuariene planten- en diersoorten;
- hoe minder vaak en lang de sluizen worden gesloten, des te minder het getij wordt onderbroken en des te duurzamer de condities voor herstel van het estuariene systeem.

Tabel 5.2
Beoordelingsschema voor de alternatieven voor het beheer van de Haringvlietsluizen.

Beoordelingssaspect	eenheid
Processen	
jaargemiddelde getijslag in het mondingsgebied (Punt van Voorne)	m
jaargemiddelde getijslag in het Haringvliet	m
jaargemiddelde getijslag in de Biesbosch	m
gemiddeld aantal dagen per jaar dat de sluizen bij vloed gesloten zijn	dg/j
morfodynamiek tov huidige situatie	kwalitatief
kans op afname van de oevererosie in het binnengebied	kwalitatief
kans op zuurstofloosheid bij zoet-zout stratificatie	keer per n jaar
minimale en maximale lengte van de zoutgradiënt (overgang tussen zoet en zout water)	km
Ecotopen	
aantal estuariene ecotopen mondingsgebied	n
aantal estuariene ecotopen binnengebied	n
intergetijdengebied mondingsgebied (ha)	ha
intergetijdengebied binnengebied (ha)	ha
zilte ecotopen binnengebied (ha)	ha
Soorten	
internationale betekenis voor watervogels	
• aantal soorten boven 1 % norm	n soorten
• som van de norm-overschrijding	som 1%
kansen voor vissen	
• trekvissen	kwalitatief
• brakwatersoorten	kwalitatief
biotoop Garnaal (ha) binnengebied	ha
biotoop Driehoeksmossel (ha) binnengebied	ha
estuariene vegetatietypen mondingsgebied	
• aantal	n
• oppervlakte (ha)	ha
estuariene vegetatietypen binnengebied	
• aantal	n
• oppervlakte (ha)	ha
Landschap	
aardkundige waarde	kwalitatief
landschappelijke karakteristiek	kwalitatief
landschappelijke samenhang	kwalitatief

DEFINITIESTUDIE BRAKKE ZONE AFSLUITDIJK (Walker et al., 2000)

In de studie 'Opties brak', waarbij ontwerpvarianten voor een geleidelijkere zoet-zout gradiënt rond de Afsluitdijk worden beschreven, zijn onder meer de volgende beoordelingscriteria gebruikt voor de categorie processen, om tot een selectie van varianten te komen:

1. getijdynamiek
2. gemiddeld debiet
3. kwaliteit van de gradiënt in tijd en ruimte
4. sedimentatie/troebelheidsmaximum
5. nutriëntenaanvoer
6. zuiverend vermogen
7. vistrek in/uit
8. effect op morfologie

NATUURWAARDERING KUSTNATUURDOELTYPEN (Oppers, 1996)
Onderstaand schema is gebruikt door Oppers (1996) bij de ecologische waardering van kustnatuurdoeltypen. De criteria zijn ingedeeld op basis van patroon- en proceskenmerken (oppervlakte en tijd) en onderverdeeld in een abiotisch en een biotisch deel (naar Van der Maarel et al., 1978 en Bal et al., 1995).

Kenmerk	Categorie	Criterium
Patroon (factor oppervlak)	zeldzaamheid	zeldzaamheid op basis van soorten (biotiek)
		zeldzaamheid op basis van abiotiek
	diversiteit	soort-diversiteit (biotiek)
		abiotische diversiteit (afwisselendheid)
Proces (factor tijd)	natuurlijkheid (ongestoorde ontwikkeling)	optimaliteit (biotiek en abiotiek)
	verstoring	vervangbaarheid (biotiek en abiotiek)

Geconcludeerd kan worden dat vanuit het nationale water- en natuurbeleid gezondheid, veerkracht, duurzaamheid, bruikbaarheid, stabiliteit, natuurlijkheid en biodiversiteit gezien worden als de belangrijke doelstellingen en derhalve als toetsingscriteria voor de ecologie. Deze begrippen worden momenteel op verschillende wijze geoperationaliseerd. Zo worden bijvoorbeeld productiviteit, diversiteit, voedselweb, ecologisch functioneren, ecotopen, estuariene soorten, processen, zeldzaamheid en vervangbaarheid onderscheiden. Het verdient aanbeveling om in de lijn van GONZ en MER-Haringvliet en Natuurwaardering Kustnatuurdoeltypen een beoordelingsmethodiek voor het herstel van zoet-zout overgangen te ontwikkelen, die rekening houdt met de juiste ruimte- en tijdaspecten en de doelen zoals verwoord in het beleid. Globaal zijn de verschillende beoordelingscriteria hiërarchisch in te delen in proces-, patroon- (ecotoop) en soortgebonden criteria.

5.3 Huidige projecten en maatregelen

5.3.1 Inventarisatie herstelprojecten in uitvoering

Uit een inventarisatie (Lenselink & Gerits, 2000) van op dit moment lopende projecten met als doelstelling het herstel van zoet-zout overgangen bleken er landelijk 165 plannen en projecten te bestaan. Over heel Nederland zijn er 109 plannen en projecten die zich in de initiatief-fase (idee of ontwerpfase) bevinden, 56 plannen zijn reeds in uitvoering zijn of zijn gerealiseerd. Tabel 5.3 geeft het beeld per stroomgebied weer.

Tabel 5.3
Aantal projecten in de initiatief-fase of gereed gerangschikt naar doelstelling in de stroomgebieden van de Eems, Rijn, Maas-Rijn, Schelde en in het duingebied (i: initiatief-fase; g: in uitvoering / gerealiseerd). Bron: Lenselink & Gerits, 2000.

	Doelstelling	Eems		Rijn		Rijn/ Maas		Schelde		Duin-gebied		Totaal	
		i	g	i	g	i	g	i	g	i	g	i	g
Proces	herstel getij zoet	0	0	0	0	4	6	0	0	0	0	4	6
	herstel getij zout	3	0	0	2	2	1	1	0	0	0	6	3
	zozo gradiënt	0	0	5	1	24	4	0	0	1	4	32	7
Habitat	herstel kwelders	0	2	1	7	1	0	7	0	0	0	9	7
	vogel broedgebied	0	0	2	10	3	0	3	0	0	0	8	10
	brak binnendijks	2	2	6	7	30	10	7	0	0	0	44	19
Soorten	visintrek	3	0	2	2	0	0	0	0	0	0	5	2
Totaal		8	4	16	29	64	21	18	0	1	4	109	56

Onderstaand zijn de belangrijkste conclusies uit de inventarisatie van Lenselink & Gerits (2000) samengevat:

- De plannen variëren in omvang van heel klein (op één enkele soort gericht, minder dan één ha) tot mega-projecten van duizenden ha. Inmiddels zijn zo'n 56 projecten uitgevoerd. Het betreft vaak relatief kleine projecten, die eenvoudig te realiseren zijn.
- Het initiatief voor herstelprojecten wordt vaak door de beheerder genomen en ligt daardoor op diverse plekken en op diverse niveau's. Voor projecten die buitendijks liggen is Rijkswaterstaat als beheerder bijna altijd de initiatiefnemer. In geval van compensatie van infrastructurele ingrepen is Rijkswaterstaat ook vaak initiatiefnemer. Voor bestaande natuurgebieden is het de beherende natuurbeschermingsorganisatie. Als de aanleiding in waterbeheer gevonden wordt, ligt het initiatief bij een waterschap. Bij herinrichting van een gebied neemt de Dienst Landelijk Gebied of het Ministerie van Landbouw, Natuur en Visserij het initiatief. Dit laat zien dat het ecologisch herstel van zoet-zout overgangen vanwege de raakvlakken met het waterbeheer en de herinrichting van de ruimte door verschillende instanties kan worden opgepakt.
- In vrijwel alle projecten spelen diverse belangen en daarmee een groot aantal actoren een rol. Ook neemt met de omvang van projecten vaak nog eens het aantal betrokkenen toe. Dat vraagt veel tijd voor overleg. Bij alle betrokken overheden is (volgens geïnterviewden) te weinig capaciteit aanwezig om uitvoering te geven aan dit beleid met nieuwe en vaak nog onbekende zaken. Kansen voor zoet-zout herstel worden hierdoor wellicht gemist of juist overschat.
- Uit de interviews kwam naar voren dat bij plannen het belang van goede communicatie en informatieverstrekking niet overal erkend is. Van groot belang zijn de onderbouwing van plannen (nut en noodzaak), de timing, de beleving bij actoren en er moet duidelijkheid zijn over de besluitvormingsprocedure en de bevoegdheden van alle betrokkenen. Met een voorbeeldproject kun je beter draagvlak creëren.

- De kosten van projecten (voor zover bekend) lopen sterk uiteen. Uitspraken over verschillen in kosten/baten van bepaalde typen projecten en een vergelijking met andere inrichting en herstel projecten is niet mogelijk omdat de kennis hieromtrent nog onvoldoende ontwikkeld is.

Onderstaand is een kort overzicht gegeven van het type maatregelen dat onder de noemer herstel van zoet-zout overgangen in tabel 5.3 is opgenomen.

Buitendijks

- natuurlijker afwateringspatroon in landaanwinning / kwelder
- minder onderhoud aan landaanwinning / kwelder
- kwelders /schorren beschermen tegen afslag
- verdiepen (geulen)

Buitendijks > binnendijks

- ontpolderen door opening in dijk
- doorlaat (duiker) maken door kade/dijk voor inlaat zout water
- sluisbeheer aanpassen om getij binnen te krijgen
- sluisbeheer aanpassen ten bate van visintrek
- vistrap maken

Binnendijks > buitendijks

- aanpassen afvoer van neerslag ten behoeve van gradiënt buiten

Binnendijks

- filters plaatsen om kwel te versterken ten bate van zout en doorstroming
- afgraven om kwel te versterken
- afgraven / vergraven om reliëf te maken
- aanpassen waterpeilen voor vernatting en doorstroming
- plaatsen van stuwen / duikers voor doorstroming

Indien herstel van estuariene gradienten gedefinieerd wordt als het weer of meer in contact brengen van zoet en zout water, of als het herstel van natuurlijke dynamische processen als het herstel van getijdedynamiek of zoetwateraanvoer, dan dragen soortgerichte maatregelen niet bij aan dit herstel. Veel van deze maatregelen en maatregelen ter vervanging van verloren gegane habitats zijn echter wel relevant voor de doelstellingen zoals vastgelegd in de Wetlandconventie en de Habitat- en Vogelrichtlijn. Verder is het opmerkelijk dat weinig maatregelen gericht zijn op het herstel van het ecologisch functioneren door bijvoorbeeld het bestrijden van eutrofiering, pathogenen, toxische stoffen en exoten. Internationaal zijn dit de belangrijkste estuariene herstelmaatregelen. Het verdient daarom aanbeveling om ook de mogelijkheden voor dit type maatregelen in beeld te brengen door een inventarisatie van ervaringen met herstel van estuariene gradienten in met Nederland vergelijkbare gebieden.

In welke mate de genoemde projecten leiden tot het gewenste herstel van estuariene gradiënten is nog moeilijk te bepalen omdat de meeste projecten vrij recent zijn uitgevoerd en nog niet zijn geevalueerd. Een duidelijk streefbeeld en een toetsingskader, evenals monitorings- en evaluatiegegevens voor zoet-zout overgangen in Nederland zijn al wel voorhanden van de (vooral kleine) en reeds

uitgevoerde projecten (De Leeuw & Esselink, 2000). Aanbevolen wordt om in een aantal relatief grote pilotprojecten de verwachte en werkelijke ontwikkelingen als gevolg van herstelmaatregelen te volgen en te evalueren. Voorbeelden van dergelijke projecten zijn de open Haringvlietsluizen (vanaf 2005), Brakke zone Afsluitdijk (2005), Lauwersmeer (?) en het Rammegors in Zeeland (2002). Hierin zou moeten worden samengewerkt met europese onderzoeksinstituten, die vergelijkbaar zijn met het RIZA en RIKZ.

5.3.2 Projecten en studies gericht op kennisontwikkeling

Parallel aan deze studie is binnen WONS-Waterverkenningen een verkenning voor NW4+ uitgevoerd naar de kansen van herstel van zoet-zout overgangen in Nederland (Lenselink & Gerits, 2000). Tevens is er een studie binnen WONS waterverkenningen verricht met als titel: Werken met water: veerkracht als strategie (Remmelzwaal & Vroon, 2000). De wensen ten aanzien van het herstel van zoet-zout overgangen en de meningen van deskundigen zijn in diverse workshops reeds gepeild (Walker et al., 2000; RIKZ, 1997 (workshop gradiënten); Afsluitdijk 21ste eeuw). Voor zover mogelijk zijn de uitkomsten van deze studies in de voorliggende verkenning opgenomen en geïntegreerd.

Binnen de programmering van WONS zijn er een aantal projecten die een duidelijke overeenkomst met de voorliggende studie hebben. Voorbeelden daarvan zijn:

- Ecotoopbepalende processen in estuaria (RIKZ)
- Ecotopen en habitateisen (RIKZ)
- Ruimtelijke rangschikking en samenhang in estuaria (RIKZ)
- Leidraad inrichting zoute wateren (RIKZ)
- Ecologische evaluatie zoet-zout overgangen (RIKZ)
- GONZ (RIKZ)
- Streefbeelden voor kust, brak en zoet-zout overgangen (RIZA)

Daarnaast lopen er bij verschillende Regionale Directies projecten en zijn er programma's die een relatie hebben met deze studie. Voorbeelden daarvan zijn:

- studie brakke zone Afsluitdijk (RDIJ)
- studie herstel Lauwersmeer (DNN)
- Blauwe Delta (DZL)
- gradiënten Waddenzee (DNN)
- Open Haringvlietsluizen: Kier besluit (DZH)
- Onderzoek zoet-zout Oosterschelde (DZL)

Het verdient op zijn minst aanbeveling om de doelstellingen en programmering van deze projecten op elkaar af te stemmen. Op dit moment en voor deze studie heeft dat nog onvoldoende kunnen plaatsvinden. Om deze reden wordt voorgesteld om voor het vervolg van dit project een overlegplatform herstel zoet-zout op te richten waarin alle betrokken Nederlandse instanties kunnen deelnemen.

5.4 Naar herstel

Deze paragraaf geeft een overzicht van factoren die relevant zijn bij het kiezen, het formuleren en het evalueren van herstelmaatregelen. De **slaagkans** van projecten, de afstemming met betrokken en het aangeven van de verwachtingen wordt aanzienlijk vergroot door eerst een aantal essentiële vragen te beantwoorden. Deze zogenaamde "ecologische checklist" omvat:

1. Hoe en waar kan worden ingegrepen: wat is het type en de oorzaak van de verstoring en waar hebben maatregelen het meeste effect
2. Op welke termijn wordt een bepaald effect verwacht: tijd- en ruimteschaal en mate van natuurlijke variatie.
3. Op welk niveau (soort, populatie, ecosysteem of landschap) en met welke variabelen (abundantie, aantal soorten, biomassa) worden veranderingen verwacht en beschreven.
4. Hoe wordt het effect beoordeeld: streefbeeld, referentiedynamiek en toetsingskader.

5.4.1 Herstel ecologie

Praten over herstel betekent dat er iets is verstoord. Als eerste dient dus in ieder geval vastgesteld te worden welke verstoringen hebben plaatsgevonden en hoe die elk op hun eigen manier het ecosysteem, of essentiële delen daarvan (processen), hebben beïnvloed. De volgende vraag is of en hoe de verstoringen hersteld kunnen worden. Herstel betekent dan vaak het terugkeren naar de situatie van voor de verstoring. Echter de doelstelling voor het herstel van zoet-zout overgangen is niet alleen het herstel van de originele toestand, maar kan ook het beschermen van niet-beïnvloede systemen zijn of het optimaliseren en (deels) verbeteren van sterk beïnvloede of verstoorde systemen. Ook het verbeteren van productiviteit en het verbeteren van natuurwaarden in beschermde natuurgebieden of in gebieden met diverse (economische) gebruiksfuncties kan gezien worden als herstel (Eertman & Smaal, 1996). Tenslotte is ook de vraag relevant in hoeverre en op welke termijn pogingen tot herstel succesvol zullen zijn (voorspelbaarheid).

Tot op heden zijn er wel studies uitgevoerd naar de effecten van natuurlijke en antropogene verstoringen op estuariene systemen, maar er is weinig onderzoek aan herstelprocessen na een verstoring of als gevolg van herstelmaatregelen gedaan. Hierdoor blijven veel vragen onbeantwoord. Wat zijn de belangrijkste parameters om herstel van ecosystemen aan af te lezen? Is informatie over herstel op één trofisch niveau voldoende om ook het herstel op andere niveau's te beoordelen? Zijn herstelmogelijkheden systeemafhankelijk en zo ja waarom?

Het verschil tussen drukken (lange termijn, continue invloed) en puls/stress (korte termijn lozing, piekafvoer) maakt het noodzakelijk dat er kennis is over temporele en ruimtelijke variatie van verstoringen. Het probleem is het complex van verstoringen en organisme-specifieke factoren. Veel van de problemen zijn terug te voeren op de juiste definities van de termen.

Belangrijke **kenmerken van verstoringen en herstelmechanismen** zijn (O'Neill, 1999):

- *De frequentie en duur van verstoring*; indien het interval tussen verstoringen korter is dan de herstel tijd zal er nooit evenwicht zijn en de meeste systemen zijn instaat om kortdurende verstoringen op te vangen. Over het algemeen wordt aangenomen dat de omgeving langzaam verandert vergeleken met snelheid van veranderingen in processen binnen het biotische systeem.
- *Multipele evenwichten en discontinuïteit*; verrijk een meer en plotseling wordt het troebel, buig een stok en plotseling breekt hij. De druk eraf halen betekent niet automatisch dat het meer/de stok terug keert in de oorspronkelijke toestand. Het uitsterven van "keystone soorten" verandert niet alleen het evenwicht maar ook het hele functioneren, ook een introductie/exoot kan dit veroorzaken.

- *Ruimte en tijd*; zolang de dammen blijven zal de originele migrerende visgemeenschap niet herstellen, ondanks dat de overige kwaliteiten wel herstellen.
- *Onevenwicht (disequilibrium)*; sommige systemen, zoals estuaria, zullen nooit in een hypothetische evenwichtssituatie verkeren, omdat ze van nature zeer dynamisch zijn.
- *Complexiteit*; de meeste ecosystemen zijn complex en daardoor is het moeilijk voorspelbaar hoe deze systemen zullen reageren op veranderingen, zeker niet als er meerdere veranderingen gelijktijdig plaatsvinden.
- *Nieuwe evenwicht*; indien de theorie van multipele evenwichten en discontinuïteit één stapje verder gaat (catastrofe theorie) kan een systeem volledig veranderen en in een zogenaamde hysterese raken. Teruggaan naar de oorspronkelijke situatie is dan niet meer mogelijk.

Om inzicht te krijgen vanuit welke optiek herstel wordt overwogen en voor het opstellen en evalueren van herstelplannen en projecten is een aantal essentiële sleutelfactoren en vragen te noemen (Power, 1999; Eertman & Smaal, 1996). Een goede probleemidentificatie is van groot belang. Belangrijke vragen die achtereenvolgens beantwoord dienen te worden, zijn:

1. Hoe is het ecosysteem in zijn huidige toestand geraakt? Definieer wat bepaalt/veroorzaakt herstel in verstoorde systemen en stel vast hoe dit het beste gedefinieerd kan worden op niveau van biologische organisatie (individu, populatie of leefgemeenschap).
2. Kunnen de oorzaken van verstoring of verandering worden weggenomen, waardoor een terugkeer naar de oude situatie mogelijk is?
3. Bepaal of teruggegaan kan worden naar een historisch situatie (referentiebeeld) of dat herstel gedefinieerd wordt rekening houdend met de huidige limiterende factoren (streefbeeld).
4. Benoem wanneer het ecosysteem hersteld is;
5. Benoem de criteria die nodig zijn om te beoordelen of het hersteld is (zie toetsingskader);
6. Stel vast in welke mate het gedefinieerde herstel specifiek is voor het gebied en onderzoek hoe bruikbaar de uitkomsten van individuele case studies zijn voor extrapolatie naar andere systemen.

Herstel is complexer dan vaak wordt verondersteld in gemeenschap of ecosysteemtheorie. Verstoringsfrequentie en de mate van verstoring kunnen herstelmechanismen overschaduwen. Snel veranderende systemen zullen nooit in evenwicht komen. Veranderingen die uitsterven of permanente invasie veroorzaken resulteren in radicale veranderingen. Zelfs kleine verstoringen kunnen hysterese veroorzaken en systemen radicaal veranderen. Bovenstaande problematiek is complex en voor zoet-zout overgangen nog weinig onderzocht.

5.4.2 Keuze van locaties en maatregelen

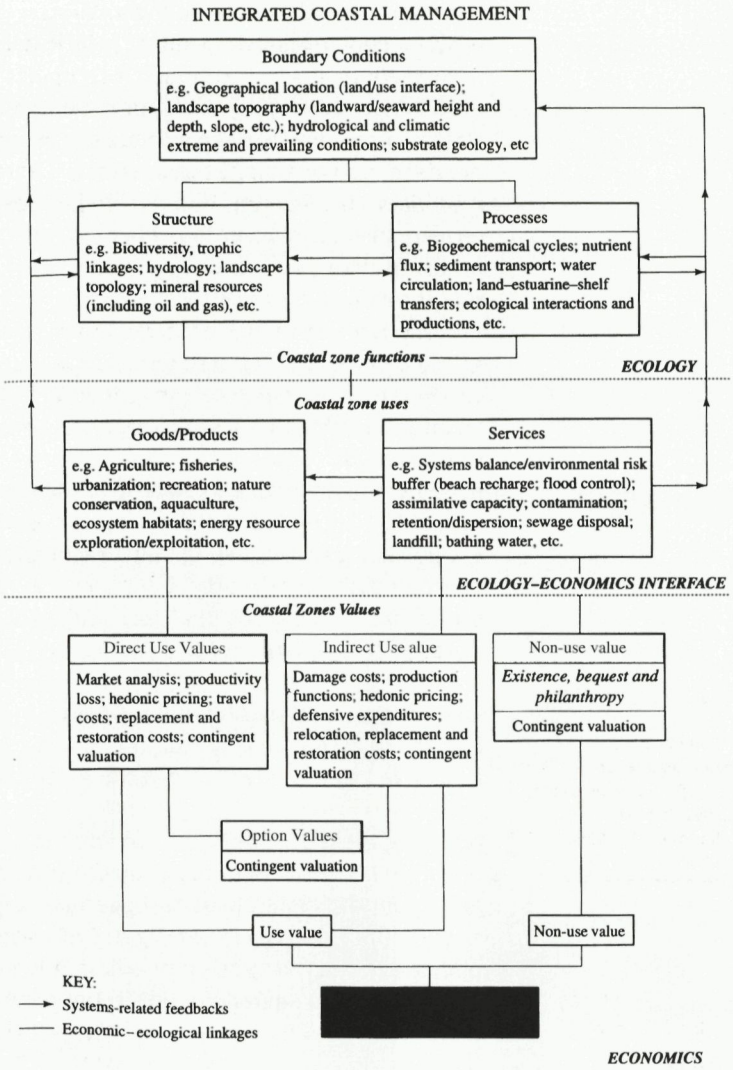
Om de slaagkans van herstelprojecten te vergroten en vanwege budgettaire overwegingen is het vaak noodzakelijk afwegingen te maken ten aanzien van locatie waar herstelprojecten het beste uitgevoerd kunnen worden. Bryant (1998; in Maslen & Hansom, 1999) noemt 10 karakteristieken van potentiële locaties voor estuariene herstelprojecten in Engeland. Sleutelfactoren die van belang zijn voor het functioneren van het gehele estuarium zijn gemarkeerd met een (F). Secundaire factoren (S) zijn vooral van belang voor mogelijke negatieve effecten en tertiaire karakteristieken (T) zijn vooral gekoppeld aan kosten en de huidige functie van de potentiële locatie.

- (F) de locatie moet in een voormalig intergetijdengebied liggen, bij voorkeur hoge slikvlaktes of zoute moerassen.
- (F) eenmaal hersteld dient de locatie deel uit te maken van het huidige estuarium.
- (F) de locatie ligt bij voorkeur in het middentraject van het estuarium, zodat een maximale bijdrage wordt geleverd aan energie-overdracht van getijdegolven en daarmee aan estuariene functionaliteit.
- (F) eenmaal hersteld dient de verbinding van de locatie met het estuarium een dusdanige vorm te hebben dat energie overdracht zo optimaal mogelijk plaatsvindt.
- (F) de hoogte van de locatie is circa 1.5 meter onder GHW-niveau van het estuarium en de hellingshoek naar het estuarium is bij voorkeur klein.
- (S) de locatie moet beschermd zijn.
- (S) om erosie tegen te gaan moet de locatie op een natuurlijke wijze beschermd worden tegen te grote golfaanslag door moerassen of slibvlakten.
- (S) uitvoering van een maatregel mag slechts een gering effect hebben (max. 1%) op het getijdeprisma van het estuarium en de erosie.
- (T) aanleg en uitvoering dienen met een minimum aan graaf- en verdedigingswerk uitgevoerd te worden.
- (T) de locatie ligt bij voorkeur in agrarisch gebied. Locaties in industrieel of bewoond gebied worden als ongewenst beoordeeld.

Het verdient aanbeveling om in de lijn van het bovenstaande ook voor de Nederlandse situatie een beslisboom te ontwikkelen voor de keuze van geschikte locaties voor ecologische herstelmaatregelen.

Naast locatiekeuze speelt ook de integratie en afstemming met andere functies en gebruikers een belangrijke rol. Onderstaand zijn als voorbeeld opgenomen een figuur die multifunctioneel gebruik integreert met ecologie en economie en andere functies en diensten (figuur 5.2) én een voorbeeld van een management plan om tot beslissingen en prioritering te komen van maatregelen (figuur 5.3). Een soortgelijke uitwerking op stroomgebiedniveau voor nederlandse estuaria wordt aanbevolen.

Figuur 5.2
Kustzones, omgevingsfuncties en geassocieerde waarden. Bron: naar Turner et al., 1998 (in Nedwell & Raffaelli, 1999).



Figuur 5.3
Environmental Impact Matrix voor Galveston Bay. Bron: Kennish, 2000.

Sources of Perturbation	Water Quality	Circulation	Sediment	Phytoplankton	Zooplankton	Oysters	Shellfish	Other Benthos	Finfish	Birds	Marine Mammals	Sea Turtles	Human Health	Wetlands	Submerged Plants	Shoreline	Aesthetic Appeal
Northers		**		?	?	*			**	*							
Hurricanes		**	*	?	?	*	*	**		*			?	?	***	***	
Inflow Modification	■	■	*	?	?	■	■	■	■			?		■	**		
Subsidence/Sea Level		**				*	**		*	*				■	■	■	
Shoreline Development	■	*	*	*			**		■	**				■	■	■	***
Dredging	■	■	■	?		■	*	**	■	■	?	?	?	■	■	■	**
Shipping	**		*								?			**		**	
Point Sources	■		■	■	**	■	■	■	■	■	?	?	■	*	■		**
Non-Point Sources	■		■	■	?	■	■	■	■	■	?	?	■	**	■		**
Commercial Fishing	?		?			**	■	■	■		?	?			■		
Recreational Fishing						*	*		■					?	*		
Boating/Marinas	■		■	?	?			**	*					*	*	*	?
Petroleum Activity	■		■	?	?	*	**	**	*	*	?	?	*	**	*		?
Oil/Chemical Spills	■		■	?	?	■	■	?	■	■	?	?	■	■	?		***
Marine Debris									?	*	*	**					■

NOTE: * = Slight influence; ** = Moderate influence; *** = Significant influence; **** = Major influence; ? = Unknown relationship; ■ = Possible management priority

5.4.3 Processen, patronen en schaal

Patronen, processen en schaal zijn termen die gekenmerkt worden door hun wijdverbreid gebruik en ogenschijnlijk onschuldige betekenis vergeleken met termen als verstoring, evolutie en competitie. De onduidelijke definitie van deze termen geeft vaak aanleiding tot misverstanden. Daar men streefbeelden en referentiebeelden op verschillende schaalniveaus kan definiëren, is het gewenst om deze begrippen kort toe te lichten alvorens ze specifiek te maken voor estuariene overgangen. Hier wordt geprobeerd een definitie te geven voor deze termen:

patronen verwijzen eenvoudig gezegd naar een huidige verdeling van iets in de ruimte

processen zijn meer dynamisch en verwijzen naar een serie van acties of gebeurtenissen die resulteren in een patroon. Processen kunnen onafhankelijk van schaal behandeld worden (bijvoorbeeld primaire productie, competitie of kolonisatie) maar beïnvloeden meestal wel patronen op een bepaald schaalniveau. Verder kan bediscussieerd worden of ze dimensieloos zijn of met een niet gedefinieerde dimensie.

schaal (tijd en ruimte) is vaak gedimensioneerd op basis van de grootte van gebeurtenissen zoals bijvoorbeeld de hersteltijd na verstoring. Op organismaal niveau is dit bijvoorbeeld gegeven in tabel 5.4 en kan het worden uitgedrukt in termen als levenscyclus of life-span. Op landschapniveau kun je denken aan een bosbrand of overstroming.

Tabel 5.4
Voorstel van een hiërarchie voor de determinatie van de meetschaal voor geografische, geomorfologische, en biotische dataverzameling en analyse binnen watersystemen. Bron: Imhof et al., 1996.

System level	Linear spatial scale (m)	Areal spatial scale (m^2)	Areal and profile boundaries	Time scale of continuous potential persistence (years)	Time scale of persistence under human disturbance patterns (years)	Biotic assemblage scale	Life activity and scale (variable time)
Watershed	10^5	10^{10}	Drainage divides between tertiary watersheds	10^6-10^5	10^4-10^3	Community species (migratory)	Life cycle (<20 yr)
Subwatershed	10^4	10^8	Drainage boundaries of quaternary watersheds within tertiary drainage basins	10^4-10^3	10^2-10^1	Community/ species	Life cycle 1-8 yr)
Reach	10^4-10^1	10^5	Minimum of two full channel wavelengths, and defined by as a specific stream type based on the Rosgen (1994) classification; active profile boundaries up to 1:20yr flow elevation, passive boundaries to 1:100yr flow elevation	10^2-10^1	10^1-10^0	Species	Life cycle/ life stage (0.1-8 yr)
Site	10^1-10^0	10^2	Channel segment comprising either a riffle or pool, profile including bankside riparian vegetation up to bankfull elevation	10^0	10^0-10^{-1}	Individual	Life stage (0.1-0.4 yr)
Habitat element	10^0-10^{-1}	10^1	Zones of variable substrate types or characteristics, water velocity and depth within either a pool, step or riffle	10^0-10^{-1}	10^{-1}-10^{-2}	Individual	Activity (10^{-3}-0.1 yr)

Meestal wordt er vanuit gegaan dat processen vormend zijn voor patronen. Patronen zijn daardoor afhankelijke variabelen en processen onafhankelijke variabelen. Patronen op hun beurt kunnen weer consequenties hebben voor processen op een hoger schaalniveau. Ter illustratie zijn onderstaand enkele voorbeelden van processen en patronen opgenomen (tabel 5.5). Onderscheid is daarbij gemaakt naar biotisch en abiotisch.

Tabel 5.5
Voorbeelden van patronen en processen, gerangschikt naar biotisch en abiotisch.

Proces	Patroon
Abiotisch	
Hydrodynamiek	Verticale stratificatie
Morfodynamiek	Habitat verdeling
Weer en klimaatsverandering	Rivier continuüm
Nutriënthuishouding	
Sediment transport	
Biotisch	
Habitat selectie	Leefgemeenschap structuur
Natuurlijke selectie	"Life-history" gebeurtenissen
Competitie	Successie reeks
Kolonisatie	Soortdiversiteit
Predatie	

Er is tot op heden te weinig afstemming tussen kleinschalige kortdurende veranderingen (algenbloei) en grootschalige langdurige veranderingen (erosie/sedimentatie). Het is zinvol om bovenstaande tabel uit te werken op basis van typisch estuariene processen en aan te geven welke patronen daaraan gekoppeld zijn.

Processen en tijd

Abiotische processen en de condities die daaruit voortkomen, zijn vaak sterk bepalend voor het systeem dat wordt gevormd. Basale processen in het Nederlandse kustwatersysteem zijn de uitwisselingen van watermassa's via stromingen en getij, het zout- en sedimenttransport en het transport van meegevoerde stoffen. Afhankelijk van de condities krijgen *biotische* subsystemen daarna kansen om zich te manifesteren. Dat leidt tot (eco)systemen, die zich als gevolg van de biotische processen kunnen ontwikkelen tot evenwichtige systemen. In die zin zijn abiotische processen dominant over biotische processen. De abiotische condities vormen dus de randvoorwaarden voor het zich ontwikkelen van biotische processen en daaruit voortkomende systemen. Terugkoppeling van biotisch naar abiotisch komt wel voor, maar het belang hiervan is zeer verschillend en is veelal niet voldoende kwantitatief bekend (Marchand & Baan, 1999). In tabel 5.5 is een voorbeeld van abiotische en biotische processen gegeven. Onderstaande tabel 5.6 geeft een voorbeeld van abiotische processen en biotische processen, gerangschikt naar tijdschaal (uit: Marchand & Baan, 1999).

Tabel 5.6
Overzicht van processen hiërarchisch gerangschikt naar tijdschaal. Bron: Marchand & Baan, 1999.

Tijdschaal (indicatief)	Klimaat en weer (atmosfeer)	Waterbeweging en hydrologie (hydrosfeer)	Morfologie en reliëf (pedosfeer)	Water en bodem-kwaliteit	Planten	Dieren
1-30 dagen	stormen	golven getijden	flocculatie, sedimentatie, erosie, kustafslag, transport	turbiditeit transport van stoffen	groei, bloei en afsterven	groei, reproductie en mortaliteit
1-12 maanden	seizoenen zoutspray	springvloeden	kustprofiel-wijziging	algenbloei transport van	groei, bloei en afsterven	groei, reproductie mortaliteit
1-10 jaren		Noord-Atlantische oscillatie	zandgolven, duinvorming en verstuiving	wijziging trofieniveau	successie en degeneratie begrazing	pop.dynamiek bioaccumulatie
10 - 100 jaren	droge en natte perioden (zonnevlek-cyclus)	wijziging rivier-afvoerregime	sluftervorming	bodemvorming en uitspoeling	successie en degeneratie-kolonisatie (lokaal) uitsterven	voedselweb-structuur, kolonisatie, (lokaal) uitsterven
1 - 10 eeuwen	broeikaseffect	zeespiegel-stijging	deltavorming, kustvorming		evolutie, uitsterven en biogeografische verspreiding	evolutie, uitsterven en biogeografische verspreiding

Patronen en tijd

Het feit dat het herstel van gradiënten vanuit het beleid is aangedragen (zie hoofdstuk beleid), met als belangrijkste resultaat het herstel van ecologische (abiotische en biotische) waarden, heeft ook gevolgen voor de tijd- en ruimte schalen waarop wordt gekeken. In het algemeen wordt een viertal tijdschalen onderscheiden die een rol spelen bij het herstel van natuurlijke processen:

1. eeuwen-millennia
2. decennia-eeuwen
3. jaren-decennia
4. dagen-jaren

Bij de ruimteschaal is een zekere vergelijking mogelijk met de tijdschaal. Beide schalen zijn ook aan elkaar gekoppeld. In ruimtelijke zin kan namelijk onderscheid worden gemaakt in:

1. volledig estuarien watersysteem zoals bijvoorbeeld het Rijn-Maas estuarium. Dit bestaat uit verschillende deelsystemen en beslaat een ruimteschaal in de orde van honderden kilometers.
2. delen van het estuarium zoals bijvoorbeeld Waddenzee of Haringvliet. Deze delen kunnen wel interageren. Ruimteschaal in de orde van vele tientallen kilometers.
3. deelsystemen zoals bijvoorbeeld westelijke Waddenzee, Oosterschelde. Ruimteschaal van hooguit tientallen kilometers.
4. subsystemen binnen een deelsysteem zoals bijvoorbeeld ecotopen.

In tabel 5.7 is een voorbeeld gegeven van de morfologische dynamiek in de Westerschelde gerangschikt naar deze tijdschalen (Stive et al., 1998).

Tabel 5.7
Overzicht van morfologische dynamiek van de Westerschelde gerangschikt naar schaalniveau. Bron: Stive et al., 1998.

Schaalniveau	Omschrijving	Externe forcering	Tijdschaal
mega-schaal	hele estuarium of van de grootste compartimenten ervan	zeespiegelstijging, continue zandwinning	eeuwen
macro-schaal	veranderingen op het niveau van hoofd- en nevengeulen	verdiepingen, onderhoudsbagger- werk storten van baggerspecie, 18,6 jarige cyclus van getij, enz.	decennia
meso-schaal	veranderingen zoals het ontstaan, migreren en verdwijnen van kort-sluitgeulen, sedimenttransport over de platen, plaat-geul uitwisseling van sediment	extreme condities, getijbeweging, baggeren, storten en zandwinning	jaren
micro-schaal	veranderingen op het niveau van beddingvormen, zoals megaribbels	getijbeweging	dagen

Aangezien het accent bij deze verkenning ligt bij de ecologische aspecten van estuariene gradiënten is het vanzelfsprekend dat het schaal en tijdsniveau waarop deze ecosystemen functioneren voorop staan. Als tijdschaal ligt het daarom voor de hand om uit te gaan van processen met een responstijd vanaf enkele jaren tot enige tientallen jaren, maximaal een eeuw.

Estuariene soorten, ecotopen en tijdschaal
Op organismaal niveau is het herstelvermogen en daarmee de veerkracht vrij goed te definiëren wanneer wordt uitgegaan van het streven om zichzelf in stand te houden. Dit kan uitgedrukt worden in zogenaamde voortplantingsstrategieën of bijvoorbeeld als regeneratietijd (life-span). Onderstaand hiervan voorbeelden.

Wat overlevingsstrategie betreft kunnen we onderscheid maken tussen zogenaamde r- en k-strategen. De r-strategen zijn meestal weinig gespecialiseerde organismen, die aangepast zijn aan instabiele milieus, waarin extreme situaties voorkomen en waar de populatie exponentieel kan groeien, zonder een draagkrachtplafond te bereiken. De k-strategen daarentegen, zijn gespecialiseerde organismen, die zich in een stabiel en sterk concurrerend milieu kunnen handhaven en waarvan de populatiegroei geremd wordt door de draagkracht van de omgeving. Verder worden k-strategen ouder dan r-strategen.

- r-strategen doen het goed in dynamische milieus als estuariene overgangen, waarbij sprake is van frequente verstoringen met vaak grote gevolgen voor de populatie-omvang. Als gevolg daarvan bereiken r-strategen nooit de maximale dichtheid. Ze investeren in veel nakomelingen en herstellen daardoor snel.

- k-strategen komen vooral voor in rustige milieus met minder verstoring. Daardoor krijgen ze de tijd om de maximale populatiedichtheid te bereiken, ook al hebben ze relatief weinig nakomelingen.

Een uitzondering op bovenstaande zijn bijvoorbeeld vogels van zeemilieus (dynamisch), maar die toch duidelijk k-strategen zijn vanwege de schaal van hun leefgebied; het leefgebied is namelijk zo groot dat het in tijd en ruimte toch voldoende stabiel is.

Ook op het niveau van ecotopen kunnen we een onderscheid maken in overlevingsstrategieën. Voor veel ecotooptypen langs de kust en in estuaria geldt dat zij vooral worden gestuurd door abiotische, (geo-)morfologische processen. De hierin voorkomende soorten kenmerken zich veelal door een r-strategie. Deze ecotopen hebben in het algemeen een relatief korte ontwikkelingstijd en levensduur. Zij worden ofwel steeds in hun ontwikkeling teruggeworpen, of evolueren via successie tot een meer stabiele (en uiteindelijk climax) situatie. Een voorbeeld van het eerste is de levensgemeenschap op een intergetijdenplaat, die na iedere winter opnieuw tot ontwikkeling komt en weer afsterft door een nieuwe (koude) winter of een voorjaarsstorm. De verschillen in soortsamenstelling kunnen van jaar tot jaar groot zijn.

Voor ieder ecotooptype is een zekere ontwikkelingstijd en ruimtelijk areaal nodig. Binnen deze tijd- en ruimteschaal kunnen dominante processen worden geïdentificeerd die het ecotooptype doen ontstaan c.q. in stand houden. Kleine variaties in deze processen zullen in het algemeen geen grote gevolgen hebben. Deze kunnen relatief eenvoudig worden opgevangen door het systeem. Men zou derhalve kunnen stellen dat een ecotooptype veerkrachtig is ten aanzien van verstoringen die een orde van grootte kleiner zijn dan de dominante processen die het ecotooptype in stand houden.

Onderstaande tabel geeft voorbeelden van ontwikkelingstijd en minimale oppervlakten van enkele ecotooptypen in duinen.

Tabel 5.8
Ontwikkelingstijden, minimale arealen en dominante processen voor enkele ecotooptypen in duinen. Bron: Oppers, 1996.

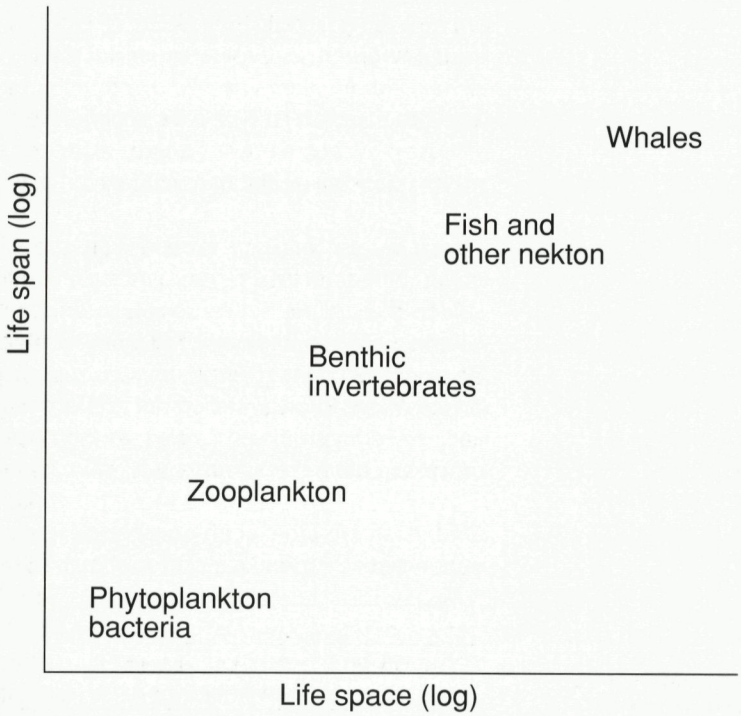
Ecotooptype	**Ontwikkelings -tijd**	**minimum oppervlak**	**dominante processen**
strand, evt. met embryoduinen	5 - 15 jaar	75 - 125 ha	golven, getijde, zandaanvoer, wind
dynamische duinen	50-100 jaar	100-500 ha	zandaanvoer, wind, zoutspray, kustafslag, vegetatie-ontwikkeling
kwelder	> 10 jaar	30 - 50 ha	slibaanvoer, getijde, golven, vegetatie ontwikkeling
slufter/groen strand	> 30 jaar	150-250 ha	kustlijnverschuivingen, zeestromingen, zeespiegelstijging, verhouding getijprisma en langstransport
primaire duinvallei	20 - 50 jaar	30 - 50 ha	verzoeting (grondwater)
secundaire duinvallei	> 50 jaar	5 - 10 ha	uitstuiving tot grondwaterniveau
duinmeer	50 - 100 jaar	0.5 - 5 ha	uitstuiving, verhoging grondwater door duinverbreding
duingrasland	>20 jaar	1 -5 ha	successie, bodemvorming, begrazing
duinstruweel	>30 jaar	1 -5 ha	successie, bodemvorming, begrazing
duinbos	>40 jaar	1 -5 ha	successie, bodemvorming
duinheide	>150 jaar	1 - 5 ha	successie, bodemvorming, begrazing
duinrel (duinbeek)		0.5 - 1.5 ha	grondwaterstroming

In Oppers (1996) zijn deze benodigde ontwikkelingstijden en minimale oppervlakten voor het herstel van kust ecotopen uitvoerig gepresenteerd.

Het verdient aanbeveling voor gewenste ecotopen binnen het herstel van zoet-zout overgangen een dergelijke analyse van minimale grootte en noodzakelijk ontwikkelingstijden uit te voeren.

De snelheid waarmee organismen zich kunnen voortplanten biedt een andere mogelijkheid om naar tijdsaspecten van herstelprocessen te kijken. Algen zullen door hun snelle regeneratievermogen zich eerder aanpassen na een verstoring dan bijvoorbeeld zoogdieren. In figuur 5.4 is daarvan een voorbeeld gegeven.

Figuur 5.4
De distributie van een aantal aquatische organismen in relatie tot de levensduur en de ruimte waarin het leven zich afspeelt.



Ruimtelijke en temporele variatie als gevolg van natuurlijke factoren (licht, temperatuur, nutriënten, en endogene biologische factoren als genetische variatie) dienen bij voorkeur in bandbreedtes/klassen beschreven te worden in plaats van in één waarde. Door deze variabiliteit te gebruiken bij de beschrijving is een andere dan de gebruikelijke kijk op ecosystemen noodzakelijk. Bijvoorbeeld, op welke schaal moeten de beschrijvingen plaatsvinden?

Veerkracht en stabiliteit

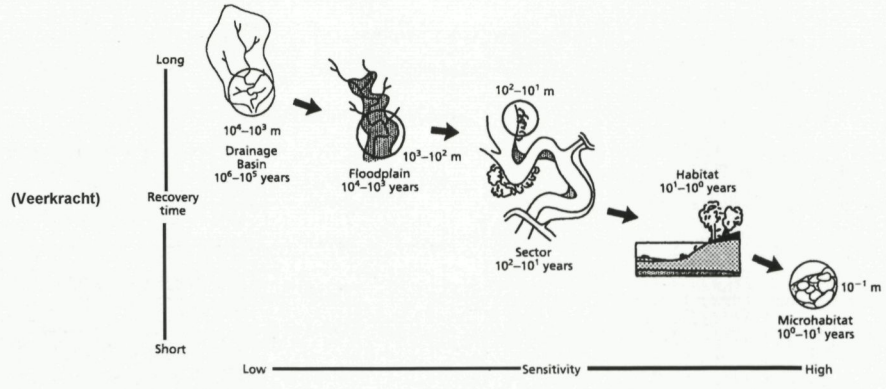
De voorgaande traditionele benadering van het functioneren van ecosystemen (door processen en patronen te schetsen en de tijdschaal waarop deze spelen) doet tekort aan twee aspecten. Enerzijds wordt geen aandacht geschonken aan de 'elementen' waaruit het ecosysteem is opgebouwd, de organismen en hun individuele flexibiliteit. Anderzijds wordt het belang van de processen en mechanismen die verantwoordelijk zijn voor de wijze waarop een ecosysteem reageert op verstoringen of aanpassingen (stabiliteit en veerkracht) niet onderkend. Een gedetailleerde beschrijving van soorten valt buiten het kader van deze studie. Inzicht in de wijze waarop estuaria reageren op veranderingen

(al dan niet gewenst) is wel van belang voor het inschatten van kansen en herstelmogelijkheden en het ontwikkelen van een beoordelingssysteem.

Estuaria zijn dynamische systemen met grote ruimtelijke en temporele schommelingen als gevolg van seizoensgebonden, jaarlijkse en historische veranderingen. Ondanks de grote mate van dynamiek op de korte termijn vertonen estuaria ook een zekere mate van stabiliteit op de langere termijn. Dit geldt met name voor grootschalige lange termijn patronen die te zien zijn in bijvoorbeeld sedimenttypen en hun bijbehorende biota die bepaald worden door abiotische factoren en biotische interacties (Dittmann, 1999). In een grootschalige studie van de Waddenzee (Dittmann, 1999) wordt daarom aandacht gevraagd voor deze zogenaamde stabiliserende factoren.

Citaat Dittmann (1999) pg242:
Pogingen om de abiotische stabiliteit van de Waddenzee te beschrijven gaven vrijwel altijd hetzelfde beeld te zien: Op de korte termijn (een paar dagen tot een jaar) en in kleine gebieden - een lage "constancy" (of hoge onvoorspelbaarheid); op een gemiddelde tijd schaal (jaren tot enkele tientallen jaren) en grote gebieden - "constancy"; en op een grote tijdschaal (enkele tientallen jaren tot eeuwen) en voor de volledige Waddenzee – langzame en constante geleidelijke veranderingen, die echter, onder natuurlijke omstandigheden niet "the persistence" van de Waddenzee veranderen, dat wil zeggen de essentiële eigenschappen van een landschap dat in al zijn aspecten gevormd en bepaald is door getijdenwerking. Getijden vormen niet alleen het landschap maar zijn ook verantwoordelijk voor de stabiliserende eigenschappen van drie sleutel ingrediënten van de Waddenzee: het bestaan van getijdenvlaktes (als samenspel tussen getijden, zeespiegelstijging en kustmorfologie), de karakteristieke morfologie van de Waddenzee en het bestaan van een veerkrachtige zuurstofrijke laag boven het sediment.

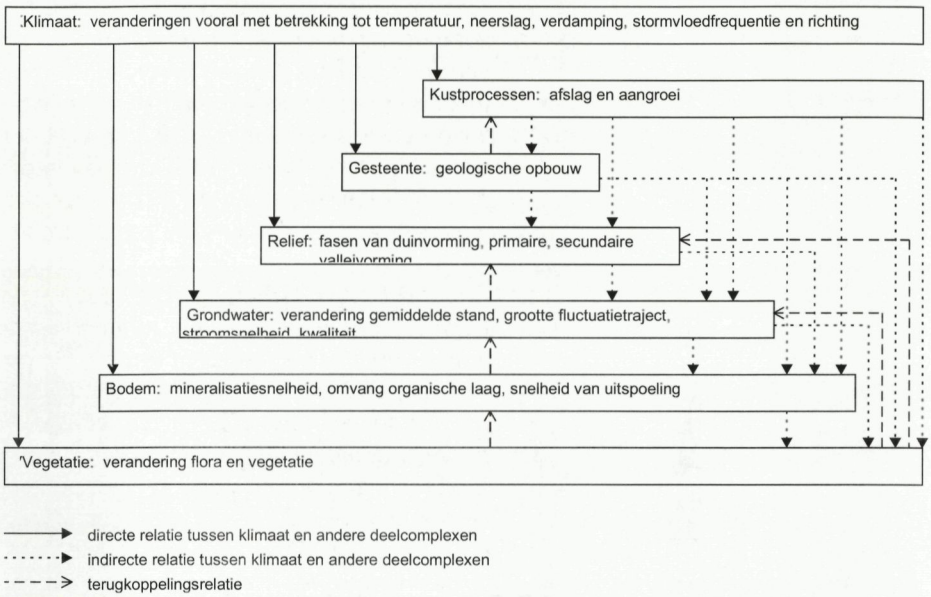
Het begrip veerkracht, dat ook in NW4+ wordt gebruikt, is één van die stabiliserende factoren en wordt vaak gebruikt om een ideale min of meer stabiele toestand van het estuarium te beschrijven. Knaapen et al. (1999) menen zelfs dat veerkracht (meer dan de andere concepten als duurzaamheid, diversiteit en natuurlijkheid) het accent legt op de ontplooiingsmogelijkheden van de natuur in een situatie waar mensen de dienst uitmaken. Bij uitstek dus een concept om ook voor estuaria verder te ontwikkelen. Figuur 5.5 illustreert het verband tussen de snelheid van processen (en daarmee de veerkracht ervan) en de ruimtelijke schaal waarop ze spelen.



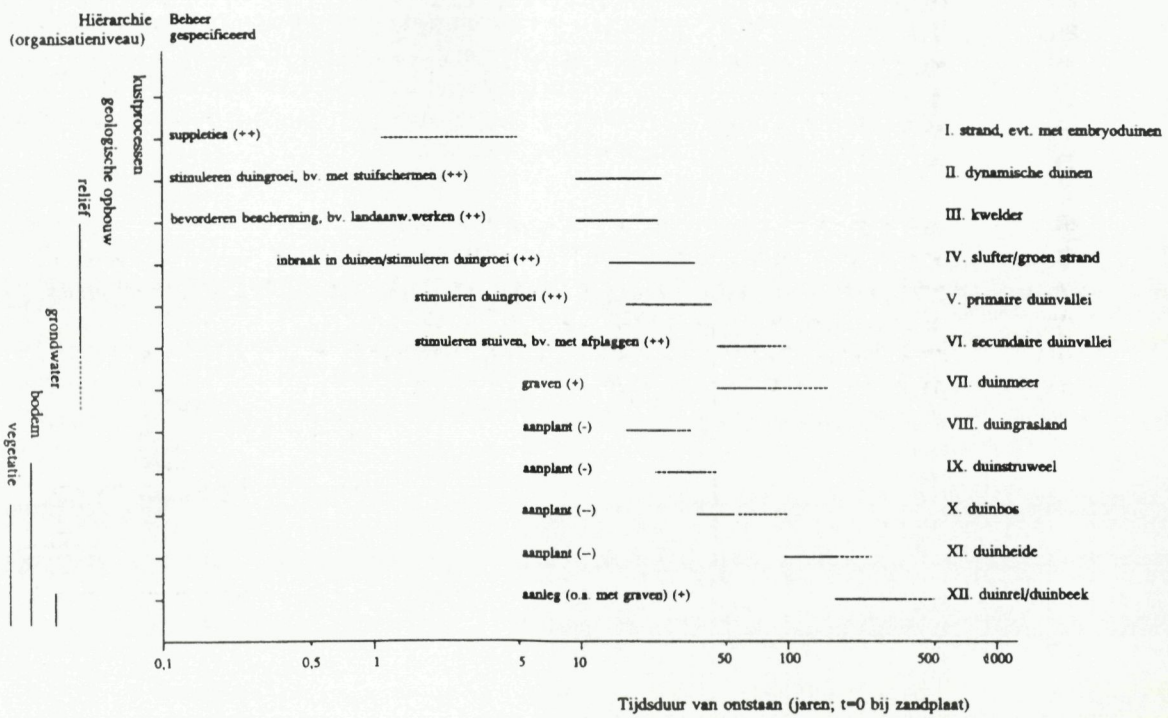
Figuur 5.5
Illustratie van het verband tussen de snelheid van processen (en daarmee de veerkracht ervan) en de ruimtelijke schaal waarop ze spelen. Bron: naar Frisell et al., 1986.

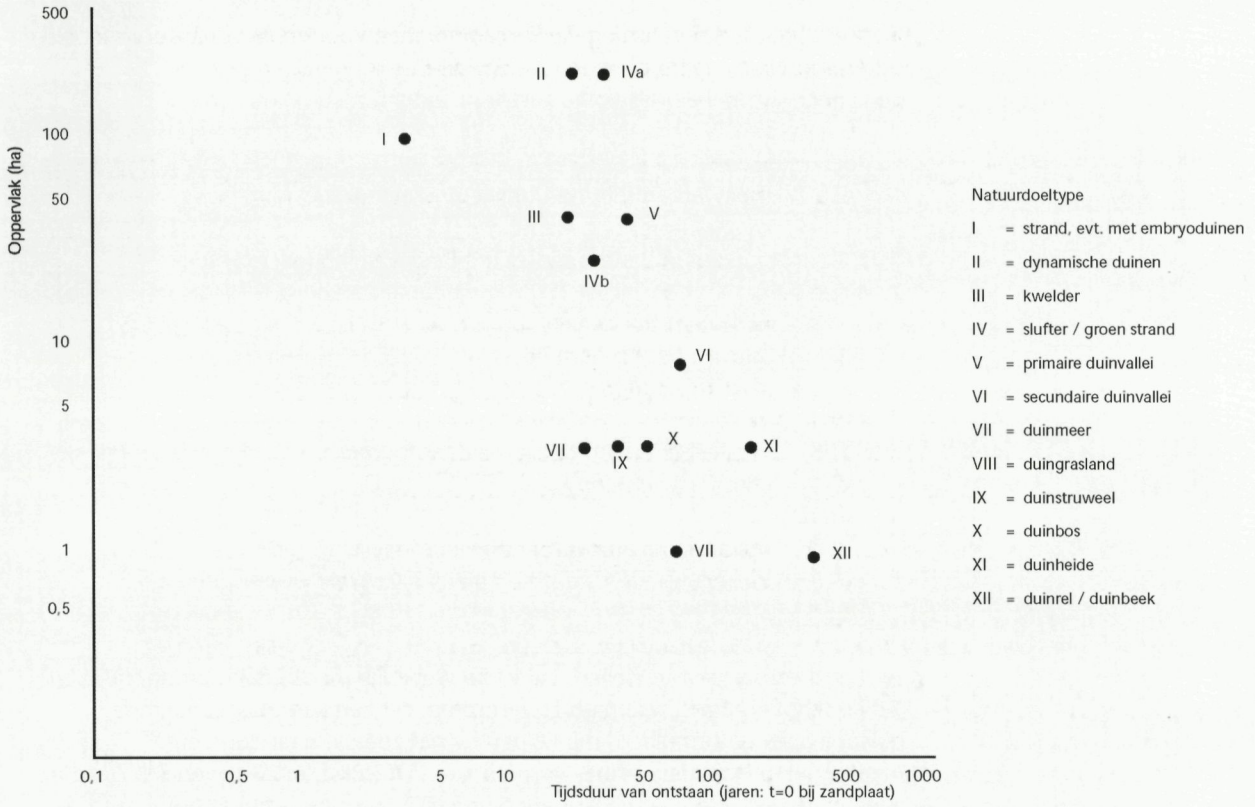
Ook de figuren 5.6 en 5.7 geven overzichten van de afhankelijkheid van ruimtelijke en temporele aspecten en het schaalniveau.

Figuur 5.6
Belangrijkste relaties tussen organisatieniveaus, uitgaande van het niveau klimaat. Bron: Oppers, 1996.



Figuur 5.7
Relatie tussen tijdsduur van ontstaan van natuurdoeltypen in nieuw land langs de Nederlandse kust en minimum benodigd oppervlak van natuurdoeltypen (gemiddelde waarden). De hiërarchie neemt in de figuur zowel naar boven als naar links toe. Bron: Oppers, 1996.





Onderstaand zijn de diverse stabiliteit bepalende aspecten volgens Dittmann (1999) en Grimm & Wissel (1997) bijeen gezet en toegelicht:

- Constantheid (Constancy): blijft in essentie ongewijzigd
- Weerstand (Resistance): blijft in essentie ongewijzigd ondanks de aanwezigheid van een verstorende factor
- Veerkracht (Resilience): keert terug naar de referentietoestand (dynamiek) na een tijdelijke verstoring
- Elasticiteit (Elasticity): de snelheid van herstel naar de referentietoestand (dynamiek) na een tijdelijke verstoring
- Persistentie (Persistence): de mate waarin een ecologisch systeem in zijn toestand volhardt

Remmelzwaal & Vroon (2000) definiëren veerkracht van ecosystemen als het vermogen van systemen, of onderdelen daarvan, om zodanig te reageren op veranderende omstandigheden of verstoringen dat de essentiële kenmerken hersteld worden. Volgens hen zijn er in de natuur vier strategieën te onderscheiden waarmee organismen, populaties of ecosystemen zich weten te handhaven bij het optreden van verstoringen.

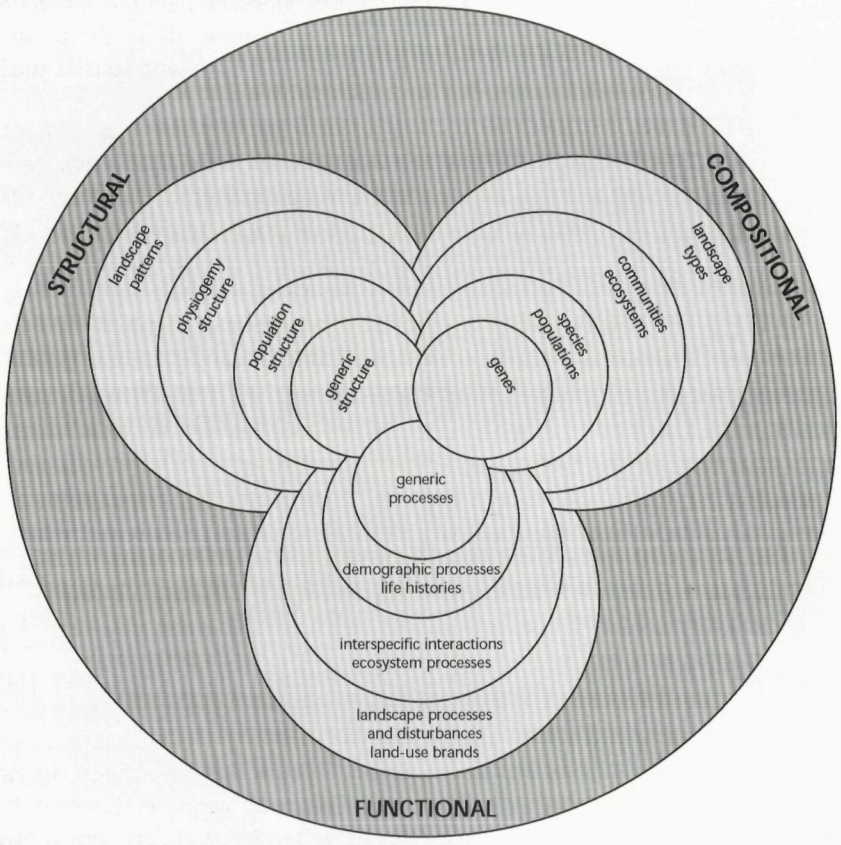
Deze vier strategieën komen vaak in combinatie voor en zijn daardoor niet altijd scherp uit elkaar te houden. Remmelzwaal & Vroon vatten deze strategieën voor het waterbeheer als volgt samen in statements:

1. Veerkracht
    - meewerken met natuurlijke processen
    - omgaan met onzekerheid
    - denken in bandbreedtes in plaats van strakke normen
2. Weerstand
    - het water beheersen
    - streven naar zekerheid
    - strakke normen
3. Isolatie (vermijding)
    - verstoring buiten deelgebieden houden
    - compartimentering
4. Buffering
    - opvang van kortdurende verstoringen
    - buffergebieden staan ten dienste van een groter gebied

Als handvat om vast te stellen wat er nu werkelijk moet gebeuren om de veerkracht van watersystemen te vergroten zijn een aantal zogenaamde gidsprincipes geformuleerd die helpen bij het zoeken naar concrete maatregelen. De gidsprincipes vormen geen checklist, maar geven zoekrichtingen aan. De oplossingen kunnen gezocht worden in het vergroten van de veerkracht van watersystemen zelf en in aanpassingen van de mensen die de systemen gebruiken. De gidsprincipes in trefwoorden:
Veerkracht van watersystemen
- natuurlijke dynamiek
- ruimte
- netwerken
- differentiatie
- gradiënten

Aanpassen van mensen
- waterbewustzijn
- geen afwenteling van problemen
- prioriteiten in functietoekenning
- ruimte in functie-eisen
- inrichting naar natuurlijke karakteristieken
- draagkracht normstellend

Biodiversiteit
Het begrip biodiversiteit wordt vaak te beperkt vertaald naar het aantal soorten. In de lijn van het biodiversiteitsverdrag omvat het echter meer zoals de diversiteit van habitats en genetisch materiaal. In figuur 5.8 is aangegeven hoe biodiversiteit vertaald kan worden naar patronen, processen en functies op verschillende schaal niveaus.



Figuur 5.8
De drie fundamentele kenmerken van biodiversiteit voor een variatie aan organisatorische niveaus, lopend van genen tot landschappen. Voorbeelden van verscheidene elementen voor deze kenmerken zijn gegeven. Bron: naar Noss, 1990 (in Framstad, 2000).

5.4.4 Parameters voor de beschrijving en beoordeling van estuaria

In voorgaande is aangegeven dat de beschrijving (hoofdstuk 2 en 3) en de beoordeling (hoofdstuk 4 en 5) van het functioneren van estuaria op verschillende wijzen kan plaatsvinden.

Uit een eerste inventarisatie van de toetsingskaders (paragraaf 5.2) blijken vanuit het natuurbeleid: natuurlijkheid, bruikbaarheid, biodiversiteit en compleetheid en vanuit het waterbeleid: gezondheid, stabiliteit, veerkracht en duurzaamheid belangrijke toetsingscriteria te zijn voor de ecologie. Ook Vroon et al. (1997) noemen hiërarchie (processen op een bepaalde tijd en ruimte schaal), stabiliteit (interne zelfregulatie en evenwicht), dispersie van ruimtelijke patronen en successie (ontwikkelingsproces dat leidt tot verhoogde stabiliteit en interacties tussen systeem componenten) als belangrijke aspecten om veranderingen in estuaria te begrijpen. Voor de evaluatie van gebruiksfuncties en economische en landschappelijke waarden worden weer andere criteria gebruikt.

Saeijs (1982) bepaalde de doelen, beoordelingscriteria en standaards of limiterende omgevingsfactoren voor estuaria aan de hand van de volgende karakteristieken:

1. *Vorm en compositie*. Dit omvat naast morfologische karakteristieken en dimensies ook het voorkomen en de afmetingen van karakteristieke ruimtelijke eenheden (ecotopen, habitats) als kanalen, ondiepten, intergetijden-zones en zoute moerassen. Maar ook het aantal en de oppervlakten van zoete en zoute in- en uitlaten.

2. *Saliniteit*. Belangrijke factoren zijn de verdeling van zoet en zout water in ruimte en tijd (o.a. lengte en dynamiek van de zoet-zout gradiënt), de mate van menging, de mate van stratificatie en andere specifieke ruimte- en tijdgebonden variabelen.
3. *Getijde-invloed*. Uitgedrukt in getijde amplitude en stroomsnelheden.
4. *Materiaal transport* (zonder zout). Betreft sediment-, nutriënt-, organische stof huishouding (import, export, vastlegging, opname, menging, beschikbaarheid) met inachtneming van zowel de import en export vanuit zee, rivier en land als de relatie met fysische en chemische factoren.
5. *Sediment profiel en sedimentcompositie*. Met inachtneming van de mogelijkheden voor metabolisme, vestiging van organismen, effecten van visserij en baggeren. Ook standaards voor zware metalen, organische- en andere toxische microverontreinigingen.
6. *Energie status*. Betreft zaken als licht absorptie, verticale en horizontale getijde beweging, stroming en turbulentie door rivierafvoer en wind, en de import en export van warmte en energie in de vorm van detritus en organismaal materiaal.
7. *Productie karakteristiek*. De biologische productie (primair en secundair) op de verschillende trofische niveaus en het belang van deze productiviteit voor specifieke estuariene functies als kraamkamer voor vissen en schaaldieren en overwintering van vogels.
8. *Diversiteit*. Diversiteit kan uitgedrukt worden op soortsniveau als het aantal soorten en de mate van compleetheid, maar ook op ecotoopniveau.

In paragraaf 5.2 is reeds aanbevolen om de begrippen die gebruikt worden voor de beschrijving en de beoordeling van het functioneren van estuaria, evenals voor de evaluatie van veranderingen in estuaria, te operationaliseren. Dit kan het beste gedaan worden aan de hand van parameters die tevens gebonden zijn aan de in paragraaf 5.2 genoemde hiërarchische indeling van processen, patronen en soorten. Een volledig uitwerking hiervan voert te ver voor deze studie. Voorgesteld wordt dit in het vervolgtraject op te pakken.

Onderstaand is een eerste overzicht gegeven van de parameters en indexen die tot op heden genoemd zijn in dit rapport of andere rapporten (Cadeé, 1994; Vroon et al., 1997: workshop gradiënten; Dyer, 1997) (zie ook tabel 5.9). Bij de uiteindelijke keuze, ontwikkeling en toepassing van parameters gelden, naast de wenselijkheid om een parameter op te nemen, ook andere criteria om een parameter te selecteren zoals:

- karakteriserend en onderscheidend vermogen
- kwantificeerbaar, reproduceerbaar en standaardiseerbaar zijn
- ecologisch en beleidsrelevant
- stuurbaarheid door beheersbaar zijn
- gevoelig, eenduidig en betrouwbaar zijn
- de beschikbaarheid en volledigheid van data
- verschillen in meetintensiteit en meetmethode bij het verzamelen van de data van met name biologische parameters
- de lengte of oppervlakte van het ecologisch waardevolle zoetwatergetijdengebied
- het indelen van estuaria in zones aan de hand van zoutgradiënt
- de toepasbaarheid van indices en formules uit bestaande modellen

Tabel 5.9
Variabelen in een estuarium met bijbehorende parameters. De parameters zijn onderscheiden naar areaal waarop het betrekking heeft (globaal vs. lokaal).

VARIABELEN	PARAMETERS	DIMENSIE	GLOBAAL	LOKAAL
PROCESSEN				
fysische variabelen				
getij	getijvolume (V)	m^3	x	
	getijverschil (= -slag, = -amplitude)	M		x
	getijstroomsnelheid (u) (gemiddelde van eb en vloed stroomsnelheid)	m/s		x
	getijdeduur (eb+vloed) (T)	Uur	x	
	getijdeprisma (**P**)	m^3	x	
	getijkromme (vorm, snelheid verloop)		x	
rivierafvoer	rivierafvoer (hoogste-laagste waarden, of gem. per seizoen of jaar)	m^3/s	x	
	rivierafvoer (Q)	m^3/getijde (12,5 uur)	x	
	stroomsnelheid	m/s		x
	oppervlakte stroomgebied	km^2	x	
waterkolom	estuariumvolume	10^6 m^3	x	
	estuariumlengte (van monding tot getij-invloed op de rivier)	km	x	
	oppervlak	m^2		x
diepte	gem. waterdiepte (= estuariumvolume/opp.)	m	x	
	lokale waterdiepte	m		x
licht	extinctiecoëfficiënt (Kd)	m^{-1}		x
	lichtklimaat			x
	troebelheidsmaximum omvang; ligging			x
temperatuur	temperatuur water	°C		x
	temp. bodem of opp.	°C		x
bodem	samenstelling	% zand, slib, lutum		x
	korrelgrootte	um		x
	POC-gehalte	% of g C/m^2		x
	ruwheid	Ds (dissipatiefactor)		x
ijsgang			x	

VARIABELEN	PARAMETERS	DIMENSIE	GLOBAAL	LOKAAL
Chemische variabelen				
saliniteit	zoutgehalte	‰ S, mg Cl^-/l		x
	lengte, opp. horizontale zoutgradiënt (min,max, per zone)	km, km^2		x
	mate van stratificatie (vertikale zoutgradiënt)	.....		X
nutriënten	N, P, Si	mol/l		x
	seston (zwevend materiaal), POC	mg/l		x
	verblijftijd nutriënten	dgn	x	
	vrachten nutriënten uit rivier	ton/jr		x
zuurstof	zuurstof	mg/l, % verzadiging		x
	kans op zuurstoftekort	n keer/jaar	x	
PATRONEN				
Ruimtelijke eenheden				
	opp. intergetijdengebied	m^2, % van totaal	x	
	opp. schelpdierbanken	m^2, % van totaal	x	
	opp. zeegras	m^2, % van totaal	x	
	opp. macrowieren	m^2, % van totaal	x	
	opp. zoute moerassen	m^2, % van totaal	x	
	opp. hard substraat	m^2, % van totaal	x	
	opp estuariene ecotopen		x	
	aantal estuariene ecotopen (zoals bijv. kwelder, schorren, intergetijden, brakwaterareaal....)		x	
SOORTEN				
Biologische variabelen				
	fytoplankton soorten	n soorten		x
	,, biomassa	mg Chl-a/m^3		x
	fytobenthos soorten	n soorten		x
	,, biomassa	g Chl-a/m^2		x
	macroalgen soorten	n soorten		x
	,, abundantie	n / soort		x
	hogere planten soorten	n soorten		x
	,, abundantie	n / soort		x
	zooplankton soorten	n soorten		x
	,, biomassa	g C/m^3		x
	zoobenthos soorten	n soorten		x
	,, biomassa	g C/m^2 of g AFDW/m^2		x
	vissoorten	n soorten, n/soort		x
	vogelsoorten	n soorten, n/soort		x
	zoogdiersoorten	n soorten, n/soort	x	
Productie	primaire productie (pelagisch, bentisch)	g C/m^2.jaar		x
	secundaire productie (pelagisch, bentisch)	g C/m^2.jaar		x
	detritus (POM)	g C/m^2 of mg/l		x

VARABELEN	PARAMETERS	DIMENSIE	GLOBAAL	LOKAAL
OVERIGE VARIABELEN				
Antropogene variabelen				
	inpoldering	ha, % ingepolderd opp.	x	
	baggeromvang	10^6 m³/jaar		x
	urbanisatiegraad	n inwoners/km²	x	
	scheepvaart	n schepen/jaar	x	
	havenakt. (overslag)	n 10^6 ton/jaar		x
	visserij	n ton/jaar	x	
	recreatie	n overnachtingen/jaar	x	
	vervuiling/lozing	ug zware metalen of contaminanten/kg sediment of zwevend stof		x
	overgebleven gebied na inpoldering	ha	x	
	relatie baggerwerk en geuloppervlak			x
Economische variabelen				
	visserijopbrengst		x	
	recreatie		x	
Landschappelijke variabelen				
	landsch. karakteristiek		x	
	aardkundige waarde		x	
	cultuurhistorie		x	
	beleving			x
	verstoring			x
Samengestelde variabelen of indexen				
	estuariumgetal (N)		x	
	estuariumgetal (Ne)		x	
	verblijftijd zoetwater	dgn	x	
	verblijftijd (flushing time)	dgn	x	
	oppervlakteverhouding stroomgebied en estuarium		x	
	relatie opp. stroomgebied met silicaatconcentratie estuarium		x	
	stromingsratio (P)			x
	stratificatie-parameter			x
	circulatie-parameter			x
	Froude-getal (F)		x	
	Estuariene Richardson-getal (Ri_e)		x	
	Reynolds-getal (Re)		x	
	verversingsgraad (flushing rate)		x	

Naast de bovengenoemde enkelvoudige parameters is ook een aantal **samengestelde parameters** opgenomen, zoals beschreven door Cadeé (1994) en Dyer (1997). Deze samengestelde parameters behoeven wat meer uitleg. Wanneer samengestelde parameters worden gebruikt voor bijvoorbeeld het vergelijken van estuaria, is het van het grootste belang dat alle parameters op dezelfde wijze gemeten zijn en dat plaats (waar in het estuarium) en tijdstip (hoog- of laagwater, spring- of doodtij), enz. zoveel mogelijk hetzelfde zijn. Een volledige beschrijving van deze parameters valt buiten het kader van deze studie maar verdient zeker aandacht in het vervolgtraject.

Hieronder wordt een eerste, korte karakteristiek van een aantal voorbeelden van samengestelde parameters gegeven.

Estuariumgetal (N) (Cadeé, 1994): geeft de verhouding weer tussen zee- en rivier-invloed in een estuarium, door de rivierafvoer (Q) per getijcyclus (T) te delen door het getijvolume (V): $\mathbf{N = Q \cdot T / V}$
Q = gem. debiet van een rivier in m^3/s
T = gem. getijperiode (12,5 uur = 45.000 s)
V = gem. getijvolume (eb- + vloed volume) in m^3
Het eindgetal wordt vaak met 100 vermenigvuldigd om het percentage rivier-invloed ten opzichte van de zee-invloed te krijgen. N > 1% geeft een grote rivier-invloed aan; N < 1% geeft een grote zee-invloed weer. De waarde van N wordt gezien als een goede indicator voor het verloop van de saliniteitsgradiënt, en als gevolg daarvan, de ecologische ontwikkeling van een estuarium, hoewel het niets zegt over de zoutconcentratie en de zoutsamenstelling van het water (Van der Molen, 2000) .

Estuariumgetal (N_e) (Dyer, 1997): wordt berekend door het getijdeprisma (**P**; volume van het water dat tussen hoog- en laagwater binnen het estuarium aanwezig is), vermenigvuldigd met het kwadraat van het densimetrische Froude-getal (F_m, zie beneden) te delen door de vermenigvuldiging van de getijdeperiode (T) en de rivierafvoer (R): $\mathbf{N_e = PF_m^2 / TR}$
Bij waarden $N_e > 0.1$ is het water van het estuarium goed gemengd, bij waarden $N_e < 0.1$ is er sprake van gelaagdheid in het water.

Verblijftijd zoetwater (in dagen): estuariumvolume (m^3) gedeeld door het debiet van de rivier (m^3/s). De verblijftijd wordt berekend met een gemiddeld, minimum en maximum debiet. Met een meer ingewikkelde berekening kan rekening worden gehouden met de invloed van het getij.

Verblijftijd (T) (Dyer, 1997): de benodigde tijd om het zoetwater in een estuarium te vervangen bij een snelheid gelijk aan de rivierafvoer. De tijd wordt berekend door de totale hoeveelheid geaccumuleerde rivierwater dat in het gehele estuarium of een gedeelte ervan aanwezig is (V_f) te delen door het debiet (R): $\mathbf{T = V_f / R}$. Deze samengestelde parameter kan op verschillende andere wijzen berekend worden, waarbij rekening gehouden wordt met onder andere de saliniteit en het getijdeprisma.

Oppervlakteverhouding tussen stroomgebied en estuarium: oppervlak van het estuarium, gedeeld door het oppervlak van het stroomgebied, maal 100. Een percentage < 1% geeft een klein estuarium aan; > 1% geeft aan dat het om een groot estuarium gaat.

Lichtklimaat: extinctie x gemiddelde diepte. Deze parameter moet per zone berekend worden.

Verblijftijd van nutriënten: concentratie in x volume estuarium gedeeld door concentratie in x debiet rivier. In vergelijking met de verblijftijd van het zoete water kan de verblijftijd van een nutriënt conservatief zijn (dwz de verblijftijden zijn gelijk), importerend (bij kortere verblijftijd) en exporterend (bij langere verblijftijd).

Vrachten van nutriënten uit de rivier: max. (winter)concentraties bij gemiddelde rivierafvoer, in mol/s.

Relatie oppervlak stroomgebied met silicaat concentratie van het estuarium: siliciumconcentratie (mmol/m^3) gedeeld door oppervlakte stroomgebied (km^2). Wanneer silicium overal even snel verweert en de aard van het gesteente hetzelfde is, is er een relatie tussen een hoog siliciumgehalte en een groot stroomgebied.

Overgebleven gebied na inpoldering: huidige oppervlak van een estuarium, gedeeld door dat oppervlak + het ingepolderde oppervlak. Dit geeft het percentage gebied weer, dat nog over is sinds de inpolderingen.

Relatie baggerwerk en geuloppervlak: gebaggerde hoeveelheid (in ton/jaar) gedeeld door het oppervlak van de geulen in het estuarium.

Stromingsratio (P): de rivierafvoer per getijdecyclus gedeeld door het getijdeprisma.

Stratificatie-parameter: het verschil in saliniteit van het water aan het oppervlak en de bodem, gedeeld door de gemiddelde saliniteit van de waterkolom of de gemiddelde saliniteit over het oppervlak van de lokale dwarsdoorsnede door het estuarium.

Circulatie-parameter: verhouding van de netto oppervlaktestroming tot de gemiddelde stroming van de waterkolom of de gemiddelde stroming over het oppervlak van de lokale dwarsdoorsnede door het estuarium.

Froude-getal (F): dimensieloos getal dat de snelheid van de rivierstroom vergelijkt met de snelheid waarmee het oppervlak van een lange golf zich voortbeweegt. Er worden verschillende Froude-getallen onderscheiden, binnen dit kader worden er enkele uitgelicht.

- **Densimetrisch Froude-getal (F_m)**: de verhouding tussen de stroomsnelheid en de snelheid waarmee een lange golf zich over de grenslaag van twee dichtheden verplaatst.
- **Barotropisch Froude-getal (F_T)**:de verhouding tussen de getijde-amplitude en de waterdiepte.
- **Inwendig Froude-getal (F_B)**: Froude-getal, gevormd uit de diktes en dichtheden van de waterlagen.
- **Estuariene Froude-getal (F_e)**: Froude-getal, gevormd uit de rivierafvoer en de overall-karakteristieken van het estuarium.

Estuariene Richardson-getal (Ri_e): verhouding tussen de winst in potentiële energie als gevolg van de rivierafvoer en het mengen van de getijdestromen.

Bij waarden $Ri_e > 0.8$ is sprake van hoge mate van stratificatie, bij $0.8 > Ri_e > 0.08$ van gedeeltelijke vermenging en bij $Ri_e < 0.08$ van goed gemengde wateren.

Reynolds-getal (Re): dimensieloos getal dat de stabiliserende effecten van verticale dichtheids-stratificatie relateert aan de destabiliserende effecten van 'velocity shearing': **$Re = uD / \nu$**
u = snelheid waarmee een waterlaag zich voortbeweegt (m/s)
D = diepte van de waterlaag (m)
ν = verhouding tussen de moleculaire viscositeit (μ) en de dichtheid (ρ) van een waterlaag
In een niet-gelaagd water is D gelijk aan de totale diepte ervan en is u gelijk aan de gemiddelde snelheid. Bij kleinere waarden dan $Re \approx 2000$ kan de stroom gelaagd zijn en bij waarden groter dan ongeveer 10^5 is het hoogstwaarschijnlijk turbulent. Tussen deze twee waarden is de stroming tussenliggend, haar aard en het punt waarop het volledig turbulent wordt hangt voornamelijk af van de structuur van de wanden van het water.

Verversingsgraad (F): de snelheid waarmee, via de monding van het estuarium, het zoetwater wordt uitgewisseld met de zee: **$F = V/T = R/f$**
V = volume zoetwater dat in het estuarium aanwezig is (m^3)
T = doorstromingstijd (s)
R = rivierafvoer (m^3/s)
f = fractionele zoetwaterconcentratie

5.4.5 Modellen

Door diverse instituten (RIKZ, RIZA, WL, TU-Delft, IBN-DLO, NIOZ, NIOO-CEMO) wordt momenteel gewerkt aan modellen, die als doel hebben inzicht te krijgen en voorspellingen te kunnen doen over bijvoorbeeld morfologische veranderingen, stofstromen, waterbeweging, zouthuishouding en ecologisch functioneren, als gevolg van ingrepen of autonome ontwikkelingen. Voorbeelden (zonder volledig te zijn) van dergelijke modellen zijn ECOWASP, ECOMIJ, EMOWAD, ERSEM, MOSES, DISTRO, EMPREL, CARMEN, SMOES, ECOLUMN, ESMOR, GEOMOLT, SOBEK, WAQUA, SAWES en ZWENDL. Voor beleidsmakers en managers worden zogenaamde BeslissingOnderSteunende modellen (BOS) ontwikkeld zoals bijvoorbeeld WAD-BOS, WIN-BOS en IVB-DOS (Discussie Ondersteunend Systeem). Het voert te ver hier een volledige inventarisatie van beschikbare modellen en mogelijkheden weer te geven.

Bovenstaande modellen zijn vaak typisch voor het instituut waardoor, of het gebied waarvoor, ze ontwikkeld zijn. Hierdoor verschillen de modellen onderling wat betreft hun doelstelling, opzet, parameterkeuze, noodzakelijke data input en mogelijkheden, met als gevolg dat er geen consensus bereikt kan worden als er om afstemming gevraagd wordt. Hierdoor wordt de politieke besluitvorming, beleidsanalyse en keuze voor toekomstige grootschalige projecten vertraagd. Als een van de initiatieven om de krachten te bundelen wordt momenteel onder leiding van het RIKZ door diverse instituten gewerkt aan een zogenaamd GEM, Generiek Ecologisch Model voor estuaria. De hoofddoelstellingen van het GEM-project zijn: (1) beschikbaar stellen van een eenvormig en wijd geaccepteerd ecosysteemmodel voor beleidsanalyse en ondersteuning van het beheer van estuaria; (2) een platform bieden voor verdere ontwikkeling van modellen voor waterkwaliteit en ecologische componenten van nederlandse estuariene systemen; en (3) verbeteren en

stimuleren van wetenschappelijke samenwerking tussen Nederlandse onderzoeks-, advies- en beheersinstituten.

Naast de blijvende onzekerheid omtrent de betrouwbaarheid van modeluitkomsten is het toepassingsgebied van de huidige modellen één van de grootste tekortkomingen. Vrijwel alle modellen, inclusief het GEM, beperken zich tot het zoute/brakke deel van het estuarium óf tot het zoete deel van het estuarium (de rivier). Het zoetwatergetijdengebied wordt vaak buiten beschouwing gelaten als essentieel onderdeel van het estuarium. Daarnaast wordt aanbevolen om meer aandacht te besteden aan biologische componenten in de morfologische modellen. Zo kan de aanwezigheid van mosselbanken of zeegrasvelden een aanzienlijke invloed uitoefenen op de morfologie. Deze biologisch gestuurde effecten zijn nu (nog) niet of nauwelijks opgenomen in de huidige modellen.

5.4.6 Streefbeeld

Een streefbeeld kan gevormd worden op grond van een historische referentie, of op grond van een geografische referentie, of op grond van een combinatie van beide, maar te allen tijde op basis van de randvoorwaarden.

Voor een historische referentie moet een keuze van een tijdstip gemaakt worden en moet een duidelijke beschrijving uit het verleden aanwezig zijn. Hoofdstuk 2 maakt duidelijk dat het landschap steeds veranderd is en zich nog verder ontwikkelt. Een voorbeeld van een historische referentie is gegeven in Paalvast et al. (1998) waarbij het areaal schorren (gorzen), slikken en platen en ondiep getijdenwater in hectare is gegeven in 1960 en 1997 voor een voormalig estuarium in de Delta. Een situatie uit het verleden is vaak niet meer terug te krijgen. Daarom dienen de ecologische potenties van het gebied vaak als uitgangspunt om een streefbeeld te formuleren, zonder dat hierbij de diverse andere functies in het gebied vergeten worden. Een vergelijking met gebieden elders (geografische referentie) kan daarbij een goede leidraad zijn.

Voor een geografische referentie is het van belang om goede beschrijvingen te hebben van vergelijkbare gebieden. Aangezien elk estuarium uniek is, zal nooit een identieke situatie gevonden worden. Door Cadeé (1994) zijn enkele referentiegebieden voor de Westerschelde beschreven. Als keuze van referentie-estuaria in West-Europa worden genoemd: Dee (UK); Gironde (F); Elbe (D); Humber (UK); Eems (NL/D), Mersey (UK), Shannon (IR), Ythan (UK) en Loire (F). Naast het feit dat de gebieden van hetzelfde morfologische type zijn als de Westerschelde (coastal plain) speelde ook de beschikbaarheid van data een belangrijke rol bij de selectie van referentiegebieden. In grootte en hydrologisch type verschillen de estuaria aanzienlijk.

Onderstaand voorbeeld laat zien dat met behulp van het estuariumgetal (zie voetnoot[1]) een duidelijke scheiding gemaakt kan worden tussen estuaria met een relatief grote rivier-invloed (N: 2,5 - 7,7 %), te weten Elbe, Gironde, Ythan en Loire, en estuaria met een geringe rivier-invloed (N: 0,25 - 0,4 %), te weten Schelde, Humber en Eems (zie tabel 5.10).

[1] Het estuariumgetal N geeft de verhouding weer tussen zee- en rivier-invloed in een estuarium, door de rivierafvoer per getijcyclus [Q ($m^3.s^{-1}$) * T (s)] te delen door het getijvolume [V (m^3)]. Er is uitgegaan van een gemiddelde T-waarde van 12,5 uur.

Tabel 5.10
Vergelijking van een aantal Europese en Nederlandse (voor de uitvoering van de deltawerken) estuaria met behulp van het estuariumgetal (naar Cadeé, 1994a).

Estuarium	Q ($m^3.s^{-1}$)	V (10^6 m^3)	N (%)
Eems (D / NL)	120	1300	0,5
Elbe (D)	800	1560	2,5
Gironde (F)	910	1500	2,7
Humber (UK)	240	2700	0,4
Loire (F)	825	480	7,7
Schelde (B / NL)	120	2200	0,25
Ythan (UK)	6,2	5,6	5,0
Haringvliet (NL)	1100	323	15,3
Grevelingen (NL)	50	355	0,6

Ofschoon bij het berekenen van het estuariumgetal wordt uitgegaan van gemiddelde waarden voor de rivierafvoer en het getijvolume, geeft de waarde van N een goede indicatie voor het verloop van de saliniteitsgradiënt. De vorm van de saliniteitsgradiënt is in sterke mate bepalend voor de ecologische ontwikkelingen in een estuarium.

In paragraaf 5.4.4 is een eerste voorzet gedaan om (naast het estuariumgetal) nog meer parameters te selecteren op basis waarvan estuaria beschreven en vergeleken kunnen worden. Binnen de duur van dit project is het niet mogelijk gebleken om de parameterlijst volledig uit te werken en toe te passen op een aantal geselecteerde referentiegebieden voor de Nederlandse situatie. Tevens is gebleken dat estuaria dynamische systemen zijn met van nature grote ruimtelijke en temporele schommelingen, maar dat ondanks deze grote mate van dynamiek deze systemen redelijk stabiel blijken te zijn (zie ook paragraaf 4.1 en 4.2). Dit pleit ervoor om parameters bij voorkeur in bandbreedtes of klassen te beschrijven in plaats van in één waarde. Door deze zogenaamde referentie dynamiek (als afgeleide van streefdynamiek wat de ideale omstandigheid zou zijn) te beschrijven op een gemiddelde ruimte- en tijdschaal kan een onderzoeksgebied afgebakend worden. Voorgesteld wordt daarom om in fase 2 de relevante (dynamische) processen te benoemen (getijslag en zoetwateraanvoer) en referentiegebieden in klassen in te delen (bijvoorbeeld op basis van estuariumgetallen). Bij een bepaalde klasse hoort een patroon/beeld wat ruimtelijk beschreven kan worden (bijvoorbeeld als areaal ecotoop, waarin ook zoet-brak-zout zit verwerkt). Aan de ecotopen zijn weer typische leefgemeenschappen en soorten te koppelen. Onderstaand is een theoretisch voorbeeld gegeven.

Referentie dynamiek (proces bijv. verhouding getij/rivier)	Patroon	Ecotopen	Leefgemeenschappen of indicatorsoorten
N >10 bijv. Haringvliet	75% zoetintergetijde	%ondiep zoet getijde % grasland %rietgors	riet, kleine karakiet
	20% brakintergetijde 5% zoutintergetijde		
N 10-5			
N 5-2			
N <2 bijv. Westerschelde	5% zoetintergetijde 20%brakintegetijde 75%zoutintergetijde		

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Hoofdvragen

De studie naar het Herstel van estuariene gradiënten in Nederland is gestart vanuit een drietal hoofdvragen. Hieronder worden eerst deze vragen kort beantwoord. Vervolgens worden, op basis van deze studie en de wensen vanuit de regionale beheerders, aanbevelingen voor het vervolg gepresenteerd. De aanbevelingen richten zich achtereenvolgens op: Beleid en afstemming (paragraaf 6.2.1), Referenties en streefbeelden (paragraaf 6.2.2) en Kennisontwikkeling en onderzoek (paragraaf 6.2.3).

1. Welke tijd- en ruimteaspecten zijn relevant voor het herstel van estuariene gradienten ?

Deze vraag kan alleen goed beantwoord worden indien de doelstelling van het herstelproject duidelijk is omschreven. Het antwoord is vervolgens sterk afhankelijk van de ruimteschaal waarop het herstel moet plaatsvinden en de tijdsduur die men zich stelt om herstel gerealiseerd te hebben. Er is een relatie tussen de tijdschaal waarop processen in een ecosysteem zich afspelen en de ruimteschaal waarop die processen zich voltrekken. Bovendien is er een verschil met betrekking tot die schalen, afhankelijk van het feit of je biologische, chemische, hydrologische of morfologische aspecten beschouwt.

2. Hoeveel zoetwater is er per tijd en ruimte nodig ter optimalisatie van een estuariene gradient ?

Ook het antwoord op deze vraag hangt af van de doelstelling die je voor ogen hebt. De doelstelling kan zijn gebaseerd op een historische referentie of een geografische vergelijking van een of meer huidige situaties. De gewenste lengte en variatie in de zoutgradient bepalen de benodigde hoeveelheid zoetwater. Kwantitatieve gegevens hieromtrent ontbreken nog. Hierbij spelen opnieuw verschillen tussen deeldoelstelling ten aanzien van hydrologisch / morfologische randvoorwaarden (menging en stratificatie) als ecologische, chemische en biologische randvoorwaarden (bijvoorbeeld minimum arealen van biotopen) een rol.

3. Welke andere parameters zijn voor herstel relevant ?

Naast de hoeveelheid zoetwateraanvoer per tijd- en ruimte eenheid is de invloed van getij onmisbaar voor het herstel van echte estuariene gradiënten. Bij herstel gaat het vooral om het herstel van complete systemen. Naast de al eerder genoemde parameters getij en zoetwateraanvoer zijn daarom parameters als temperatuur, troebelheid, zuurstof en nutrienten van belang. Ook hier speelt het aspect van schaal. Zo speelt bijvoorbeeld op mega-schaal de verhouding tussen waterdiepte tijdens hoog en laag water en de verhouding tussen wateroppervlak bij hoog en laag water een rol. Op macro-schaal kun je de lengte en variatie in een aantal (bijvoorbeeld vijf) saliniteitszones onderscheiden. Tenslotte is op meso-schaal de ruimtelijke verdeling en diversiteit van typische estuariene soorten en de ecotopen die daar bij horen relevant.

6.2 Aanbevelingen

Uit bovenstaande blijkt, dat meer inzicht verkregen is in de tijd- en ruimteaspecten van het herstel van estuariene overgangen en de daarbij behorende parameters. Anderzijds zijn er nog kennisleemten. Bovendien geeft de studie meer zicht in het beleid rond het herstel. Dit alles leidt tot onderstaande aanbevelingen.

6.2.1 Beleid en afstemming

De achteruitgang van natuurwaarden in Nederland, een verandering in waardering van de natuur en de kansen voor een duurzame veiligheid hebben bijgedragen aan de actuele nationale en internationale beleidsmatige interesse voor het herstel van zoet-zout overgangen. De water- en natuur-beleidsdoelstellingen (gezondheid, veerkracht, duurzaamheid, bruikbaarheid, stabiliteit, natuurlijkheid en biodiversiteit) worden momenteel gezien als belangrijke toetsingscriteria voor de ecologie. Deze begrippen worden echter per project en regio verschillend geoperationaliseerd en toegepast, wat de afstemming en samenwerking niet bevordert. Het is gewenst om de beleidsdoelen eenduidig toe te passen binnen verschillende herstelprojecten en om te komen tot een eenduidige beschrijving en beoordeling van de status en het functioneren van estuaria en estuariene gradienten.

Er is op dit moment een gebrek aan afstemming tussen projecten en onderzoek op het gebied van het herstel van zoet-zout overgangen (bijvoorbeeld Haringvliet, Oosterschelde, Westerschelde, Afsluitdijk / IJsselmeer en Blauwe Delta), zowel landelijk als regionaal. Plannen worden vaak sectoraal en los van elkaar geïnitieerd en uitgevoerd en keuzes en randvoorwaarden worden onvoldoende duidelijk gemaakt. Samenhang tussen de plannen, zelfs binnen regio's, ontbreekt veelal. Sectorale en integrale visies waarbinnen alle plannen en initiatieven passen zijn slechts zelden opgesteld. Door voorafgaand aan de uitvoering van herstelprojecten een aantal essentiële vragen te beantwoorden met behulp van een zogenaamde "ecologische checklist" (zie hoofdstuk 5.4) wordt de slaagkans van projecten aanzienlijk vergroot.

Herstel van zoet-zout overgangen vraagt om een integrale verkenning van de zoetwaterverdeling in Nederland in de 21^{e} eeuw, bij voorkeur op stroomgebiedsniveau (Eems, Rijn, Maas-Rijn, Schelde). Bij deze verkenning moet worden ingespeeld op de klimaatsscenario's en de veranderende maatschappelijke en economische behoefte aan veilig en schoon water. Hieruit volgt een knelpuntenanalyse en prioritering ten aanzien van de beschikbaarheid van zoetwater. In samenhang hiermee dient per stroomgebied een integrale visie ontwikkeld te worden met hierin een streefbeeld voor ecologisch herstel per stroomgebied.

Het verdient daarom aanbeveling om de doelstellingen en programmering van nu reeds lopende projecten beter op elkaar af te stemmen. Voor afstemming van landelijk of stroomgebied brede programmering van projecten en herstelmaatregelen wordt daarom voorgesteld om:

- als vervolg van dit project een overlegplatform herstel zoet-zout op te richten waaraan alle betrokken instanties kunnen deelnemen.
- één landelijke visie op het gewenste zoet-zout herstel en lange termijn doelstellingen te ontwikkelen. Aanvoer van zoet water is één van de belangrijkste factoren voor een goed functionerende zoet-zout gradiënt. Er zullen keuzes moeten worden gemaakt bij de waterverdeling van

Nederland, waarbij rekening gehouden dient te worden met een potentiëel zoet-zout herstel.

- één landelijke beoordelingsmethodiek te ontwikkelen voor het herstel van zoet-zout overgangen waarbij rekening wordt gehouden met de juiste ruimte- en tijdaspecten en de doelen zoals verwoord in het beleid. Globaal kan deze beoordelingsmethodiek hiërarchisch worden ingedeeld in proces-, patroon- (ecotoop) en soortgebonden criteria.
- het aantal soorten en de diversiteit aan functies van soorten binnen estuaria is te groot om deze allemaal in beschouwing te nemen. Het verdient daarom aanbeveling om lijsten met prioritaire soorten, (beleids)indicatoren en/of boegbeelden op te stellen voor zoet-zout waarden in of langs het water. Dit stimuleert de communicatie over en de acceptatie van het herstel van zoet-zout overgangen.
- bij de formulering van beleid en herstelmaatregelen rekening te houden met de schaal waarop processen (landelijk), patronen (regionaal) en soorten (lokaal) stuurbaar zijn.
- voor de Nederlandse situatie een beslisboom te ontwikkelen voor de keuze van geschikte locaties voor ecologische herstelmaatregelen.
- naast locatiekeuze ook de afweging en afstemming met andere functies en diensten aan te geven in een managementplan zodat multifunctioneel gebruik wordt geïntegreerd met ecologie en economie. Een uitwerking in de vorm van een kansenkaart op stroomgebiedniveau voor nederlandse estuaria wordt aanbevolen.

6.2.2 Referenties en streefbeelden

Bij het formuleren van streefbeelden en streefwaarden voor het herstel van zoet-zout overgangen zijn er twee overwegingen waar rekening mee gehouden moet worden. In de eerste plaats hebben in de voormalige natuurlijke zoet-zout overgangen vaak grootschalige en onomkeerbare veranderingen plaatsgevonden. Daarnaast vervullen de gebieden tegenwoordig een multifunctionele rol. Het verdient daarom aanbeveling om streefbeelden meer te beschrijven in termen van *'het zo ver mogelijk herstellen van natuurlijke processen'* (streefwaarden) dan in termen als *'het terugbrengen van de historische status'* (referentiewaarden). Vanwege de grote ruimtelijke en temporele variatie als gevolg van natuurlijke factoren (zoetwaterafvoer, licht, temperatuur, nutriënten en endogene biologische factoren zoals genetische variatie) dienen streefwaarden of streefdynamiek bij voorkeur in bandbreedtes/klassen beschreven te worden in plaats van in één waarde. Streefbeelden of doelstellingen voor het herstel van zoet-zout overgangen zijn tot op heden nauwelijks gekwantificeerd. Kwantitatieve gegevens van bestaande systemen (minimumarealen) zijn ook nauwelijks voorhanden. Daarom kan bijvoorbeeld niet aangegeven worden hoeveel zoetwater er nodig is voor het herstel van een estuariene gradiënt waarin processen op natuurlijke schaal plaatsvinden of hoeveel ruimte nodig is voor een goed functionerende overgangszone.

De verschillende classificatiesystemen geven een goed inzicht in de meest relevante sturende factoren voor estuariene overgangen. Globaal kan gesteld worden dat geohydrologische processen op lange termijn de vorm van estuaria en daarmee ook de verschillende typen estuaria bepalen. Tussen, maar ook binnen één estuarium zijn de rivierafvoer en de getijde-invloed de meest belangrijke onderscheidende en sturende factoren. Als resultante van deze twee factoren kunnen binnen elke estuarium vijf saliniteitszones onderscheiden worden (de zoetwatergetijdenzone, de oligohaliene zone, de mesohaliene zone,

de polyhaliene zone en de euhaliene zone), die sterk kunnen verschillen in grootte en die dynamisch zijn in ruimte en tijd, maar altijd aanwezig. Binnen deze zones worden, afhankelijk van substraat en morfo- en hydrodynamiek, verschillende ecotopen onderscheiden. Naast het zoutgehalte bepalen ook lokale factoren als sedimenttype, troebelheid, voedselrijkdom temperatuur en zuurstofgehalte het voorkomen van soorten per ecotoop.

Voor een eenduidige beschrijving en beoordeling van estuariene overgangen is het gewenst om tot een eenduidige indeling en karakterisering van estuariene- en brakwaterecotopen en soorten te komen. Het verdient daarom aanbeveling om één stelsel van aquatische en terrestrische ecotopen te ontwikkelen voor het gehele estuarium (zoetwatergetijde, brak en zout) met per ecotoop een beschrijving van de karakteristieke planten en dierengemeenschap. Het spreekt voor zich dat hierbij aangesloten moet worden bij internationale indelingen (EU, Habitatrichtlijn).

Gezien de grote mate van dynamiek en de genoemde sturende factoren en processen wordt voorgesteld om voor de beschrijving van referenties en streefbeelden voor zoet-zout overgangen:

- een beperkte maar volledige set met relevante (dynamische) processen en parameters te benoemen uit de ontwikkelde parameterlijst en deze toe te passen op een aantal geselecteerde referentiegebieden voor de Nederlandse situatie.
- de referentiegebieden bij voorkeur te zoeken langs de Atlantische kusten van Noordwest Europa vanwege de vergelijkbare brakwatergemeenschappen
- de gevonden referentiewaarden in te delen in klassen (bijvoorbeeld op basis van estuariumgetal) en bij elke klasse de bijbehorende patronen (ecotopen) te beschrijven
- typische leefgemeenschappen en soorten te koppelen aan deze patronen/ecotopen
- voor gewenste estuariene ecotopen een analyse uit te voeren naar de gewenste minimale grootte en de minimaal noodzakelijke ontwikkelingstijden voor deze estuariene ecotopen. Functies als draagkracht, zuiverend vermogen en habitat-eisen van karakteristieke soorten kunnen daarbij richtinggevend zijn.

Bovenstaande aanpak resulteert in een set met ecotopen met bij bijbehorende dynamiek en typische plant- en diersoorten. Bij het formuleren van herstelmaatregelen kan vervolgens aangegeven worden hoeveel en in welke mate de dynamiek hersteld dient te worden voor het ontwikkelen van een bepaald leefgebied of de vestiging van een bepaalde leefgemeenschap.

6.2.3 Kennisontwikkeling en onderzoek

Estuaria zijn dynamische systemen met grote ruimtelijke en temporele schommelingen als gevolg van seizoensgebonden, jaarlijkse en historische veranderingen. Ondanks de grote mate van dynamiek op de korte termijn vertonen estuaria ook een zekere mate van stabiliteit op de langere termijn. Het verdient aanbeveling de diverse functies, waarden en het functioneren van estuaria goed en volledig in beeld te brengen met inachtneming van ruimtelijke en temporele aspecten. De hydrologische, morfologische en ecologische processen in relatie tot veranderingen in ruimte en tijd dienen beter begrepen te worden en de ecologische en economische meerwaarde van goed

functionerende zoet-zout overgangen en hun natuurlijke draagkracht verdienen extra aandacht. De onderbouwing van nut en de noodzaak voor herstel dient beter uitgewerkt te worden.

Om de kennis over het functioneren van estuariene overgangen te vergroten wordt voorgesteld om:

- in het vervolg op deze studie een inventarisatie en evaluatie uit te voeren van herstelmaatregelen in met Nederland vergelijkbare buitenlandse estuariene gebieden
- in een aantal relatief grote pilotprojecten de verwachte en werkelijke ontwikkelingen als gevolg van herstelmaatregelen te volgen en te evalueren. Voorbeelden van dergelijke projecten zijn de open Haringvlietsluizen (vanaf 2005), brakke zone afsluitdijk (2005), Lauwersmeer en het Rammegors in Zeeland (2002).
- meer aandacht te besteden aan monitoring en evaluatie van projecten zodat geleerd kan worden van ervaringen. Er is al een begin gemaakt met een inventarisatie en ecologische evaluatie van buitendijkse zoet-zout overgangsprojecten.
- overleg en afstemming te organiseren met nationale (bijvoorbeeld WL, TU Delft, NIOO Yerseke, Universiteit Groningen) en internationale (België, Duitsland, Frankrijk en Engeland) instituten.
- tijdens onderzoek en kennisontwikkeling samen te werken met voor RIZA en RIKZ vergelijkbare europese onderzoeksinstituten.

De ecologische onderbouwing van het nut van herstel van zoet-zout overgangen moet beter en moet zich toespitsen op de functie voor (migrerende) vissen en de functie van kwelders en platen voor vogels, planten en ongewervelden. Zo wordt bijvoorbeeld de functie van estuariene overgangsgebieden als paai- en opgroeigebied (kraamkamer en kinderkamerfunctie) voor vissen vaak genoemd maar dit argument is slecht onderbouwd. Een gekwantificeerde bijdrage van deze gebieden aan de populatiedynamica van de betreffende soorten ontbreekt. Ook de economische betekenis van visserij in overgangsgebieden is onderbelicht, evenals de schade van visserij op de visstand. Bij het vaststellen van de mogelijkheden voor het herstellen van natuurlijke processen dient echter ook rekening gehouden te worden met andere (gebruiks)functies dan ecologische waarden. Vaak blijken economische, sociale en politieke overwegingen belangrijker bij de besluitvorming rond het herstel van estuaria dan ecologische waarden. Het verdient dus zeker aanbeveling om naast de natuurwaarden ook deze waarden in beeld te brengen. Een verbetering van de onderbouwing van de ecologische en economische meerwaarde (bijvoorbeeld visserij en internationaal waterbeheer), het nut en de noodzaak en een kosten-baten analyse van herstel van zoet-zout overgangen wordt daarom aanbevolen.

Er is weinig bekend over kolonisatiemechanismen van estuariene organismen. Netwerkfuncties, maximale migratie-afstanden en dispersie-mechanismen van estuariene soorten, reproductie capaciteit, geografische verspreiding en de aanwezigheid van zaadbanken en refugia spelen daarbij een rol. Zo is ook niet bekend of het afsluiten van de Zuiderzee effect heeft gehad op de naastgelegen estuaria (Westerschelde en Eems-Dollard). Daarnaast dient bij het herstel van estuaria rekening gehouden te worden met de mogelijkheid dat exoten zich vestigen. Speciaal in deze dynamische, vaak 'lege', milieus met de aanwezigheid van schepen en ballastwater, krijgen exoten (waaronder ook ongewenste soorten als plaagalgen) een goede kans zich te vestigen ten kosten van

endemische soorten. Onderzoek naar deze verspreidingsmechanismen op europees niveau wordt aanbevolen, evenals naar de uitgebreide voedselwebrelaties in een estuarium.

De betrouwbaarheid van de modellen die op dit moment beschikbaar zijn om de ecologische, morfologische en hydrologische effecten van autonome ontwikkelingen (klimaatsverandering, zeespiegelstijging, veranderende rivierafvoer) op de nog resterende en/of nieuwe intergetijdengebieden te voorspellen, is onzeker. Hierdoor is het ook moeilijk om aan te geven wat de te verwachten effecten zijn van klimaatsveranderingen op estuariene gradiÎnten en op soorten. Naast een verbetering van de huidige modellen wordt aanbevolen ook het toepassingsgebied van de modellen te vergroten (de modellen zijn nu vaak alleen van toepassing op zout of alleen op zoet water) Èn om meer aandacht te besteden aan de biologische componenten in met name de morfologische modellen. Hiervoor zijn databestanden nodig met verspreidingsgegevens van soorten in relatie tot milieufactoren (zoutgehalte, waterstroming, troebelheid) en deze ontbreken nog in veel gevallen, zodat **ingreep-effect relaties moeilijk te voorspellen zijn.**



Kweldervegetatie laat een prachtige estuariene overgang zien.
Foto: RIKZ-Haren

7 Literatuur

AquaSense, 2000
Het tij keert, een verkenning van het beleid en de betekenis van zoet-zout overgangen in nederland. Rapportnummer: 1488.

Bakker, J.F., W. Bartelds, D. Dijkhuizen & B. Frederiks, 2000
Mariene chemie. Nederlandse situatie uitgebreid. In: Waddenzee Quality Status Rapport 1999, p. 103-120. Vertaalde uitgave van Wadden Sea QSR 1999. RIKZ rapport 2000.008

Bal, D., H.M. Beye, Y.R. Hoogeveen, S.R.J. Jansen & P.J. van der Reest, 1995
Handboek natuurdoeltypen in Nederland, Rapport IKC nr. 11, IKC Natuurbeheer, Wageningen

Baptist, H.J.M. & E. Jagtman (eds.), 1997
De AMOEBES van de zoute wateren. Rapport RIKZ-97.027, 149p.

Barnes, R.S.K., 1994
The brackish-water fauna of northwestern Europe: a guide to brackish-water habitats, ecology and macrofauna for field workers, naturalists and students. Cambridge University Press, Cambridge, 280p.

Beets, D.J., A.J.F. van der Spek & L. van der Valk, 1995.
Holocene ontwikkeling van de Nederlandse kust. RGD rapport 40.016, Project Kustgenese.

Berendsen, H.J.A., 1996
Fysische geografie van Nederland. De vorming van het land. Van Gorcum, Assen

Boesch, D.F., 1977
A new look at the zonation of benthos along the estuarine gradiënt. In: Ecology of Marine benthos, ed. by B.C. Coull, 245-266. Belle W. Baruch Library in Marine Science, University of South Carolina Press, Columbia, S.C.

Bos, A.R., 2000
Aspects of the life history of the European Flounder (*Pleuronectes flesus* L. 1758) in the tidal River Elbe. Universiteit van Hamburg, proefschrift. ISBN 3-89825-082-2, 129p.

Bulger, A.J., B.P. Hayden, M.E. Monaco, D.M. Nelson & M.G. McCormick-Ray, 1993
Biologically-based estuarine salinity zones derived from a multivariate analysis. Estuaries. Vol. 16 (2), 311-322

Cadeé, N., 1994
Verslag Workshop typologie 22 april 1994. RIKZ-verslag OS-94.816

Cadeé, N., 1994a
Typologie van estuariene systemen: Geografische referenties voor het Schelde estuarium. RIKZ rapport 94.048

Carriker, M.R., 1967
Ecology of estuarine bentic invertebrates: a perspective. In: Estuaries, ed. by G.H. Lauff, 442-487. American Association for the Advancement of Science, Washington, D.C. (AAAS Publication no. 83)

Dalrymple, R.W., B.A. Zaitlin & R. Boyd, 1992
Estuarine facies models: conceptual basis and stratigraphic implications. Journal of sedimentary Petrology, vol. 62 (6), 1130-1146

Davidson, N.C., D.d'A. Laffoley, J.P. Doody, L.S. Way, J. Gordon, R. Key, M.W. Pienkowski, R. Mitchell & K.L. Duff., 1991
Nature conservation and estuaries in Great Britain. Nature Conservancy Council, Peterborough

Day, J.W., C.A.S. Hall, W.M. Kemp & A. Yanez-Arancibia, 1989
Estuarine Ecology. John Wiley & Sons Ltd, New York

De Boer, K & W.J. Wolff, 1996
Tussen zilt en zoet. Voorstudie naar de betekenis van estuariene gradiënten in het Waddengebied. Vakgroep Mariene Biologie, Rijksuniversiteit Groningen. In opdracht van: Rijkswaterstaat Directie Noord-Nederland

Deegan, L.A. & B.A. Thompson, 1985
Coastal fishery habitat requirements. In: Yáñez-Arancibia, A. & Pauly, D. (eds.), Recruitement processes in tropical coastal demersal communities. Ocean Science in Relation to Living Resources (OSLR), International Recruitement Project (IREP). IOC-FAO-UNESCO Workshop OSLR/IREP Project. Vol. 44. UNESCO, Paris. pp. 44-52

De Jong, D.J., 1999
Ecotopen in de Nederlandse zoute wateren. Een voorstel voor een ecotopenindeling en een methode om ze te karteren. RIKZ Rapport 99.017

De Jonge, V.N., 1974
Classification of brackish coastal inland waters. Hydrobiological Bulletin Vol. 8 (1/2), 29-39

De Jonge, V.N., 1996
Bedreigd bodemleven grenzeloos belangrijk. In: Bionieuws, 15-10-1996

De Jonge, V.N. & K. Essink, 1992
The Ems estuary: water circulation, sediment dynamics and nutriënt enrichment. Rapport DGW-92.025

De Jonge, V.N., J. van den Bergs & D.J. de Jong, 1997
Zeegras in de Waddenzee, een toekomstperspectief. Beheersaanbevelingen voor het herstel van Groot en Klein Zeegras. RIKZ rapport 97.016

De Leeuw, C. & P. Esselink, 2000
Ecologische evaluatie Programma Herstel en Inrichting Zoute Wateren 1990-1999. Bureau Koeman en Bijkerk BV, Haren. Rapport 2000-36.

Den Hartog, C., 1959
The epilithic algal communities occurring along the coast of the Netherlands. Poefschrift. North-Holland Publishing Company, Amsterdam

Den Hartog, C., 1964
Typologie des Brackwassers. Helgolaender wissenschaftliche Meeresuntersuchungen, vol. 10, 377-390

Den Hartog, C., 1971
The border environment between the sea and the fresh water, with special reference to the estuary. Vie et milieu: bulletin du Laboratoire Arago, Université de Paris, Banyuls-sur. Vol. 22, 739-751

Dittmann, S. (ed.), 1999
The Wadden Sea Ecosystem: stability properties and mechanisms. Springer-Verslag Berlin, Heidelberg, 307p.

Duel, H. (ed.), 1997
Graadmeter Ontwikkeling Noordzee: toetsingskader voor het water- en natuurbeleid voor de Noordzee. Waterloopkundig Laboratorium/WL, Delft, 22-10-1997, 127p.

Dyer, K.R., 1995
Sediment transport processes in estuaries. Geomorphology and sedimentology of Estuaries (Ed. G.M.E. Perillo), Elsevier Science, Oxford, 423-449

Dyer, K.R., 1997
Estuaries: a physical introduction. 2nd edition, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, UK, 195p.

Eertman, R. & A. Smaal, 1996
Rotterdam Ecopoort. Conceptuele benadering en een praktische toepassing van ecologisch herstel. Rapport RIKZ 96.040

Eertman, R.H.M. & A.C. Smaal, 1997
De ecologische functies van geleidelijke zoet-zout overgangen in estuaria en kustwateren. NIOO Rapporten 1997-02/Werkdocument RIKZ/OS-97.803x

Eisma, D., 1998
Intertidal deposits: river mouths, tidal flats and coastal lagoons. CRC Press

Esselink, P., 2000
Nature management of coastal salt marshes. Interactions between anthropogenic influences and natural dynamics. Rijksuniversiteit Groningen. Proefschrift.

Essink, K. & P. Esselink (red), 1998
Het Eems-Dollard estuarium: interacties tussen menselijke beïnvloeding en natuurlijke dynamiek. Rapport RIKZ 98.020

Fairbridge, R.W., 1980
The estuary: Its Definition and Geodynamic Cycle. In: E. Olausson & I. Cato, Eds., Chemistry and biogeochemistry of estuaries. Wiley, New York, p. 1-35

Framstad, E., 2000
Considerations on the monitoring of the state of Europe's biodiversity. European nature, Issue 4: 14-15

Frisell, C.A., W.J. Liss, C.E. Warren & M.D. Hurtley, 1986
A hierarchical framework for streams in a watershed context. Environmental Management, vol. 10 (2):199-214

Green, J., 1968
The biology of estuarine animals. London: Sidgwick & Jackson, 401p.

Grimm, V. & C. Wissel, 1997
Babel, or the ecological stability discussions: an inventory and analysis of terminology and a guide for avoiding confusion. Oecologia, vol.109: 323-334

Haas, H.A., 1998
Zoet water naar de Oosterschelde: een verkenning naar de effecten op natuur en visserij. Rapport RIKZ-98.036

Haas, H.A. & T. Prins, 2000
Stikstofverwijdering in estuaria: mogelijkheden voor natuurlijke zuivering. Werkdocument RIKZ/OS/2000.851x

Hansen, D.V. & M. Rattray, 1966
New dimensions in estuary classification. Limnology and oceanography. Vol. XI (3), 319-326

Heerebout, G.R., 1970
A classification system for isolated brackish inland waters, based on median chlorinity and chlorinity fluctuation. Netherlands Journal of Sea Research 4 (4): 494-503.

Heinis, F. (ed.), K. Broersen, W. Gotjé, M. Wilhelm & L. Janmaat, 2000
Ecologisch functioneren watersysteem, toetsingskader en beschrijving effecten. AquaSense, NR-99290. In opdracht van: Samenwerkingsverband Maasvlakte 2 Varianten, Werkgroep Natuur en Recreatie, Rijkswaterstaat Directie Zuid-Holland

Heip, C.H.R., N.K. Goosen, P.M.J. Herman, J. Kromkamp, J.J. Middelburg & K. Soetaert, 1995
Production and consumption of biological particles in temperate tidal estuaries. Oceanography and Marine Biology: an Annual Review 33, 1-149

Herman, P.M.J., J.J. Middelburg, J. van de Koppel & C.H.R. Heip, 1999
Ecology of estuarine macrobenthos. In: Nedwell, D.B. & Raffaelli, D.G. (eds.). Estuaries: advances in ecological research, vol.29. Academic Press, London, UK, 306p.

Imhof, J.G., J. Fitzgibbon & W.K. Annable, 1996
A hierarchical evaluation system for characterizing watershed ecosystems for fish habitat. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 53 (suppl. 1): 312-326

Jager, Z., 1999
FLOUNDERING: Processes of tidal transport and accumulation of larval flounder (*Platichthys flesus* L.) in the Ems-Dollard nursery. Universiteit van Amsterdam, proefschrift. ISBN 90-9012525-6, 192p.

Jans, L., M. Platteeuw, M. Tosserams & M. Schiereck, 2000
Van waterpeilen naar natuurwaarde. Verantwoordingsrapportage Ecotopenmodel (ECOMIJ) en Natuurwaarderingsmodule (NWM) IJsselmeergebied en de toepassing binnen WINBOS. RIZA-Werkdocument 2000.002X, 93p.

Jansen, J.M., 2000
Onderzoek naar de mogelijkheid Microhabitats te onderscheiden in Estuaria. Werkdocument RIKZ/OS/2000.604x

Janssen, G.M., 2000
Herstel van estuariene gradiënten in het Waddengebied. Een onderbouwing van de ecologische meerwaarde van dit herstel en een eerste aanzet tot uitwerking. RIKZ rapport 2000.021.

Johnson, K.H., K.A. Vogt, H.J. Clark, O.J. Schmitz & D.J. Vogt, 1996
Biodiversity and the productivity and stability of ecosystems. Trends in Ecology & Evolution, vol. 11, issue 9: 372-377

Jorna, E.J. & W. Joosse, 1997
Doelvariabelen in de Watersysteemverkenningen 1996. RIZA werkdocument 97.099x

Kennish, M.J. (ed.), 2000
Estuary restoration and maintenance: the National Estuary Program. CRC Press LLC, Boca Raton, Florida, 359p.

Kiezebrink, M., 2000
Traditie, Trends en Toekomst. Eindconcept 3^{e} Kustnota. RIKZ Den Haag

Kinne, O., 1971
Marine ecology. Vol. I, Part 2 (Environmental factors). Wiley-interscience, London, New York

Klamer, J.C., R. van Zoest, R.W.P.M. Laane & G.T.M. van Eck, 1994
Estuaries as a filter for organic micropollutants: a case study of PCBs in the Rhine and Scheldt. In: Dyer, K.R. & R.J. Orth (eds.) Changes in Fluxes in Estuaries. Implications from science to management, p.121-124. Olsen &Olsen, Fredensborg, Denmark.

Knaapen, J.P., J. Klijn & M. van Eupen, 1999
Veerkracht van zoete en brakke wateren: een benadering van uit ecologie en ruimte. DLO-Staring Centrum, Wageningen, 52p.

Krol, J., A.P. Oost & J.M. Stam, 2000
2000 jaar Ameland. Uit: 2000 jaar Ameland. Stichting Amelander musea, Ameland

Laffoley, D. & K. Hiscock, 1993
The classification of benthic estuarine communities for nature conservation assessments in Great Britain. Netherlands Journal of Aquatic Ecology 27 (2-4), 181-187

Lenselink, G. & R. Gerits, 2000
Kansen voor herstel van zout-zoet overgangen in Nederland. RIZA-rapport 2000.032, ISBN 90-369-5329-4

Maas, G.J., 1998
Benedenrivier-Ecotopen-stelsel; Herziening van de ecotopenindeling Biesbosch-Voordelta en afstemming met het Rivier-Ecotopen-stelsel en de voorlopige indeling voor de zoute delta. DLO-Staring Centrum. Rijkswaterstaat, RIZA. 72 blz.; 5 foto's; 8 fig.; 12tab.; 4 bijl.

Marchand, M. & P. Baan, 1999
Veerkrachtbepalende processen van estuaria en kustwatersystemen: referentierapport voor een veerkrachtiger beheer van de Nederlandse estuaria en kustwaersystemen. Waterloopkundig Laboratorium/WL, Delft Hydraulics, 65p.

Maslen, J. & J. Hansom, 1999
Use of GIS to map land claim and identify potential areas for coastal managed realignment in the Forth estuary. Research report to SNH, 36p.

McLusky, D.S., 1989
The estuarine ecosystem. Blackie, Glasgow and London

McLusky, D.S., 1993
Marine and estuarine gradiënts - an overview. Netherlands Journal of Aquatic Ecology 27 (2-4), 489-493

McLusky, D.S., S.C. Hull & M. Elliott, 1993a
Variations in the intertidal and subtidal macrofauna and sediments along a salinity gradiënt in the upper Forth estuary. Netherlands Journal of Aquatic Ecology 27 (2-4), 101-109

Meire, P., M. Hoffman & T. Ysebaert (red.), 1995
De Schelde: een stroom natuurtalent. Instituut voor Natuurbehoud, Hasselt. Rapport 95.10

Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, 2000
Natuur voor mensen, mensen voor natuur. Nota natuur, bos en landschap in de 21e eeuw. Ministerie van LNV, Den Haag.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1998
Vierde Nota Waterhuishouding. Min. V&W, Den Haag

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2000
Europese Kaderrichtlijn Water, een tussenstand. Min. V&W, Den Haag

Ministeries van VROM en Buitenlandse Zaken, 1993
Conferentie inzake Milieu & Ontwikkeling, Rio de Janeiro, juni 1992, Verklaring van Rio, Agenda 21. Nederlandse vertaling, Ministeries van VROM en Buitenlandse Zaken/DGIS

Ministeries van V&W, VROM, LNV en EZ, 1999
Kust op koers: voorstudie. Opgesteld door Interdepartementale Visie Kust. Drukkerij Van Deventer

Mobrand, L.E., J.A. Lichatowich, L.C. Lestelle & T.S. Vogel, 1997
An approach to describing ecosystem performance "through the eyes of salmon". Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, vol. 54: 2964-2973

Mulder, H.P.J., 1998
Geomorfologische en hydrologische ontwikkelingen. In: Het Eems-Dollard estuarium: interacties tussen menselijke beïnvloeding en natuurlijke dynamiek. Redactie: K. Essink & P. Esselink. Rapport RIKZ-98.020

Nedwell, D.B., T.D. Jickells, M. Trimmer & R. Sanders, 1999
Nutriënts in estuaries. In: Nedwell, D.B. & Raffaelli, D.G. (eds.). Estuaries: advances in ecological research, vol.29. Academic Press, London, UK, 306p.

Nedwell, D.B. & D.G. Raffaelli (eds.), 1999
Estuaries: advances in ecological research, vol.29. Academic Press, London, UK, 306p.

Nienhuis, P.H., 1980
The epilithic algal vegetation of the SW Netherlands. NOVA HEDWIGIA. 33:1-92

O'Neill, R.V., 1999
Recovery in complex ecosystems. Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery, vol.6: 181-187

Oost, A.P., 1995
Dynamics and sedimentary development of the Dutch Wadden Sea with emphasis on the Frisian inlet. Faculteit Aardwetenschappen, Universiteit Utrecht. Proefschrift.

Oost, A.P., 1999
Over watervallen, delta's en estuaria. Een mogelijke beschouwing van het herstellen van een natuurlijkere zoet-zout-gradiënt tussen IJsselmeer en Waddenzee: Een delta als mogelijke optie? Werkdocument RIKZ/AB-99.604x

Oppers, M.B., 1996
Natuurontwikkeling en -waardering: een studie naar (randvoor)waarden van kustnatuurdoeltypen van Nederland. Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving (CUR), Land Water Milieu Informatietechnologie (LWI), Deelproject A6.3 III, 80p.

Paalvast, P., W. Iedema, M. Ohm & R. Posthoorn, 1998
MER Beheer Haringvlietsluizen. Over de grens van zout en zoet. Deelrapport Ecologie en Landschap. RIZA rapport 98.051

Pannekoek, A.J. & L.M.J.U. van Straaten, 1984.
Algemene Geologie. Wolters-Noordhoff, Groningen

Paterson, D.M. & K.S. Black, 1999
Water flow, sediment dynamics and benthic biology. In: Nedwell, D.B. & Raffaelli, D.G. (eds.). Estuaries: advances in ecological research, vol.29. Academic Press, London, UK, 306p.

Picket, S.T.A., R.S. Ostveld, M. Schachak & G.E. Likens (eds.), 1997
The ecological basis of conservation. Chapman and Hall, NewYork.

Pieters, T., 1998
Overgangen zoet-zout in de Oosterschelde in het verleden. Een historische analyse op basis van beschikbare literatuur. Rapport BGW 98.1

Power, M. (ed.), 1999
Recovery in aquatic ecosystems: Considerations for definition and measurement. Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery, vol. 6: 179-180

Pritchard, D.W., 1967
What is an estuary; a physical viewpoint. In: Estuaries, ed. by G.H. Lauff, 3-5. Washington, D.C., American Association for the Advancement of Science. (AAAS Publication no. 83)

Raad van de Europese Gemeenschappen, 1992
Richtlijn 92/43/EEG van de Raad van 21 mei 1992 inzake de instandhouding van de natuurlijke habitats en de wilde flora en fauna. De Raad van de Europese Gemeenschappen

Raad van de Europese Gemeenschappen, 1999
Amended proposal for a European parliament and Counsil Directive, establishing a framework for Community action in the field of water policy (COM(97)49 final). COM(1999) 271 final, 97/00677 (COD), Commision of the European Communities, Brussel. 69p.

Ramsar Convention Bureau, 1994
Convention on wetlands of international importance especially as waterfowl habitat, Ramsar, Iran, 2-2-1971, as amended by the Protocol of 3-12-1982 and the Amendments of 28-5-1987. UNESCO, Paris. 6p.

Ramsar Convention Bureau,1999
List of wetlands of international importance, designated by the contracting parties. date of list: 8 november 1999. Ramsar Convention Bureau, Zwitserland. 25p.

Redeke, H.C., 1922
Zur Biologie der Niederländischen Brackwassertypen. Bijdr. Dierd. Amsterdam 22, p. 329-335

Remane, A., 1934
Die Brackwasserfauna. Verh. Deutsch. Ges. 36: 34-74

Remane, A., 1969
Wie erkennt man eine genuine Brackwasserart? Limnologica 7 (1), 9-21

Remane, A. & C. Schlieper, 1958
Die Biologie des Brackwassers. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgard. 348 p.

Remmelzwaal, A., 2000
Beleidskaders voorhet werkveld natuur. Gespreksnotitie voor het RIZA platform natuur d.d. 17-11-2000.

Remmelzwaal, A., & J. Vroon, 2000
Werken met water, veerkracht als strategie. RIZA rapport 2000.021

Saeijs, H.L.F., 1982
Changing estuaries. Rijkswaterstaat communications, no. 32

Schuchardt, B., U. Haesloop & M. Schirmer, 1993
The tidal freshwater reach of the weser estuary: riverine or estuarine? Netherlands Journal of Aquatic Ecology 27 (2-4), 215-226

Schuchardt, B., M. Schirmer, G. Janssen, S. Nehring & H. Leuchs, 1999
Estuaria en brakke wateren. In: Waddenzee Quality Status Rapport 1999, p. 174-185. Vertaalde uitgave van Wadden Sea QSR 1999. RIKZ rapport 2000.008

Schulze, E-D. & H.A. Mooney (eds.), 1994
Biodiversity and ecosystem function. Ecological studies 99. Springer-Verslag, Berlin, 525p.

Sheppard, C., 1997
Biodiversity, productivity and system integrity. Marine pollution bulletin, vol. 34, issue 9: 680-681

Stive, M.J.F., Z.B. Wang, H.F.P. van den Boogaard & M.J. Baptist, 1998
Definitiestudie morfologische dynamiek Westerschelde. In opdracht van RIKZ. WL/Delft Hydraulics rapport Z2427

Tilman, D., 1996
Biodiversity: population versus ecosystem stability. Ecology, vol. 7, issue 2: 350-363

Underwood, G.J.C. & J. Kromkamp, 1999
Primary production by phytoplankton and microphytobenthos in estuaries. In: Nedwell, D.B. & Raffaelli, D.G. (eds.). Estuaries: advances in ecological research, vol.29. Academic Press, London, UK, 306p.

Van Dale, 1992
Groot Woordenboek der Nederlandse taal. 12e, herziene druk

Van de Kam, J., B. Ens, Th. Piersma & L. Zwarts, 1999
Ecologische atlas van de Nederlandse wadvogels. Scuyt & Co Uitgevers en Importeurs BV., Haarlem. ISBN 90-6097-509 x

Van der Maarel et al., 1978
Naar een Globaal Ecologisch Model voor de ruimtelijke ontwikkeling van Nederland. Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening. Staatsuitgeverij, Den Haag

Van der Meijden, R., E.J. Weeda, F.A.C.B. Adema & G.J. de Joncheere, 1983
Flora van Nederland. Heukels/Van der Meijden, 20e druk. Wolters-Noordhoff Groningen

Van der Molen, D.T., H.P.A. Aarts, J.J.G.M. Backx, E.F.M. Geilen & M. Platteeuw, 2000
RWS aquatisch. RIZA rapport 2000 (in druk)

Van der Welle, J. & P. Meire, 1999
Levende Eems. Herstelplan voor Eems en Dollard. Rapport 99/08 van het Instituut voor Natuurbehoud, Brussel. Uitgave: Waddenvereniging Groningen/Harlingen

Van Dijck, B., 1999
Holocene coastal evolution of the southeastern part of the North sea. IMAU Report R 99-4. Utrecht University

Van Haren, J.C.M. & M. van Wieringen, 1997
De ecologie van het Noordzeekanaalsysteem. Rijkswaterstaat Directie Noord-Holland, Haarlem, Nota NW 97.01. ISBN 90.3694231.4

Vanhemelrijk, J.A.M. & J.E.W. de Hoog, 1996
Amoebe's Benedenrivierengebied. Rijkswaterstaat, RIZA-rapport 96.004, ISBN 9036945275, 159p.

Van Tooren, B., 1999
Vogel- en habitatrichtlijn van belang voor Nederlands natuurbeheer. Vakblad Natuurbeheer, nr. 4: 50-54

Van Westen, C. & R.J. Scheele, 1996
Planning estuaries. NATO challenges of modern society, vol. 20. Plenum Press, New York and London

Vroon, J., C. Storm & J. Coosen, 1997
Westerschelde, stram of struis? Eindrapport van het Project Oostwest, een studie naar de beinvloeding van fysische en verwante biologische patronen in een estuarium. RIKZ rapport 97.023

Walker, P., J. Wanink, J. de Vlas & A.P. Oost, 2000
Verkenning van een natuurlijker zoet-zout overgang rond de Afsluitdijk. Definitiestudie Brakwaterzone. RIKZ rapport 2000.037

Westhoff, V., P.A. Bakker, C.G. van Leeuwen & E.E. van der Voo, 1981
Wilde Planten, flora en vegetatie in onze natuurgebieden, deel 1 (duinen en zilte gebieden) en 2 (het lage land). 5e druk. Vereniging tot Behoud van Natuurmonumenten in Nederland, 's-Graveland.

Wolfert, H.P., 1996
Rijkswateren Ecotopenstelsels; uitgangspunten en plan van aanpak. Rijkswaterstaat, RIZA, Lelystad. RIZA-rapport 96.050; ISBN 9036950163

Wolff, W.J., 1973
The estuary as a habitat. An analysis of data on the soft-bottom macrofauna of the estuarine area of the rivers Rhine, Meuse and Scheldt. Proefschrift, Rijksuniversiteit Leiden

Wolff, W.J., 1983
Estuarine benthos. In: Estuaries and enclosed seas, ed. by B.H. Ketchum. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam

Wolff, W.J., 1999
Exotic invaders of the meso-oligohaline zone of estuaries in the Netherlands: why are there so many? Helgoländer Meeresunters. 52, 393-400

Wulffraat, K.J., Th. Smit, H. Groskamp & A. de Vries, 1993
De belasting van de Noordzee met verontreinigende stoffen 1980-1990. Rapport DGW-93.037

Zagwijn, W.H., 1986
Nederland in het Holoceen. Staatsuitgeverij, Den Haag

Zonneveld, J.I.S., 1980
Tussen de bergen en de zee. De wordingsgeschiedenis der lage landen. Bohn, Scheltema & Holkema, Utrecht

Zwolsman, J.J.G., 1994
North Sea Estuaries as filters for contaminants. Delft hydraulics.



Het Grayís kustslakje komt alleen in een brakke omgeving voor.
Foto: Jaap de Vlas

Verklarende woordenlijst

Benthos
organismen die op of in de bodem leven

Brak water
water met een zoutgehalte tussen zee en zoet water in (dus 35 - 0,5 ‰ S) met een instabiel zoutgehalte

Brakwatersoort
soort die alleen in brak water voorkomt of daarin zijn optimum heeft

Delta
een in zee uitstekend sedimentlichaam, dat meestal bestaat uit een zandig skelet met tussenliggende delen van fijnkorreliger materiaal

Detritus
organische resten van uiteengevallen planten en dieren

Ecotoop
ruimtelijk te begrenzen ecologische eenheid, waarvan de samenstelling en ontwikkeling wordt bepaald door de abiotische, biotische en antropogene condities ter plaatse (Wolfert, 1996)

Endemische soort
soort die slechts van één locatie bekend is

Erosie
het verdwijnen van bodemmateriaal als gevolg van wind, golven en/of stroming

Estuariene gradiënten
de geleidelijke overgangen tussen de zee en de rivier enerzijds en tussen het water en het land anderzijds, zoals die van nature in estuaria voorkomen, waarbij zowel het getij, als de afvoer van zoet water, de menging van zout en zoet water, de diversiteit in sedimentatie en de natuurlijke dynamiek alle een grote rol spelen

Estuariene soort
soort die in een estuarien systeem leeft (= een soort die in het zoetwatergetijdengebied, in het brakke middengebied en/of in de kustzone voorkomt)

Estuarium
overgangsgebied tussen één (of meerdere) rivier(en) en de zee, waar de watermassa in beweging is onder invloed van de rivierwaterafvoer en het getij, bestaande uit 3 zones: 1) een zoetwatergetijdengebied, 2) een middengebied waar zoet rivierwater en zout zeewater zich mengen en 3) een kustzone.

Euhaliene soort
soort die voorkomt in water met een gemiddeld zoutgehalte van 30-40 ‰ S

Euryhaliene soort
soort die grote zoutschommelingen kan verdragen (dus in brak water kan leven)

Evertebraten
ongewervelde dieren

Getij-amplitude
het verschil in waterstand tussen gemiddeld hoog water en gemiddeld laag water

Getijprisma
het volume aan water binnen het estuarium tussen hoog en laag water

Kwelder (= schor)
buitendijks gebied met een zoutminnende vegetatie, die regelmatig door zout water wordt overspoeld

Macrobenthos
macrofauna die op of in de bodem leeft

Osmo-regulatie
regulatie van de osmotische waarde van de lichaamsvloeistoffen, ofwel het reguleren van de lichaamszouten

Pelagische soort
soort die in de waterkolom leeft (in tegenstelling tot benthische soort)

Saliniteit
zoutgehalte

Schor (= gors = kwelder)
buitendijks gebied met een zoutminnende vegetatie, die regelmatig door zout water wordt overspoeld

Sedimentatie
het op de bodem tot bezinking komen van in de waterkolom zwevend materiaal; in feite het omgekeerde proces van erosie

Slib
fijn materiaal dat in langzaam stromend water tot bezinking komt

Slik
aan het land grenzend slibrijk gebied tussen de hoogwater- en laagwaterlijn

Stenohaliene soort
soort die alleen in stabiel zoet water of in stabiel zout water kan leven

Velocity shearing
scharende krachten door ongelijkheid van stroomsnelheid en/of richting van verschillende waterlagen

Wantij
plaats waar 2 getijdestromen elkaar ontmoeten

Zoetwaterschor
gebied met een zoetwatervegetatie in een zoetwatergetijdengebied

Zoet-zout gradiënt
geleidelijke overgang tussen zoet en zout water



Melkkruid is een typische kustplant die zowel zout als zoet water tolereert.
Foto: Gerard Janssen

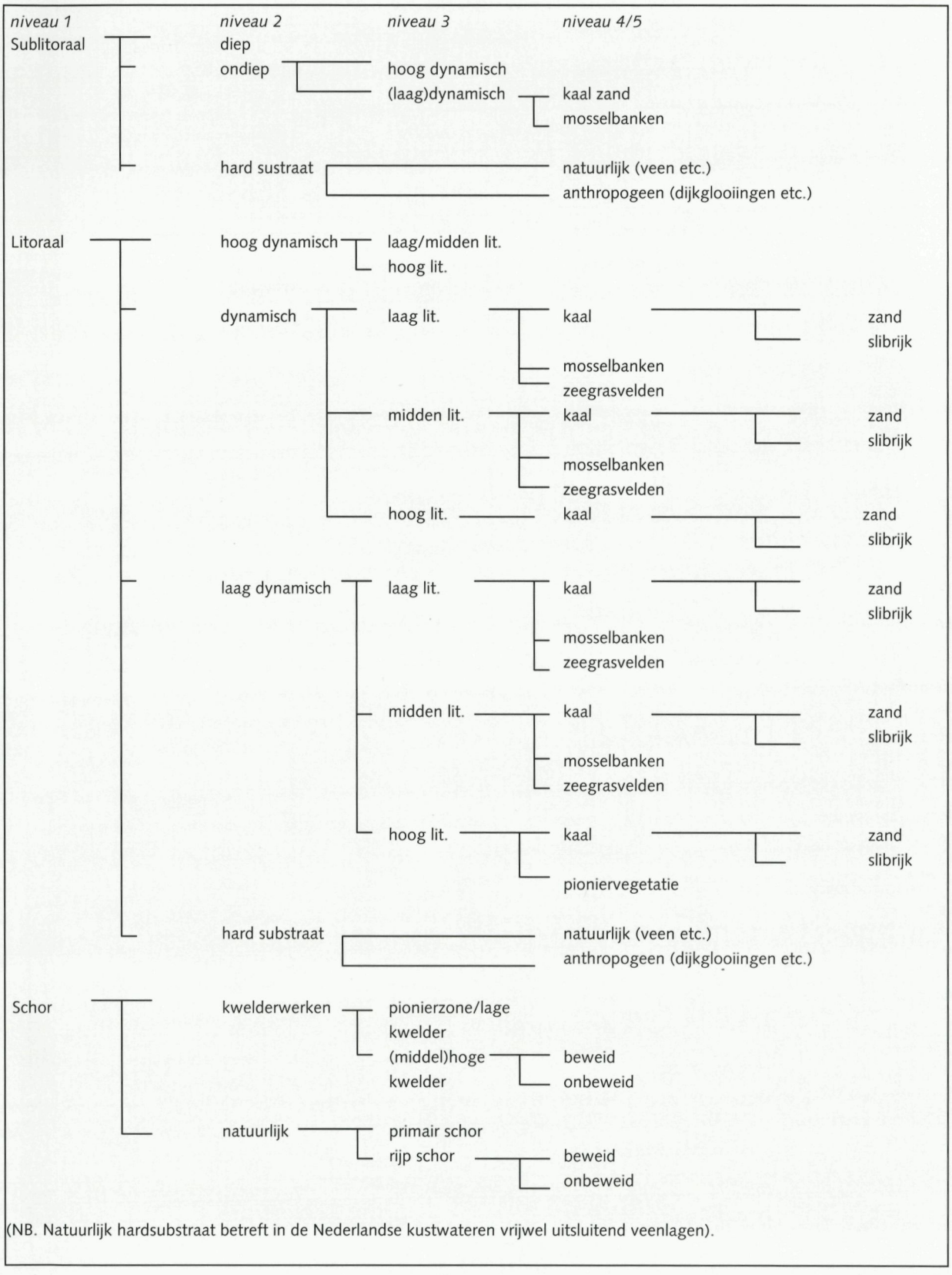
Bijlage 1 Ecotopenstelsels

Ecotopenindeling van het Benedenrivieren-Ecotopen-Stelsel (BES). Bron: Maas, 1998

BES Benedenrivieren Ecotopen Stelsel			
code	ECOTOOPGROEP	ECOTOOP	Vegetatietype
BB	Zeer diepe zoete getijde wateren	Zeer diepe zandbedding	-
		Zeer diepe zandbedding met schelpdierbank	-
		Zeer diepe slibbedding	-
		Zeer diepe slibbedding met schelpdierbank	-
	Diepe zoete getijdewateren	Zeer diep hard substraat (glooiing, bestorting)	-
		Diepe zandbedding	Ond. Fonteinkruidgem., Drijfbladgem.
		Diepe zandbedding met schelpdierbank	Ond. Fonteinkruidgem., Drijfbladgem.
		Diepe slibbedding	Ond. Fonteinkruidgem., Drijfbladgem.
		Diepe slibbedding met schelpdierbank	Ond. Fonteinkruidgem., Drijfbladgem.
		Diep hard substraat (glooiing, bestorting)	Rietgrasgem., Harig-wilgenroosjegem., Haagwinde-rietruigten, Brandnetel-rietruigten, Bitterzoetgem.
	Ondiepe zoete getijdewateren	Ondiepe zandbedding	-
		Ondiepe zandbedding met vegetatie	Kranswiergem., Ond.Fonteinkruid-gem., Drijfbladgem.
		Ondiepe zandbedding met schelpdierbank	-
		Ondiepe slibbedding	-
		Ondiepe slibbedding met vegetatie	Ond. Fonteinkruidgem., Drijfbladgem.
		Ondiepe slibbedding met schelpdierbank	
		Ondiep hard substraat (glooiing, bestorting)	Rietgrasgem., Harig-wilgenroosjegem., Bitteragwinde-rietruigten, Brandnetel-rietruigten, Bitterzoetgem.
	Platen en slikken	Zandplaat	-
		Zandplaat met pioniervegetatie/biezen	Tandzaadgem, Biezengem
		Slik	-
		Slik met pioniervegetatie/biezen	Waterereprijsgem., Slijkgroengem., Tandzaadgem, Biezengem.
		Afslagoever/steiloever	-
		Hard substraat (glooiing, bestorting)	Rietgrasgem., Moerasspireagem., Harig-wilgenroosjegem., Haagwinde-rietruigten, Brandnetel-rietruigten, Bitterzoetgem., Bijvoetgem.
BK	**Kommen en lage gorzen**	Biezengors	Biezengem.
		Structuurrijke gorsruigte	Biezengem., Liesgrasgem., Rietgrasgem., Moerasspireagem., Rivierkruiskruidgem., Harig-wilgenroosjegem.
		Rietgors	
		Soortenarm rietgors	Rietgem.
		Soortenrijk rietgors	Rietgem., Grote-zeggegem., Haagwinde-rietruigten
		Vloedbos	Zachthoutooibossen
		Griend	Zachthoutooibossen
		Overstromingsgrasland	Waterereprijsgem., Zilverschoongraslanden

BES Benedenrivieren Ecotopen Stelsel			
code	ECOTOOPGROEP	ECOTOOP	Vegetatietype
BG	**Gorzen**	Gorsruigte	Haagwinde-rietruigten, Brandnetel-rietruigten, Late-gulderoedegem.
		Overstromingsarm vloedbos	Zachthoutooibossen
		Griend/produktiebos	Zachthoutooibossen
		Moerassige grasgors	Grote-vossenstaartgem.
		Structuurrijk grasgors	Grote-vossenstaartgem.
		Grasgors hooiland	Glanshaverhooilanden
		Produktiegrasland	Productiegraslanden
BO	**Oeverwal**	Oeverwal met rivierduinvorming	Stroomdalgraslanden
BH	**Hoogwatervrij terrein**	Ruigte op hoogwatervrij terrein	
		Hoogwatervrije akker	
		Bebouwd/verhard hoogwatervrij terrein	
		Hoogwatervrij bos	
		Hoogwatervrij struweel	
		Hoogwatervrij produktiebos	
		Hoogwatervrij schraalgrasland	
		Hoogwatervrij hooiland	
		Hoogwatervrij produktiegrasland	

Voorstel ecotopenindeling ZES (zoute kustwateren). Bron: De Jong, 1999



(NB. Natuurlijk hardsubstraat betreft in de Nederlandse kustwateren vrijwel uitsluitend veenlagen).



De Dollard is een uniek onderdeel van het Eems estuarium.
Foto: Gerard Janssen

Bijlage 2 Verspreiding van wieren in een getijdezone

Horizontale en verticale verspreiding van wieren in de getijde zone in Zuid-West Nederland. Bron: Nienhuis, 1980.

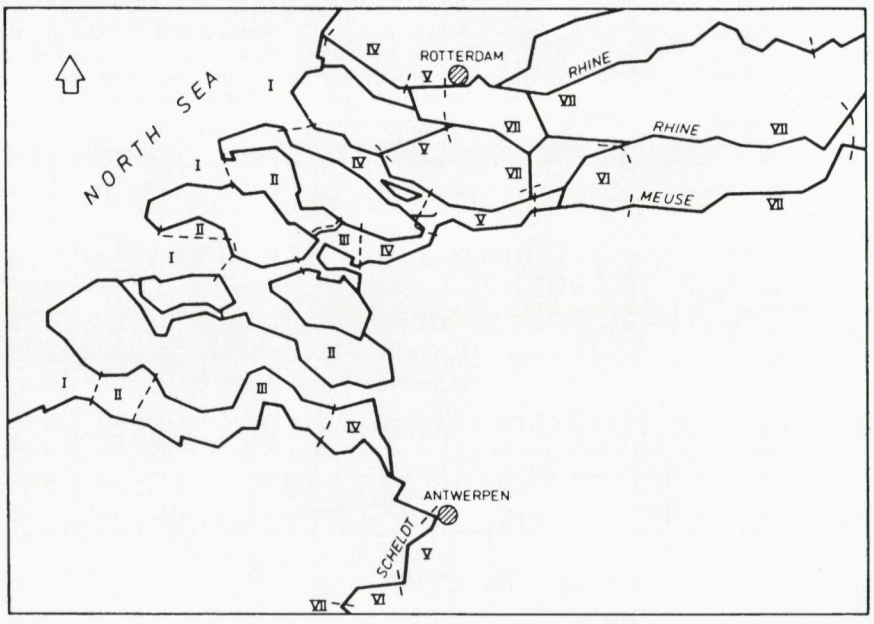
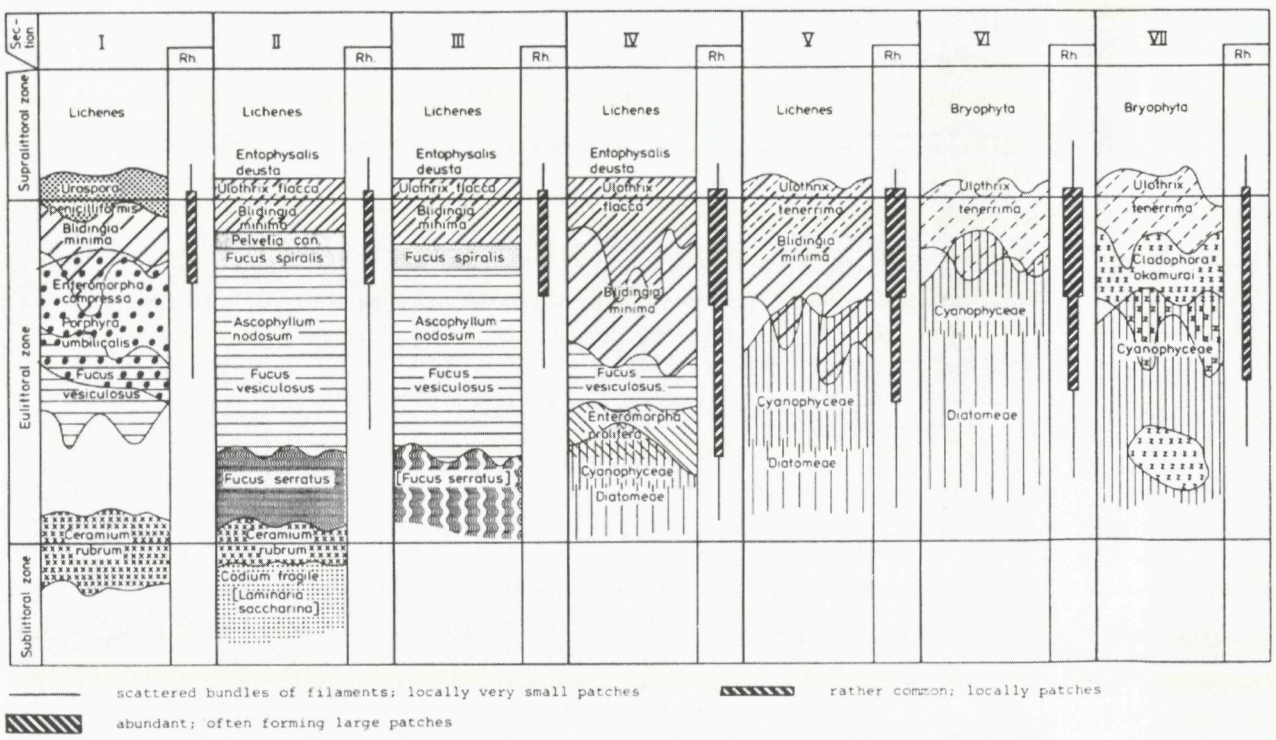


Table IV: Characteristics of the sections into which the hard substrates in the tidal waters in the Delta area have been divided (cf. Fig. 12).

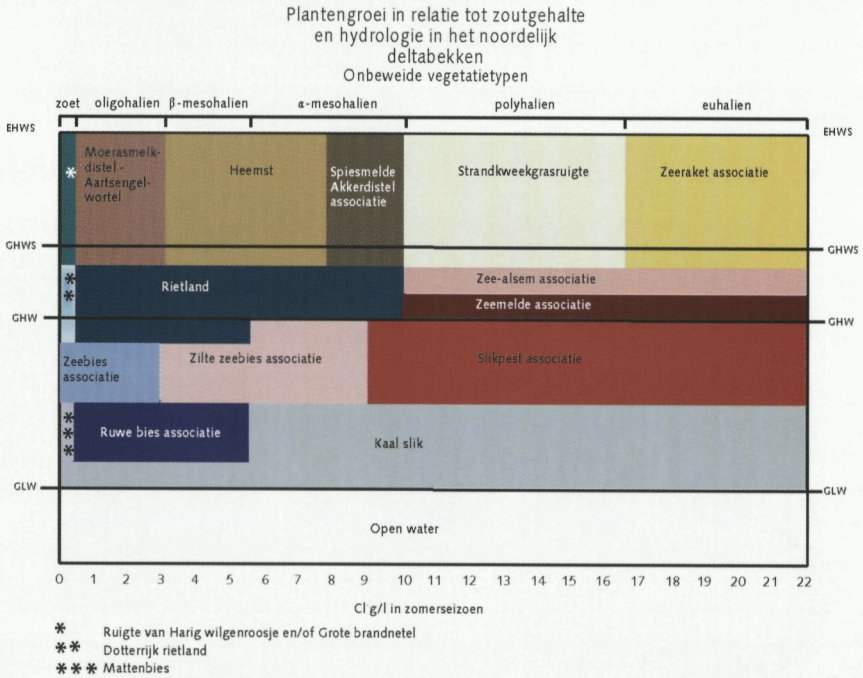
Section I :	North Sea coast and mouths of the sea-arms
Exposure :	semi-exposed
Salinity :	> 15 ‰ Cl^- on an average; in the mouths of Haringvliet and Nieuwe Waterweg lower values have been measured
Sediment :	bare, or sand deposits
Section II :	Oosterschelde, Keeten, Krabbekreek, Eendracht, Grevelingen, Westerschelde near Vlissingen
Exposure :	sheltered
Salinity :	> 15 ‰ Cl^- on an average
Sediment :	locally very thin silt-film
Section III:	Krammer, Westerschelde up to 10 ‰ Cl^- isohaline
Exposure :	sheltered
Salinity :	10 - 15 ‰ Cl^- on an average
Sediment :	locally thin silt-film

Section IV:	Nieuwe Waterweg, Haringvliet, Volkerak, Westerschelde from 10 ‰ Cl^- isohaline up to Antwerpen
Exposure :	sheltered
Salinity :	1 - 10 ‰ Cl^- on an average
Sediment :	almost closed silt-layer, 0.5 mm. thick on an average
Section V :	Hollands Diep, Westerschelde from Antwerpen to Steendorp
Exposure :	sheltered
Salinity :	0.3 - 1 ‰ Cl^- on an average
Sediment :	almost closed silt-layer, 0.5 mm. thick on an average
Section VI:	Biesbosch, Westerschelde from Steendorp to Blaasrode
Exposure :	sheltered
Salinity :	< 0.3 ‰ Cl^- on an average
Sediment :	almost closed silt-layer, 0.5 mm. thick on an average
Section VII:	Merwede, Lek (Rhine), and Meuse up to tidal limit, Oude Maas, Noord, Dordtse Kil, Westerschelde up to tidal limit
Exposure :	sheltered
Salinity :	< 0.3 ‰ Cl^- on an average
Sediment :	closed silt-layer, 2mm. thick on an average

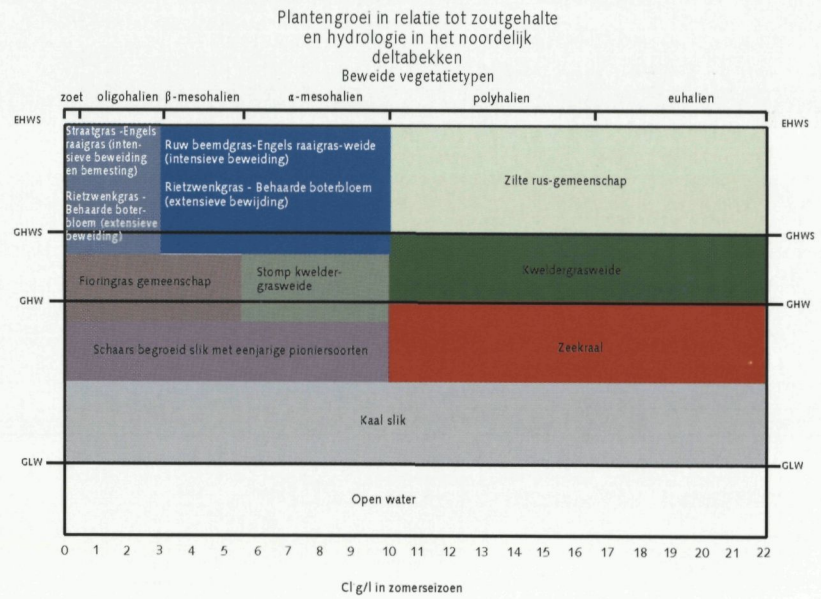


Bijlage 3 Vegetatieontwikkeling en zoutgehalte

Eindsituatie van de vegetatieontwikkeling in relatie tot het zoutgehalte en de hydrologie volgens het model EMOE in onbeweide situaties. Bron: Paalvast et al., 1998.



Eindsituatie van de vegetatieontwikkeling in relatie tot het zoutgehalte en de hydrologie volgens het model EMOE in beweide situaties. Bron: Paalvast et al., 1998.





Oog in oog met een Snotolf, seizoensgast van estuaria.
Foto: Hans Hut

Bijlage 4 Vissoorten in estuaria

Vissoorten die kunnen voorkomen in een estuarium

			Algemene ecologische info				
Wetenschappelijke naam	**Nederlandse naam**	**Synoniemen**	**Ecol. gilde**	**habitat**	**bodem**	**voedsel**	**voortplanting**
Acipenser sturio	Steur		ca	d	s	i,f	Ob
Alosa alosa	Elft		ca	p	n.v.t.	p	Ob
Alosa fallax	Fint		ca	p	n.v.t.	p,f	Ob
Anguilla anguilla	Paling		ca	b	f	p,i,j,f	Op
Coregonus lavaretus	Grote marene		ca	p	n.v.t.	p,f	Op,Ob
Gasterosteus aculeatus	Driedoornige stekelbaars		ca	p	n.v.t.	i,f	Og
Lampetra fluviatilis	Rivierprik	Petromyzon f.	ca	b	f	f (paras.)	Os
Liza ramada	Dunlipharder	Mugil capito	ca	p	n.v.t.	p,i,d,v	Op
Osmerus eperlanus	Spiering		ca	p	n.v.t.	i,f	Ob
Petromyzon marinus	Zeeprik		ca	b	f	f (paras.)	Os
Salmo salar	Zalm		ca	p	n.v.t.	i,j,f	Os
Salmo trutta trutta	Zeeforel		ca	p	n.v.t.	i,j,f	Os
Agonus cataphractus	Harnasmannetje		er	b	f	i	Ov
Ammodytes tobianus	Zandspiering	A. lancea	er	b	s	p	Ob
Aphia minuta	Glasgrondel	Aphya pllucida	er	p	n.v.t.	p	Os
Atherina boyeri	Kleine koornaarvis		er	p	n.v.t.	p,i	Ov
Coregonus oxyrinchus	Houting		er	p	n.v.t.	p,i	Ob
Gobius niger	Zwarte grondel		er	b	f,v	i,j,f	Ob
Hippocampus ramulosus	Zeepaardje		er	d	m,v	i	W
Liparis liparis	Slakdolf		er	b	m	i,f	Ov
Myoxocephalus scorpius	Zeedonderpad		er	b	f,v	i,f	Og
Nerophis lumbriciformis	Kleine wormzeenaald		er	b	r,v	i,f	Og
Pholis gunnellus	Botervis		er	b	m,v	i	Og
Platichthys flesus	Bot	Pleuronectes f.	er	b	f	i,f	Op
Pomatoschistus microps	Brakwatergrondel		er	b	s	i	Ob
Pomatoschistus minutus	Dikkopje		er	b	s	i	Ob
Raniceps raninus	Vorskwab		er	b	m	i,f	Ob
Spinachia spinachia	Zeestekelbaars		er	d	r	i	Os
Syngnathus acus	Grote zeenaald		er	b	m	i,f	Os
Syngnathus rostellatus	Kleine zeenaald		er	b	s,v	i	Os
Syngnathus typhle	Trompetterzeenaald	Siphonostomus t.	er	d	f.v	i,f	Os
Zoarces viviparus	Puitaal		er	b	m,v	i	V
Abramis brama	Brasem		fw	d	m,v	p,i	Ov
Alburnus alburnus	Alver		fw	p	n.v.t.	i,j,f	Ov
Aspius aspius	Roofblei		fw	p	n.v.t.	i,j,f	Ob
Barbus barbus	Barbeel		fw	d	s	i,j	Ob
Blicca bjoerkna	Kolblei		fw	p	n.v.t.	p,i,v	Ov
Carassius auratus auratus	Goudvis		fw	d	m,v	o	Ov
Carassius auratus gibelio	Giebel		fw	d	m,v	o	Ov
Carassius carassius	Kroeskarper		fw	p	n.v.t.	o	Ov
Chondrostoma nasus	Sneep		fw	d	r	v	Ob
Cottus gobio	Rivierdonderpad		fw	b	r	i,f	Og

			Algemene ecologische info				
Wetenschappelijke naam	**Nederlandse naam**	**Synoniemen**	**Ecol. gilde**	**habitat**	**bodem**	**voedsel**	**voortplanting**
Ctenopharyngodon idella	Graskarper		fw	p	m,v	v	?
Cyprinus carpio	Karper		fw	d	m,v	o	Ov
Esox lucius	Snoek		fw	d	m,v	i,f	Ov
Gobio gobio	Riviergrondel		fw	d	s	i	Ov
Gymnocephalus cernua	Pos		fw	d	f	i,j,v	Ov
Lepomis gibbosus	Zonnebaars		fw	d	m,v	i,f	Og
Leuciscus cephalus	Kopvoorn		fw	p	n.v.t.	o	Ov
Leuciscus idus	Winde		fw	p	n.v.t.	i	Ov
Leuciscus leuciscus	Serpeling		fw	p	n.v.t.	i,j,v	Ob
Lota lota	Kwabaal		fw	d	n.v.t.	i,f	Ob?
Oncorhynchus mykiss	Regenboogforel	Salmo gairdneri	fw	p	n.v.t.	o	Ob
Perca fluviatilis	Baars		fw	p	n.v.t.	p.i.f	Ov
Pseudorasbora parva	Blauwband		fw	d	n.v.t.	p,i	?
Pungitius pungitius	Tiendoornige stekelbaars		fw	d	f	i	Og
Rutilus rutilus	Blankvoorn		fw	p	n.v.t.	p,i,j,v	Ov
Salmo trutta fario	Beekforel		fw	p	n.v.t.	i,j,f	Os
Scardinius erythrophthalmus	Ruisvoorn		fw	p	n.v.t.	i,p,v	Ov
Silurus glanis	Meerval		fw	d	m,v	i,f	?
Stizostedion lucioperca	Snoekbaars		fw	d	r	i,f	Ob
Tinca tinca	Zeelt		fw	p	n.v.t.	i	Ov
Vimba vimba	Blauwneus		fw	p	n.v.t.	p,i	?
Anarhichas lupus	Zeewolf		ma	d	r	i	Ob
Ammodytes lanceolatus	Smelt	Hyperoplus l.	ma	b	s	p,f	Ob
Ammodytes marinus	Noorse zandspiering		ma	b	s	p,i,f	Ob
Argyrosomus regius	Ombervis	A. regium; Sciaena aquila	ma	p	n.v.t.	i,f	Op
Arnoglossus laterna	Schurftvis		ma	b	f	i,f	Ob
Aspitrigla cuculus	Engelse poon		ma	b	f	i,f	Ob
Balistes carolinensis	Trekkervis		ma	d	r,v	i	Og
Boops boops	Bokvis		ma	d	m	o	Op
Brama brama	Braam		ma	p	n.v.t.	i,f	Op
Buglossidium luteum	Dwergtong		ma	b	s	i	Op
Callionymus lyra	Pitvis		ma	b	f	i	Op
Callionymus reticulatus	Rasterpitvis		ma	b	s	i	Op
Centrolophus niger	Zwarte vis		ma	p	n.v.t.	p,i,f	Op
Cetorhinus maximus	Reuzehaai		ma	p	n.v.t.	p	V
Ciliata septentrionalis	Noorse Meun		ma	p	n.v.t.	i	Op
Conger conger	Congeraal		ma	b	r	i,f	Op
Ctenolabrus rupestris	Kliplipvis		ma	d	r,v	i	Og
Enophrys bubalis	Groene zeedonderpad	Taurulus b.; Acanthocottus b.	ma	b	r,v	i,f	Ov
Entelurus aequoreus	Adderzeenaald		ma	d	m,v	?	W
Gaidropsarus vulgaris	Driedradige meun		ma	b	r	i,f	Op
Galeorhinus galeus	Ruwe haai		ma	d	s	i,f	W
Hippoglossoides platessoides	Lange schar		ma	b	f	i,f	Op
Hippoglossus hippoglossus	Heilbot		ma	b	f	i,f	Op
Labrus bergylta	Gevlekte lipvis		ma	d	r,v	i	Os
Lamna nasus	Haringhaai		ma	p	n.v.t.	f	W
Lampris guttatus	Koningsvis	L. luna	ma	p	n.v.t.	i,f	Op

			Algemene ecologische info				
Wetenschappelijke naam	**Nederlandse naam**	**Synoniemen**	**Ecol. gilde**	**habitat**	**bodem**	**voedsel**	**voortplanting**
Liparis montagui	Kleine slakdolf		ma	b	r,v	i	Ov
Lophius piscatorius	Zeeduivel		ma	b	m	f	Os
Maurolicus muelleri	Lichtend sprotje		ma	p	n.v.t.	i	Op
Melanogrammus aeglefinus	Schelvis		ma	d	m	i,f	Ob
Merluccius merluccius	Heek		ma	d	m	f	Op
Micromesistius poutassou	Blauwe wijting		ma	p	n.v.t.	i	Op
Microstomus kitt	Tongschar		ma	b	r	i	Op
Mola mola	Maanvis		ma	p	n.v.t.	i,v	Op
Molva molva	Leng		ma	d	r	i,f	Ob
Mullus surmuletus	Mul		ma	b	r	i	Op
Mustelus asterias	Gevlekte gladde haai		ma	d	m	i,f	W
Mustelus mustelus	Gladde haai		ma	d	m	i	V
Pollachius virens	Koolvis		ma	d	r	i,f	Op
Pomatoschistus lozanoi	Lozano's grondel		ma	b	s	i	Ob
Pomatoschistus pictus	Kleurige grondel		ma	b	s	i	Ob
Raja batis	Vleet		ma	b	s	i,f	Os
Raja clavata	Stekelrog		ma	b	s	i	Os
Scomber scombrus	Makreel		ma	p	n.v.t.	i,f	Op
Scomberesox saurus	Makreelgeep		ma	p	n.v.t.	p,i,f	Op
Scyliorhinus canicula	Hondshaai		ma	d	f	i,f	Os
Scyliorhinus stellaris	Kathaai		ma	d	r	i,f	Os
Sebastes viviparus	Kleine roodbaars		ma	b	r	i,f	W
Solea lascaris	Franse tong		ma	d	f	i	Op
Squalus acanthias	Doornhaai		ma	b	f	i,f	W
Squatina squatina	Zeeengel		ma	b	f	i,f	W
Trachinotus ovatus	Gaffelmakreel		ma	p	n.v.t.	i,f	Op
Trachinus draco	Grote pieterman		ma	b	f	i,f	Op
Trachurus trachurus	Horsmakreel		ma	d	s	i,f	Op
Trisopterus minutus	Dwergbolk		ma	d	r	i,f	Ob
Zeugopterus punctatus	Gevlekte griet		ma	b	r	i,f	Ob
Zeus faber	Zonnevis		ma	p	r,v	i,f	Op
Atherina presbyter	Koornaarvis	Hepsetia p.	mj	p	n.v.t.	i,f	Ov
Clupea harengus	Haring		mj	p	n.v.t.	i,f	Ob
Dicentrarchus labrax	Zeebaars	Morone l.	mj	d	m	i,f	Op
Gadus morhua	Kabeljauw		mj	d	f	i,f	Op
Limanda limanda	Schar		mj	b	s	i,f	Ob
Merlangius merlangus	Wijting		mj	d	f	i,f	Ob
Pagellus bogaraveo	Zeebrasem	P. centrodontus	mj	d	m	o	Op
Pleuronectes platessa	Schol		mj	b	f	i	Op
Pollachius pollachius	Pollak		mj	d	r	f	Op
Scophthalmus maximus	Tarbot	Psetta maxima	mj	b	f	f	Op
Scophthalmus rhombus	Griet		mj	b	f	i,f	Ob
Sebastes marinus	Roodbaars		mj	p	n.v.t.	i,f	W
Solea solea	Tong	S. vulgaris	mj	b	f	i	Op
Spondyliosoma cantharus	Zeekarper		mj	b	m,v	o	Og
Trigla lucerna	Rode poon		mj	d	f	i,f	Ob
Trisopterus luscus	Steenbolk		mj	d	m	i,f	Ob

			Algemene ecologische info				
Wetenschappelijke naam	**Nederlandse naam**	**Synoniemen**	**Ecol. gilde**	**habitat**	**bodem**	**voedsel**	**voortplanting**
Belone belone	Geep		ms	p	n.v.t.	i,f	Ov
Chelon labrosus	Diklipharder	Mugil chelo; Crenimugil l.;	ms	d	r,v	p,i,d	Op
Ciliata mustela	Vijfdradige meun	Onos mustelus	ms	b	m	f	Op
Cyclopterus lumpus	Snotolf		ms	b	r	i,f	Og
Dasyatis pastinaca	Pijlstaartrog		ms	b	f	i,f	W
Engraulis encrasicolus	Ansjovis		ms	p	n.v.t.	p	Op
Eutrigla gurnardus	Grauwe poon		ms	b	s	i,f	Op
Liza aurata	Goudharder	Mugil auratus	ms	p	n.v.t.	p,i,j,v	Op
Sardina pilchardus	Sardien/Pelser		ms	p	n.v.t.	p,i	Op
Sprattus sprattus	Sprot		ms	p	n.v.t.	p	Op

Ecologisch gilde

ca = diadrome soorten (vissen die migreren tussen zee en rivier en die het estuarium als trekroute gebruiken tussen paai- en opgroeigebied).

er = estuariene soorten (soorten die hun totale levenscyclus in het estuarium kunnen hebben)

fw = zoetwatersoorten (soorten zonder speciale behoefte aan een estuarium; bezoeken onregelmatig het brakke water)

ma = mariene gast (zeesoort zonder speciale behoefte aan estuarium, bezoekt onregelmatig)

mj = mariene juveniel (zeesoort waarvan de jonge exemplaren ook kunnen opgroeien in een estuarium)

ms = mariene volwassene (zeesoort die in een vast seizoen een estuarium kan bezoeken, meestal in volwassen stadium)

Habitat

d = demersaal (in de waterkolom maar dicht bij de bodem)

p = pelagisch (aan het oppervlak)

b = benthisch (op de bodem)

Bodem

s = zandige bodem, alleen op zand

f = zachte bodem (zand, slib en/of fijn grind)

r = harde bodem (rots en stenen, keien)

m = geen voorkeur

v = in of boven vegetatie

Voedsel

p = planktivoren; eten voornamelijk zooplankton

i = insectivoren; eten voornamelijk evertebraten (macrozoöbenthos)

f = piscivoren; eten voornamelijk vis

v = herbivoren; eten voornamelijk planten

d = detritivoren; eten voornamelijk dood organisch weefsel

o = omnivoren; alleseters

Het spreekt voor zich dat het voorkomen van een groep vissen met typisch dieet mede afhankelijk is van het voorkomen van voedselorganismen.

Voortplanting

v = levendbarend

w = eierlevendbarend

o = eierleggend, onderverdeeld in;

op: pelagische eieren

ob: benthische eieren

og: bescherming van de eieren door een ouder

os: eieren in een nest of beschermend (buidel)

ov: eieren tussen of op vegetatie

Bijlage 5 Vogelsoorten in estuaria

Overzicht van vogelsoorten die gebruik maken van estuaria. Bron: Lenselink & Gerits, 2000.

Vogelsoorten	Fourageert in de winter	Fourageert op trek	Fourageert in broedtijd	Broedpopulatie > 1% *	RAMSAR criterium > 1% *
Aalscholver		x	x	*	14
Bergeend	x	x	x		31
Bontbekplevier	x	x	x		5
Bonte Strandloper	**x**	**x**			**29**
Brandgans	**x**	**x**			**100**
Drieteenstrandloper	x	x			10
Dwergmeeuw	x	x			21
Dwerg stern		x	x		4
Eidereend	**x**	**x**	**x**		**5**
Goudplevier		**x**			**23**
Groenpootruiter		x			1
Grote mantelmeeuw	x	x	x		15
Grote Stern		x	x	*	25
Grutto		**x**	**x**		**81**
Kanoet strandloper	**x**	**x**			**30**
Kleine mantelmeeuw	x	x	x	*	18
Kleine strandloper	x	x			1
Kokmeeuw	**x**	**x**	**x**	*	**17**
Krombekstrandloper		x			
Kluut		x	x	*	36
Kuifeend		**x**	**x**		**30**
Lepelaar		x	x		>57
Meerkoet	**x**	**x**	**x**		**24**
Noordse stern		x	x		
Oeverloper	x	x			<3
Paarse strandloper		x			1
Regenwulp	x	x			5
Rosse grutto		**x**			**81**
Rotgans	**x**	**x**			**100**
Scholekster	**x**	**x**	**x**		**48**
Slobeend	x	x	x		20
Smient	**x**	**x**			**44**
Steenloper	x	x			6
Stormmeeuw	**x**	**x**	**x**	*	**25**
Strandplevier		x	x	*	3
Tafeleend		**x**	**x**		**35**
Toppereend	**x**				**51**
Tureluur	x	x	x		16
Visdief		x	x	*	20
Waterhoen	**x**	**x**	**x**		**<23**
Waterral	x	x	x		5
Watersnip	**x**	**x**	**x**		**<13**
Wilde eend	**x**	**x**	**x**		**24**

Vogelsoorten	Fourageert in de winter	Fourageert op trek	Fourageert in broedtijd	Broedpopulatie > 1%*	RAMSAR criterium > 1%*
Wintertaling	x	x	x		21
Witgatje		x			<3
Wulp		**x**	**x**		**46**
Zilvermeeuw	**x**	**x**	**x**		**23**
Zilverplevier	x	x		*	30
Zwartkopmeeuw			x	*	>50
Zwarte ruiter	x	x			6

*Nederlandse broedpopulatie ten opzichte van Noordwest Europese broedpopulatie

** Populatie grootte in Nederland (op enig moment; vet gedrukt soorten met meer dan 100.000 exemplaren naar (Altenburg et al., 1997)



Zwarte ruiter, voedselzoekend.
Foto: Jan van de Kam

Bijlage 6 Primaire productie in estuaria

Primaire productie van fytoplankton (I) en microfytobenthos (II) in estuaria.
Bron: Underwood & Kromkamp, 1999.

Table I Phytoplanktonic primary production in different estuaries

Estuary	References	Station (code) or time period	Annual production (gC m^{-2})	Mean chlorophyll a (mg m^{-3})	Max. daily production (gC m^{-2})	Max chlorophyll a (mg m^{-3})
Europe						
Oosterschelde	Wetsteyn and Kromkamp (1994)	Outer(P5)	223-540	3.0-7.4	4-10	14-43
		Central (P3)	242-406	3.0-6.6	4-8.5	16-36
		Inner (O21)	230-460	3.6-9.1	4-10	10-50
Westerschelde	van Spaendonk *et al.* (1993)	Outer	212-230	7.7-8.7	2.4-3.6	21-24
	Kromkamp *et al.* (1995)	Central	184-197	8.5-11.1	1.2-3.7	26-33
		Inner	75-100	7.7-20.1	0.9-1.7	21-41
		Freshwater	500-875	32.2-50.9	2.5-2.8	72-120
Bristol Channel	Joint and Pomroy (1981)	Outer	165			1-2
		Central	49			2-10
		Inner	7-8			1-3
Ems-Dollard	Colijn (1983)	Outer	166-408	4.2-12.0	1.7-6.1	16-44
		Central	26-154	4.6-9.9	1.6-4.5	13-45
		Inner	70	3.9-11.9	0.6-0.9	11-45
Marsdiep	CadÈe (1986)	1995 - 1975	140-200	3-6	1.5-3.5	
	CadÈe and Hegeman (1993)	1975 - 1992	250-390	6-15	5-6.5	38-42
United States						
San Fransisco Bay	Cole and Cloern (1984, 1987)	South Bay	150		2.2-3.3	10-70
	Cloern (1996)	San Pablo	110-130		0.9-1.2	6-14
		Suisun Bay	93-98	1.1-14.6	<0.55	20-50
Tomales Bay	Cole (1989)	Outer (1-4)	440-520	7-8	2-5	6-12
		Central (6-12)	360-810	5-11	3-9	15-83
		Inner (14-18)	60-210	2.8-4	0.1-0.5	3-9
Neuse River Estuary	Paerl *et al.* (1998) Pickney *et al.* (1998)	Intergated	360-531		2.5-3.4	40 to >50
Chesapeake Bay	Harding (1994)	Outer (I)		0.8-8.9		
	Boynton *et al.* (1982) Harding (1994)	Central (III-IV)	337-782	4.0-10.5		15
	Harding (1994)	Inner (VI)		2.1-16.1		
Hudson River	Cole *et al.* (1992)	Freshwater	70-220	18-22	1.2	30-55
Bash Harbor Marsh	Kinney and Roman (1998)	Lower marsh	11	2.6	12	11
Delaware estuary	Malone (1977)	Outer	344			
		Central	296			40
		Inner	200			

Estuary	References	Station (code) or time period	Annual production (gC m^{-2})	Mean chlorophyll a (mg m^{-3})	Max. daily production (gC m^{-2})	Max chlorophyll a (mg m^{-3})
Peconic Bay	Bruno *et al.* (1980, 1983)	Outer (8-9)		3.0-3.5		
		Central (4-7)	162-191	2.9-3.2	2.1-4.6	14
		Inner (1-3)	213	3.5-10.3	1.4	13
Asia						
Pearl River estuary	Lee (1990)	Pond 18	20	3-5		7-16

When data for several years were available, the range is given.

Table II
Microphytobenthic primary production from intertidal sediments in different estuaries. Adapted from Heip et al. (1995) and Macintyre et al. (1996) with additions

Estuary	Method	Annual production (g C m^{-2})	Mean clorophyll a (mg m^{-2})	Daily production (mg C m^{-2})	References
Europe					
Ythan estuary, Scotland	^{14}C	116	25-34 µg g^{-1} sediment	9-226	Leach (1970)
Wadden sea, Netherlands	^{14}C	60-40	40-400	15-1120	Cadée and Hegeman (1974) and
	^{14}C	29-188	3-13 µg g^{-1}	<50-920	Cadée and Hegeman (1977)
Lyncher estuary, UK	^{14}C	143	30-80 µg g^{-1}	5-115 (h^{-1})	Joint (1978)
Ems-Dollard, Netherlands	O_2	69-314	-	0-1900	van Es (1982)
	^{14}C	62-276	33-184	600-1370	Colijn and de Jonge (1984)
Oosterschelde, Netherlands	^{14}C	105-210	99-212		Nienhuis *et al.* (1985)
Pre 1985	^{14}C	150	115		de Jong *et al.* (1994)
Post 1985	^{14}C	242	195		
Westerschelde, Netherlands	^{14}C	136	113	-	de Jong and de Jonge (1995)
Ria de Arosa, Spain	^{14}C	54			Varela and Pena (1985)
Tagus estuary, Portugal	O_2	47-178		5-32 (h^{-1})	Brotas and Catarino (1995)
Africa					
Langebaan Lagoon, South Africa	^{14}C	63 (sand)		17-69	Fielding *et al.* (1988)
		253 (mud)			
North America					
False Bay, Washington	O_2	143-226	30-70 µg g^{-1}		Pamatmat (1968)
Falmouth Bay, Massachusetts	^{14}C	106	-	5-85 (h^{-1})	van Raalte *et al.* (1976)
Bay of Fundy, Canada	O_2	47-83	10-500		Hargave *et al.* (1983)
Graveline Bay, Mississippi	^{14}C			5-56 (h^{-1})	Sullivan and Montcreiff (1988)
North Inlet, South Carolina	O_2 micro	93	60-120	19-180	Pickney and Zingmark (1993)
	O_2 micro	56-234			Picjney (1994)
Weeks Bay, Alabama		90.1	0.2-30.7	10-750	Schneiner and Pennock (1995)

Bijlage 7 Amoebe-soorten

Amoebe-soorten. Bron: naar Jorna & Joosse, 1997.

Amoebe soorten en doelvariabelen per WSV-watersysteem

soort	zoete watersystemen	6 IJsselmeer	7 Markermeer	11 A'dam-Rijnkanaal + Noordzeekanaal	17 Benedenrivieren Noordrand	18 zoetwatergetijderivieren (Ben.riv.-Midden	19a Benedenrivieren Zuidrand bij huidig beheer	b Benedenrivieren Zuidrand bij open Haring-vlietsluis	20a Biesbosch-gebied bij huidig beheer	b Biesbosch-gebied bij open Haringvliet-sluis	21 Volkerak-Zoommeer	32 Getijde-beïnvloede Maas	46 Schelde (Schaar van Ouden Doel)	48 Zeeuwse kanalen	39 Eems-Dollard estuarium	47 Westerschelde	49 Veerse meer	55 Oosterschelde	56 Grevelingenmeer	57 Voordelta	58 Hollandse kust	62 Waddenzee west	63 Waddenzee oost
chlorofyl a		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Blauwalg (Cyanoph.)		X	X	X							X												
Blauwalg (Microcystis)											X												
Dynophysis															X	X	X	X	X	X	X	X	X
Phaeocystis															X	X	X	X	X	X	X	X	X
Struikwieren															X	X	X	X	X	X	X	X	X
Zeegras															X	X	X	X	X			X	X
Biezen		X	X								X	X											
Blauwe zeedistel								X															
Bruin Cypergras																							
Driek. bies					X	X		X	X	X		X											
Echt lepelblad				X	X	X		X															
Engelse alant																							
Fonteinkruiden																							
Helofytenzone				X										X									
Hertsmunt					X																		
Krabbescheer																							
Kranswieren		X	X								X												
Maasraket																							
Mattenbies					X	X	X	X	X	X													
Moerasandijvie		X	X								X												
Pijlkruid												X											
Riet		X	X								X												
Rivierfonteinkruid									X			X											
Rivierkruiskruid					X	X				X	X												
Spindotterbloem					X	X		X	X	X													
Veldsalie												X											
Vlott. waterranonkel																							
Watergentiaan												X											
Waterplantenareaal		X	X	X	X	X	X		X	X	X	X		X									
Wilde Kruisdistel																							
Zomereik																							
Zomerklokje						X																	
Zwarte Els				X					X			X											
Zwarte populier																							
Baars				X							X												
Barbeel																							
Blankvoorn				X							X			X									
Bot																X				X	X	X	X
Brasem		X	X	X	X	X	X		X	X	X	X								X	X	X	X
Fint					X	X		X		X		X											
Haring																				X	X	X	
Kabeljauw																				X	X	X	
Rivierprik				X								X											
Schol																				X	X	X	
Serpeling																							
Snoek				X	X	X	X		X	X	X	X											
Snoekbaars		X	X	X			X				X												
Spiering dichth.		X	X		X	X				X					X	X	X	X	X			X	X

Amoebe soorten en doelvariabelen per WSV-watersysteem

soort	zoete watersystemen	IJsselmeer	Markermeer	A'dam-Rijnkanaal + Noordzeekanaal	Benedenrivieren Noordrand	zoetwatergetijderivieren (Ben.riv.-Midden	Benedenrivieren Zuidrand bij huidig beheer	Benedenrivieren Zuidrand bij open Haring-vlietsluis	Biesbosch-gebied bij huidig beheer	Biesbosch-gebied bij open Haringvliet-sluis	Volkerak-Zoommeer	Getijde-beïnvloede Maas	Schelde (Schaar van Ouden Doel)	Zeeuwse kanalen	Eems-Dollard estuarium	Westerschelde	Veerse meer	Oosterschelde	Grevelingenmeer	Voordelta	Hollandse kust	Waddenzee west	Waddenzee oost
		6	7	11	17	18	19a	b	20a	b	21	32	46	48	39	47	49	55	56	57	58	62	63
Stekelrog																		X		X	X	X	X
Steur						X		X		X													
Winde												X											
Zalm																							
Zeeforel		X		X			X	X				X											
Zeelt																							
Aalscholver		X	X		X	X	X	X	X	X	X	X											
Blauwborst		X	X								X												
B. strandloper															X	X		X				X	X
Brandgans							X	X															
Bruine Kiekendief		X	X																				
Eidereend																				X	X	X	X
Fuut		X	X	X							X												
Grauwe Gans		X	X			X	X	X	X	X	X												
Grote Karekiet		X	X																				
Grote stern																X				X	X	X	X
Grote Zaagbek		X																					
Grutto											X												
IJsvogel												X											
Kleine Zwaan											X												
Kluut		X	X								X				X	X	X	X	X			X	X
Krooneend																							
Kuifeend			X	X	X	X	X		X	X	X	X		X									
Kwak									X	X	X	X											
Kwartelkoning												X											
Lepelaar							X	X	X	X	X												
Middelste zaagbek																	X		X				
N. stormvogel																							
Nonnetje			X																				
Oeverzwaluw																							
Rietgors				X																			
Rotgans															X	X	X	X	X			X	X
Scholekster															X	X		X				X	X
Snor		X	X								X												
Strandplevier																X	X	X	X	X	X	X	X
Tafeleend																							
Toppereend		X																					
Tureluur						X	X	X	X	X													
Visdief					X		X	X							X	X	X	X	X	X		X	X
Waterral																							
Zeekoet																				X	X	X	X
Boomkikker												X											
Kamsalamander						X						X											
Ringslang																							
Rugstreeppad												X											
Brakwatermossel				X																			
Driehoeksmossel		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X												
Eeltslak					X	X			X	X													
Heteromastus															X	X	X	X	X			X	X
Garnaal															X	X		X		X	X	X	X
Kamwatervlooien		X	X	X							X												
Kleine tanglibel																							
Kokkelbank															X	X	X	X	X	X		X	X
Mosselbank															X	X	X	X	X	X		X	X
Mosselwants																							
Nonnetje															X	X		X		X	X	X	X
Noordkromp																							

Amoebe soorten en doelvariabelen per WSV-watersysteem

soort	zoete watersystemen	IJsselmeer	Markermeer	A'dam-Rijnkanaal + Noordzeekanaal	Benedenrivieren Noordrand	zoetwatergetijderivieren (Ben.riv.-Midden	Benedenrivieren Zuidrand bij huidig beheer	Benedenrivieren Zuidrand bij open Haring-vlietsluis	Biesbosch-gebied bij huidig beheer	Biesbosch-gebied bij open Haringvliet-sluis	Volkerak-Zoommeer	Getijde-beïnvloede Maas	Schelde (Schaar van Ouden Doel)	Zeeuwse kanalen	Eems-Dollard estuarium	Westerschelde	Veerse meer	Oosterschelde	Grevelingenmeer	Voordelta	Hollandse kust	Waddenzee west	Waddenzee oost
		6	7	11	17	18	19a	b	20a	b	21	32	46	48	39	47	49	55	56	57	58	62	63
Rivierrombout																							
Purperslak																X		X	X	X	X	X	X
Slijkhaften				X		X			X	X													
Strandgaper															X	X	X	X	X			X	X
Zandoeverdansmug						X	X	X	X	X	X	X											
Zeeanjelier																X	X	X	X				
Zeeduizendpoot				X	X			X						X									
Zoetwaterneriet																							
Zuiderzeekrabbetje				X																			
Otter		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X											
Bever						X	X		X	X													
Das																							
Noordse Woelmuis				X	X	X	X	X	X	X	X												
Gewone Zeehond								X							X	X		X		X	X	X	X
Bruinvis															X	X		X		X	X	X	X
Overige dolfijnen																				X	X		

Verklaring watersysteemnummers:

2 Bovenrijn + Waal + Boven-Merwede
3 Nederrijn + Lek tot Schoonhoven
4 IJssel
5 Twenthekanalen
6 IJsselmeer
7 Markermeer
8 Ketelmeer
9 Randmeren-zuid
10 Randmeren-oost
11 A'dam-Rijnkanaal + Noordzeekanaal
17 Benedenrivieren Noordrand
18 zoetwatergetijderivieren (Benedenrivieren-Midden)
19 Benedenrivieren Zuidrand
20 Biesbosch-gebied
21 Volkerak-Zoommeer
28 Grensmaas
29/30 Gestuwde Maas incl. Maasplassen
31 Maaskanalen
32 Getijde-beïnvloede Maas
46 Schelde
48 Zeeuwse kanalen
39 Eems-Dollard estuarium
47 Westerschelde
49 Veerse meer
55 Oosterschelde
56 Grevelingenmeer
57 Voordelta
58 Hollandse kust
59 Zuidelijke Noordzee NCP
60 Centrale Noordzee NCP
62 Waddenzee west
63 Waddenzee oost

doelvariabele	6	7	11	17	18	19	20	21	32	46	48	39	47	49	55	56	57	58	62	63
zoete watersystemen																				
doorzicht	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
peilverschil	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
ondiepten	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
zoutgradiënt	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
bereikbaarheid vis	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
verdroogd gebied																				
grondwater overlast																				
Diep zomerbed opp.	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Dyn. strang lengte	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Dyn. strang opp.	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Geïsol. strang opp.	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Hardhout ooibos	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Moeras	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Moerasbos	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Nat. riv.oever lengte	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Nat. riv.oever opp.	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Nevengeul lengte	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Nevengeul opp.	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Ondiep zomerbed opp.	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Riv.duin&oeverwalr.	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Stroomdalgrasland	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Uiterwaarden grasland	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Uiterwaardruigte	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Zachthoutooibos	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
zoute watersystemen																				
doorzicht	–	–	–	–	–															
getijvolume	–	–	–	–	–															
intergetijdegebied	–	–	–	–	–															
kwelder opp.	–	–	–	–	–															
lengte oever/kust	–	–	–	–	–															
natuurlijke oevers	–	–	–	–	–															



De Kluut is voor zijn voedsel afhankelijk van de bodemfauna in het slik.
Foto: Jan van de Kam

Colofon

Uitgave:
RIKZ en RIZA in het kader van het RWS-programma Herstel en Inrichting, themagroep WONS-Inrichting

Auteurs:
Cora de Leeuw (RIKZ) & Joost Backx (RIZA)

Begeleiding:

Gerard Janssen	RIKZ
Frederike Kappers	RIZA

Klankbordgroep:

Jakob Asjes	RDIJ
Annelie Boogerd	DZL
Hugo Coops	RIZA
Richard Eertman	RIKZ
Rob Gerits	RIZA
Jaap Graveland	RIKZ
Herman Haas	RIKZ
Pieter Jacobs	RIZA
Zwanette Jager	RIKZ
Pieter Janssen	DWW
Gerda Lenselink	RIZA
Marieke Ohm	DZH
Albert Oost	RIKZ
Renske Postma	HK
Albert Remmelzwaal	RIZA
Martin Soesbergen	DWW
Marcel Tosserams	RIZA
Jaap de Vlas	RIKZ
Paddy Walker	RIKZ
Marjolein Wijngaarden	RIZA

Datum:
juli 2001

Informatie:
Cora de Leeuw / RIKZ
Postbus 207
9750 AE Haren
tel. 050-5331327 / 050- 5331331
c.c.dleeuw@rikz.rws.minvenw.nl
Koeman & Bijkerk (tel. 050-3632265)

Joost Backx / RIZA
Postbus 17
8200 AA Lelystad
tel. 0320-297364
j.backx@riza.rws.minvenw.nl

