



Westerschelde, stram of struis?

**Eindrapport van het Project Oostwest,
een studie naar de beïnvloeding van fysische
en verwante biologische patronen in een
estuarium**

J. Vroon.
C. Storm
J. Coosen

Rapport RIKZ-97.023



Inhoudsopgave

Ten geleide	5
De inleiding tot het rapport met een leeswijzer.	
Samenvatting	7
Beknopt overzicht van de belangrijkste resultaten van het Project Oostwest, geselecteerd naar relevantie voor beleid en beheer.	
Hoofdstuk I: Achtergrond en aanzet tot het Project Oostwest	13
Resumé van aanleiding en de conclusies van de pilotstudie oostwest, resulterend in het formuleren van de kernvragen en hypothesen voor het onderzoeksproject Oostwest.	
Hoofdstuk II: De Westerschelde in verandering	
A - Een compacte samenvatting van de resultaten van het onderzoek.	19
(met een mogelijke aansluiting op Hoofdstuk III)	
B - De gevolgde methoden en onderbouwing van onderzoeksresultaten.	27
Hoofdstuk III: Het verband tussen de toestand van de Westerschelde en het maatschappelijk gebruik van het estuarium	85
Waarin aan de orde is of en hoe menselijke gebruiksfuncties veranderingen in de toestand van het estuarium hebben bewerkstelligd en of deze veranderingen een bedreiging vormen voor het estuarium.	
Nawoord	97
Waarin enigszins beschouwend wordt teruggekeken naar de resultaten van de studie Oostwest.	
Index voor hoofdstuk II-B	99
Referentielijst	101
Geografische overzichtskaart	
De overzichtskaart kan voor het gebruiksgemak bij het lezen aan de rechterzijde van het rapport worden uitgeslagen.	

Ten geleide

In het beleidsplan Westerschelde staat dat er dient te worden gestreefd naar het behoud van de Westerschelde als een waardevol natuurlijk watersysteem, met inachtneming van de scheepvaartfunctie en uiteraard de veiligheid tegen overstromen. Om uitvoering te kunnen geven aan dit beleid is het noodzakelijk te weten hoe de Westerschelde er op dit moment nu eigenlijk voorstaat. Dit rapport probeert hier antwoord op te geven.

Allereerst wordt vanuit wetenschappelijke invalshoek de toestand van de Westerschelde doorgelicht. Hoe is deze in de loop der jaren veranderd? Aan deze vraag wordt veel aandacht besteed. Het rapport is dus vooral een kennisdocument; kennis van het functioneren van het estuarium. Gewapend met deze kennis worden ook drie belangrijke aannamen getoetst. Namelijk dat het estuarium versneld verlandt, dat het stromingspatroon en zandtransport in hoge mate onnatuurlijk zijn en dat de biodiversiteit van het estuarium afneemt.

Vervolgens wordt de vraag gesteld in welke mate de menselijke ingrepen hebben bijgedragen aan de veranderingen. Geen eenvoudige vraag. Een estuarium is immers een dynamisch systeem, dat voortdurend aan verandering onderhevig is. De kunst is daarom, alle ontwikkelingen overziende, die veranderingen te selecteren die afwijken van de natuurlijke ontwikkeling. De ingrepen welke nader worden beschouwd zijn inpolderen, verdiepen van de vaargeul, baggeren en storten en zandwinnen.

Tot slot komt de vraag aan de orde of de geconstateerde veranderingen een bedreiging vormen voor het estuarium. Het antwoord op deze vraag hangt onder meer af van de manier waarop tegen het estuarium wordt aangekeken. In dit rapport wordt het estuarium allereerst beschouwd als een uniek gebied binnen de delta van Zuidwest Nederland, waar in tegenstelling tot de gecompartmenteerde Deltawateren de dynamiek van het getij en het grillige gedrag van de rivier nog hun invloed laten gelden.

Leeswijzer

Na dit inleidende gedeelte en de samenvatting volgen nog drie hoofdstukken.

Hoofdstuk I gaat in op de achtergrond van het Project Oostwest en bespreekt de kernvragen en hypothesen. Daarna worden de resultaten gerapporteerd.

Hoofdstuk II behandelt de toestand van de Westerschelde en de aard van de veranderingen in het estuarium. In deel II-A ligt het accent op de concrete resultaten; het is mogelijk om hierna direct door te gaan met hoofdstuk III.

Deel II-B geeft gedetailleerd inzicht in de wetenschappelijke onderbouwing. De inhoud hiervan kan desgewenst op trefwoorden worden geraadpleegd met behulp van het trefwoordenregister achterin het rapport.

Hoofdstuk III gaat in op de oorzaken van de veranderingen en op de vraag hoe we deze veranderingen moeten beoordelen.

In de tekst worden veel geografische namen gebruikt. Achterin het rapport is een geografische overzichtskaart opgenomen, die ten behoeve van het gebruiksgemak eventueel uitgeklaapt kan worden aan de rechterzijde van het rapport.

Samenvatting

De Westerschelde is een uniek gebied binnen de delta van Zuidwest Nederland. In tegenstelling tot de gecompartmenteerde Deltawateren laten de dynamiek van het getij en het grillige gedrag van de rivier er nog hun invloed gelden. Het getij levert de energie voor sedimentatie- en erosieprocessen. Getij, wind en golfslag zorgen in een gecompliceerd samenspel voor een continu veranderend patroon van geulen, platen, ondiep watergebieden, slikken en schorren. Deze patronen bepalen op hun beurt in hoge mate de aard en het karakter van de leefgebieden (ecotopen) van tientallen soorten planten en dieren

Menselijke activiteiten zijn altijd al van invloed geweest op de toestand van de Westerschelde. Enkele decennia geleden werd men zich ervan bewust dat deze invloed een uitgesproken negatief effect had op de kwaliteit van het water. Eind jaren tachtig werd het duidelijk dat ook andere factoren de natuurlijke processen in de Westerschelde zouden kunnen verstoren. Reeds eeuwen achtereen was buitendijks gebied ingepolderd en sinds de verdieping van de vaargeul - begin van de jaren zeventig - is aanhoudend zand weggebaggerd dat vervolgens in de ebgeulen en vloedscharen is gestort of uit het systeem gehaald is. De bezorgdheid over de effecten van deze activiteiten was aanleiding tot een pilot-studie met de werktitel 'Oostwest'.

De voorlopige resultaten van deze studie - uitgebracht in 1991 - zijn door het RIKZ verder onderzocht en onderbouwd. Het onderzoek concentreerde zich rond vier hoofdvragen, waaraan per vraag enkele hypothesen zijn gekoppeld.

De vragen luiden:

1. Is de toestand van de Westerschelde in de loop van de jaren veranderd?
2. Wat zijn de oorzaken van die veranderingen?
3. Vormen de veranderingen een bedreiging voor het estuarium?
4. Zijn de bedreigingen tegen te houden?

De eerste drie vragen komen in dit rapport aan de orde. De vierde vraag past in een lange termijn visie op gebruik en inrichting van het Schelde estuarium. Voor het ontwikkelen van deze visie zijn, naast de resultaten van Oostwest, nog andere studies nodig.

1. Is de toestand van de Westerschelde in de loop der jaren veranderd?

Deze vraag is uitgewerkt op drie onderzoeksvelden: veranderingen A) in het getij, B) in de morfologie en C) op het gebied van de ecologie.

A) Veranderingen in het getij

De volgende hypothese is onderzocht:

Hypothese

Het estuarium verlandt snel doordat de komberging vermindert; dat is de totale hoeveelheid water, die in de Westerschelde tussen laag- en hoogwater kan worden geborgen.

De onderzoeksresultaten ondersteunen deze hypothese gedeeltelijk. De komberging die als gevolg van inpolderingen al sterk was verkleind neemt nog steeds af door sedimentatie in het intergetijdegebied. Dit verlies aan waterbergend vermogen wordt echter deel gecompenseerd door de toename van het getijverschil en de stijging van de zeespiegel.

De sterke toename van het getijverschil gaat gepaard met een stijging van de hoogwaters, die ter plaatse van de Nederlands-Belgische grens twee maal zo snel is als elders langs de Nederlandse kust

B) Veranderingen in de morfologie

Veel veranderingen in de morfologie van de Westerschelde wijzen erop dat de zandhuishouding niet meer wordt gestuurd door natuurlijke processen, maar door ingrepen in de geometrie van het systeem. De juistheid van deze indruk is onderzocht aan de hand van de volgende hypothese:

Hypothese

Natuurlijke veranderingen in de loop van de hoofdrivier en de cyclische functiewisseling tussen hoofd- en nevengeul komen steeds minder voor; de morfologische dynamiek op grote schaal, de macro-dynamiek, neemt af. Tegelijkertijd vertoont de bodem steeds meer beweging; de dynamiek op kleine schaal, de micro-dynamiek, neemt toe.

Het onderzoek bevestigt en versterkt deze hypothese voor het oostelijk deel van de Westerschelde. Daar worden de morfologische ontwikkelingen vooral bepaald door baggeren en storten. Meer westelijk in het estuarium kan geen onnatuurlijkheid van morfologische veranderingen worden aangetoond, (wat niet wil zeggen dat ze dus natuurlijk zijn).

De belangrijkste bevindingen van het onderzoek zijn als volgt samen te vatten:

- Op grote schaal is de macrodynamiek, ofwel de beweeglijkheid van hoofdgeulen en ook nevengeulen, afgenomen. In de afgelopen twee eeuwen heeft de hoofdgeul een steeds vastere ligging in het estuarium gekregen. Het patroon van een meergeulenstelsel is hierdoor in het oostelijk deel van de Westerschelde verzwakt. Een natuurlijke functiewisseling tussen hoofd- en nevengeul, dat wil zeggen dat de hoofdgeul zich tot nevengeul ontwikkelt en omgekeerd, zal hier waarschijnlijk niet meer voorkomen.

- Op kleinere schaal is de mesodynamiek, ofwel de migratie van kortsluitgeulen door plaatcomplexen, afgenomen. Deze 'kortsluitgeulen,' die dwars door de platen heen de bochten van de geulen rond de platen afsnijden, houden onder natuurlijke omstandigheden de platen laag. Worden ze minder actief, dan kunnen de platen sterk in omvang toenemen, aaneengroeien en in hoogte toenemen. Dit is in de Westerschelde gebeurd. Door het uitbochten van de hoofdgeul is in de as van het estuarium bovendien meer ruimte ontstaan voor plaatvorming. De afname van de mesodynamiek is vooral een gevolg van het feit dat de geulen aan weerszijden van de platen minder uitgesproken eb- of vloedgeulen zijn geworden, waardoor de maximale verhangen over de platen zijn afgenomen. Dit verhang is een aandrijvende kracht voor de kortsluitgeul. Tot slot is geconstateerd dat door de sterkere getijdoordringing in de hoofdgeul de slikken en schorren langs de rand van de geul sterker onder druk zijn komen te staan en eroderen.

- Door de fixatie van de hoofdgeul en de groei van de platen is in het oostelijk deel van de Westerschelde de morfologische dynamiek uit het systeem gehaald. Zo is een stabiel morfologisch patroon ontstaan waardoor dit deel van het estuarium zijn grilligheid heeft verloren.

C) Veranderingen op het gebied van ecologie

Het vermoeden dat de negatieve trends in de compleetheid van het ecologisch systeem ook - en misschien vooral - aan veranderingen in de fysische processen was te wijten leidde in het onderzoek tot de hypothese:

Hypothese

Het estuariene karakter van de Westerschelde wordt bedreigd. Het totale oppervlak is drastisch verminderd en daarmee ook het leefgebied van voor dit gebied kenmerkende vogels en vissen.

De hypothese is met name getoetst aan de hand van de ontwikkelingen in het patroon van ecotopen, dat wil zeggen veranderingen in de leefgebieden voor vogels, vissen, bodemdieren en planten.

Het onderzoek leidt tot de volgende conclusies:

- ondiep watergebieden, opgroei gebied voor jonge vissen en garnalen, zijn sterk achteruit gegaan
- slikken verlagen
- schorren en slikken in het zoute deel van het estuarium zijn sterk in omvang afgenomen. Hiermee is ook een groot oppervlak aan fourageergebied voor vogels verdwenen
- jong schor komt bijna niet meer voor;
- slibrijke laagdynamische gebieden (rijk aan stapelvoedsel), nemen af in het oostelijke deel van de Westerschelde;
- op sterk in hoogte toenemende platen in het oostelijk deel verschijnen slibrijke gebieden, rijk aan bodemdieren.

Deze veranderingen in processen en patronen werken door in de leefomstandigheden voor planten en dieren. Vooral de afname van dynamiek veroorzaakt in het oostelijk deel van het estuarium een soort 'verstarring' van de kenmerkende natuurlijke beweeglijkheid en ontwikkeling van ecotopen. Het is nog niet te overzien welke invloed hiervan op de langere termijn zal uitgaan op de biodiversiteit.

2. In welke mate hebben menselijke ingrepen aan de veranderingen bijgedragen?

De volgende ingreep-effect hypothese is onderzocht:

Hypothese

De zandhuishouding van de Westerschelde en de uitwisseling van sediment met het mondingsgebied worden gestuurd door de lange termijn effecten van de inpoldering in het verleden en het baggeren, storten en winnen van zand in het heden.

In algemene zin volgt uit het onderzoek dat de mate van inpoldering, baggeromvang en scheepvaartintensiteit in De Westerschelde zeer hoog zijn; dit in vergelijking met andere estuaria in Noordwest-Europa. De bevolkingsdichtheid is relatief hoog; de visserij lijkt relatief onbelangrijk. Nadere beschouwing van de belangrijkste ingrepen geeft het volgende beeld:

- Inpolderingen hebben het estuarium zijn huidige vorm gegeven. De huidige natuurlijke ontwikkelingen en de gevolgen van ingrepen als vaargeulverdieping, baggeren, storten en zandwinning, voltrekken zich binnen deze opgelegde grenzen.
- De ingrepen hebben met name in het oostelijk deel geleid tot processen en patronen die onder natuurlijke omstandigheden niet of in mindere mate zouden zijn opgetreden. Zo heeft de onder punt 1. genoemde afname van de grootschalige dynamiek een duidelijke relatie met menselijke ingrepen in het estuariene systeem. De inpolderingen hebben geleid tot verlies aan ruimte. Het gebied waarbinnen de hoofdgeul zich kan bewegen is afgenomen. Hierdoor is

de hoofdgeul in de afgelopen twee eeuwen steeds meer vastgelegd op de plaatsen waar hij de dijk ontmoet. Deze fixatie is in het oostelijke deel versterkt door de verdieping van de hoofdgeul en het baggeren en storten ('zachte regulatie'). Deze activiteiten hebben een verruimend effect op de hoofdgeul en werken verondiepen van de nevengeul in de hand. Het patroon van een meergeulensysteem is door dit alles minder duidelijk geworden.

- De versterkte getijdoordringing heeft een relatie met de verdieping van de vaargeul. Door de inpolderingen was het gebied waar het water kan worden geborgen al kleiner geworden. Als gevolg van het verdiepen en baggeren is de hoofdgeul groter geworden. Belde veranderingen in de geometrie leiden ertoe dat de getijgolf zich sneller voortplant en dat de hoogwaterstanden en het getijverschil toenemen.

- De effecten van zandwinning zijn tot dusver zeer beperkt. Op de langere termijn kan de zandwinning wel een doorslaggevende rol gaan spelen in de morfologische ontwikkeling van het estuarium. Als de zandwinning de import van sediment uit het mondingsgebied overstijgt, hetgeen de afgelopen drie decennia het geval is geweest, neemt de inhoud van het estuarium steeds iets toe. In combinatie met de versnelde zeespiegelstijging kan dat op langere termijn leiden tot een tekort aan sediment in het estuarium

3. Vormen de veranderingen een bedreiging voor het estuarium?

Conclusie uit de pilotstudie:

Hypothese

De veranderingen leiden tot een minder compleet en natuurlijk estuarium; dat versneld aan het verlanden is.

Op basis van de nieuwste inzichten is nagegaan in hoeverre de ingrepen ten behoeve van het gebruik de volgende estuariene processen en kenmerken beïnvloeden:

- natuurlijkheid: de mate waarin ruimte en tijd wordt gegeven aan fysische, chemische en biologische processen;
- zelfregulerend vermogen: de mate waarin het estuarium natuurlijke of menselijke verstoring zodanig kan opvangen dat de stabiliteit van het estuariene ecosysteem intact blijft;
- compleetheid: de mate waarin voor het ecologisch functioneren van het estuarium belangrijke en karakteristieke ecotopen inclusief hun levensgemeenschappen en biologische produktiviteit aanwezig zijn, met de daarbij van nature optredende fluctuaties.

Het onderzoek naar deze drie kenmerken geeft de volgende resultaten: Door gebrek aan ruimte en door de stroomlijning van het estuarium is de mogelijkheid tot slik- en schorvorming beperkt. De erosie van bestaande slikken en schorren kan daardoor niet door de natuur zelf worden opgevangen met aangroei elders. Dit heeft er toe geleid dat in het estuarium nauwelijks nog jong schor aanwezig is en dat schorren in de mariene zone vrijwel ontbreken. Met het verdwijnen van de grote schorgebieden is veel natuurlijk biotoop voor de kustbroedvogels verloren gegaan. Dit natuurlijk biotoop is gedeeltelijk vervangen door meer kunstmatige broedgebieden.

De sterke vermindering van het ondiep waterareaal ten gevolge van de morfologische 'verstarring' is blijvend en het ecotoop zal zich, bij het huidige vaarwegbeheer, niet of nauwelijks kunnen herstellen.

Hetzelfde geldt voor de eroderende slikken langs de rand van de hoofdgeul.

De vermindering van dynamiek in combinatie met extra aanbod van sediment, door stortingen ter plaatse, heeft geleid tot groei van de platen waardoor verlanding optreedt. De laaggelegen voedselrijke zones zijn gedeeltelijk verdwenen en vervangen door nieuwe voedselrijke gebieden bovenop de plaat. Deze kunnen ontstaan door de sterke toename in plaathoogte.

De versterkte getijdoordringing heeft ertoe geleid dat de hoogwaterstanden ter plaatse van de Nederlands-Belgische grens tweemaal zo snel stijgen als elders langs de Nederlandse kust.

Geconcludeerd wordt dat met name in het oostelijke deel de systeemkenmerken natuurlijkheid, zelfregulerend vermogen en compleetheid sterk onder druk staan.

Ondanks het feit dat processen en patronen sterk zijn veranderd en hiermee ook de leefomstandigheden, laten waarnemingen bij hogere organismen nog nauwelijks negatieve ontwikkelingen zien. De vraag is echter of dit op de langere termijn zo zal blijven of dat door de morfologische 'verstarring' het vermogen afneemt om verstoringen op te vangen.

Hoofdstuk I

Achtergrond en aanzet tot het Project Oostwest

Voorgeschiedenis

De Westerschelde heeft al vele jaren zwaar te lijden van de negatieve invloed van sommige menselijke activiteiten. Dat geldt in het bijzonder voor het oostelijk deel. Nadat dit werd opgemerkt door wetenschappelijk onderzoekers, maatschappelijke organisaties, water-beheerders en politici, concentreerden deze hun aandacht aanvankelijk op de waterkwaliteit. Zij bonden de strijd aan tegen zuurstofbindende stoffen en de veelsoortige vracht aan chemische afvalstoffen in het water. Terwijl op dit terrein enig succes zichtbaar werd, kwam eind jaren tachtig onder wetenschappelijk onderzoekers het vermoeden op, dat het wel eens ontoereikend zou kunnen zijn om alleen de water-vervuiling aan te pakken. Zij twijfelden niet aan de noodzaak van zuiver water en een schone bodem, maar er was volgens hen nog veel meer aan de hand. Een natuurlijk en compleet estuarium leeft bij de gratie van de fysische, chemische en biologische processen die samenhangen met de dynamiek van het getij en het grillige gedrag van de rivier. Deze processen maken het gebied, de planten en dieren, maar ook de voortdurende verandering en vernieuwing karakteristiek. De vrees bestond dat als gevolg van eeuwenlang inpolderen onvoldoende ruimte was overgebleven om deze processen ongestoord hun gang te laten gaan. Ook vroeg men zich af of het permanente baggeren en de stort van baggerspecie in ebgeulen en vloedscharen geen negatieve invloed zouden hebben op het estuarien systeem. Deze bezorgdheid was de aanleiding tot een pilotstudie naar het functioneren van het oostelijk deel van de Westerschelde. Het onderzoek kreeg de werktitel 'Pilotstudie Oostwest.' De resultaten van die studie zijn in 1991 gerapporteerd.

Probleemstelling en aanpak. Project Oostwest

Rijkswaterstaat, directie Zeeland, de beheerder van de Westerschelde, heeft naar aanleiding van de pilotstudie het RIKZ gevraagd de voorlopige resultaten nader te onderzoeken en verder te onderbouwen. Hiertoe is, in samenwerking met de Directie Zeeland, het Project Oostwest gestart. Van Vlaamse zijde heeft het Instituut voor Natuurbehoud aan een aantal onderzoeken deelgenomen. De inrichting en uitvoering van het project is geconcentreerd rond vier hoofdvragen:

1. Is de toestand van de Westerschelde in de loop van de jaren veranderd?
2. Wat zijn de oorzaken van die veranderingen?
3. Vormen de veranderingen een bedreiging voor het estuarium?
4. Zijn de bedreigingen tegen te houden?

In de onderstaande toelichting op de vraagstelling worden de belangrijkste onderliggende hypothesen besproken. De hypothesen zijn gebaseerd op de resultaten van de pilotstudie Oostwest (zie intermezzo 'Pilotstudie').

1. Verandering in de toestand van de Westerschelde

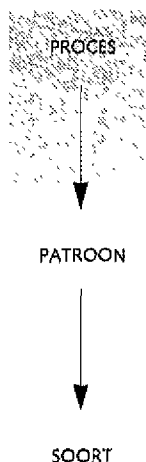
Sommige veranderingen in de toestand van de Westerschelde zijn min of meer vaststaande feiten. Dat geldt bijvoorbeeld voor de afname van het areaal aan zoute schorren; tussen 1960 en 1990 verdween 75 procent, voornamelijk door inpolderingen.

Voor de veranderingen die veel moeilijker zijn vast te stellen zijn hypothesen geformuleerd die in de loop van het project nader zijn onderzocht. De belangrijkste zijn hieronder weergegeven:

Hypothesen

- Het estuarium verlandt versneld als gevolg van de afname van de komberging.
- De morfologische dynamiek in het estuarium wordt op grote en kleine schaal sterk beïnvloed. Op de grote schaal zijn de natuurlijke wijzigingen in de loop van de hoofdgeul en de cyclische functiewisseling tussen hoofd- en nevengeul ernstig.

Pilotstudie



Hier volgt een beknopte weergave van de uitkomst van de pilotstudie (Pieters et al, 1991 en Pieters, 1993). De resultaten van deze studie waren de aanleiding tot het project Oostwest. Omdat ingrepen in een natuurlijk systeem vaak leiden tot een keten van effecten, worden de resultaten gepresenteerd volgens het proces-patroon-soort principe. Deze benadering gaat uit van de fysische dynamiek als belangrijke aandrijvende kracht voor de opbouw en werking van het ecosysteem. Het getij levert de energie voor sedimentatie- en erosieprocessen. Getij, wind en golfslag zorgen in een gecompliceerd samenspel een continu veranderend patroon van geulen, platen, ondiep watergebieden, slikken en schorren. Deze patronen bepalen op hun beurt in hoge mate de aard en het karakter van de leefgebieden (ecotopen) van tientallen soorten planten en dieren.

Beïnvloeding van processen.

De hoofdfunctie van de Westerschelde is 'Scheepvaartweg.' Om de Antwerpse haven bereikbaar te houden voor steeds grotere

schepen zijn in de periode 1970-1975 de drempels in de hoofdgeul met enkele meters verdiept. Als gevolg daarvan is verhoudingsgewijs meer water door de hoofdgeul gaan stromen en minder door de nevengeul. Om de hoofdgeul op diepte en op zijn plaats te houden wordt min of meer continu gebaggerd. Het gevolg is dat de geulen zijn geblokkeerd in hun natuurlijke dynamiek. De hoofdgeul kan zich niet meer verplaatsen en de normale cyclische functieverandering tussen hoofd- en nevengeul (nevengeul wordt hoofdgeul en omgekeerd) is niet meer mogelijk. De macrodynamiek van de Westerschelde wordt onderdrukt. Continu baggeren brengt continu storten van specie elders in het estuarium met zich mee. Het sediment wordt als het ware 'rondgepompt.' De bodem is hierdoor beweeglijker geworden, ofwel: de microdynamiek is toegenomen. Een deel van het 'rondgepompte' zand sedimenteert in de intergetijdezone op slikken en platen die versneld opzanden. Hierdoor neemt de komberging (het waterbergend vermogen van

geblokkeerd. Op de kleine schaal is de beweeglijkheid van de bodem toegenomen.

- Het estuariene karakter van de Westerschelde wordt bedreigd. Het totale oppervlak is fors verminderd en daarmee ook het gebied waar van nature veel vogels en vissen voorkomen. De nog resterende gebieden bevatten als gevolg van de toegenomen beweeglijkheid van de bodem minder voedsel dan in een meer natuurlijke situatie zou mogen worden verwacht.

Deze hypothesen zijn eerst onderzocht aan de hand van meetgegevens. Gegevens over zaken als de debietverdeling, de ontwikkeling van geulen, platen, slikken, schorren en ondiep watergebieden, de samenstelling van het bodemoppervlak, de komberging en aanwezige aantallen en soorten vogels en vissen zijn verzameld en op trendmatige verandering geanalyseerd. Vervolgens is getracht meer basiskennis te vergaren over het functioneren van het estuarium. De aandacht is daarbij gericht geweest op de invloed die veranderingen in de geometrie hebben op het getij, op de transportpaden van sediment door het estuarium onder natuurlijke omstandigheden en op de relatie tussen enerzijds aantallen en biomassa's van bodemdierenpopulaties en anderzijds de bodemhoogte, het sedimenttype en de bodemdynamiek.

het estuarium) af. Deze was als gevolg van inpoldering al sterk afgenomen. Het proces van verzanden en afname van de komberging doet het estuarium versneld verlanden.

Verandering van patronen.

Het huidige oppervlak van de Westerschelde, het Nederlandse deel van het estuarium, bedraagt circa 31000 ha. In het jaar 1800 was dat bijna anderhalf maal zo groot en in 1600 het dubbele. Waar in de loop van eeuwen werd ingepolderd verdwenen de langs de randen gelegen slikken en schorren. De huidige geulen nemen ruim vijftig procent van de nog beschikbare ruimte in beslag. Vóór de verdieping van hoofdgeul in de jaren zeventig was dit percentage kleiner. De expansie van de geul is veroorzaakt doordat er sinds de verdieping meer water door is gaan stromen. Dat veroorzaakt, sterker dan vroeger, erosie in de buitenbochten en verdere inkrumping van het areaal aan slikken en schorren. De groei van de hoofdgeul heeft ook gevolgen voor de overgang tussen geul en platen. Deze wordt steeds steiler, een ontwikkeling die nog wordt versterkt door de versnelde sedimentatie op de platen. Versteiling van het talud betekent afname van

het tussen geul en platen gelegen ondiep water gebied.

Gevolgen voor de natuurwaarden van het estuarium.

De geschetste ontwikkeling betekent een verschraling van het estuariene karakter van de Westerschelde. Uit ecologisch oogpunt kan dat een aanslag worden genoemd op de nationale en internationale betekenis van de Westerschelde voor de natuur. Onverstoorde estuaria zijn namelijk zeer zeldzaam geworden. Ook het voor iedereen waarneembare landschappelijk aanzien van de Westerschelde is veranderd. Behalve Saeftinghe zijn de weidse en ongerepte schor- en slikgebieden verdwenen. De verrassende veranderingen van geulligging in het stroomgebied doen zich niet meer voor. Er is schaarste aan schorren in de zoute zone en aan getijdegebieden in het zoete Vlaamse deel van het estuarium. Voorts gaan de leefomstandigheden voor planten en dieren gestaag achteruit. Hun bestaansgrond, de slikken, schorren en het ondiep water is immers aan het verkleinen. In de leefomgeving die hen nog rest is voor vogels en vissen bovendien steeds minder voedsel te

vervolg op volgende pagina

2. De oorzaken van de veranderingen

In de toestand van de Westerschelde kunnen veranderingen optreden onder invloed van zowel natuurlijke processen als menselijke ingrepen. De pilotstudie leidde tot de conclusie dat de ingrepen een zodanig schaal en intensiteit hebben bereikt, dat zij de ontwikkeling van het estuarium zijn gaan sturen. Meer concreet is de volgende ingreep-effect hypothese onderzocht.

Hypothese

De zandhuishouding van de Westerschelde en de uitwisseling van sediment met het mondingsgebied worden gestuurd door de lange termijn effecten van inpolderingen in het verleden en het baggeren, storten en winnen van zand in het heden.

Deze hypothese is onderzocht door actuele waarnemingen te koppelen aan gegevens uit de perioden waarin ingrepen zijn verricht. Het jaar 1960 is in deze vergelijking een belangrijk ijkpunt. Rond die periode kreeg de Westerschelde globaal zijn huidige begrenzing en werd er nog weinig gebaggerd. Vóór 1960 waren ingrepen vooral inpoldering-

vinden. Zij leven in belangrijke mate van bodemdieren, maar in de beweeglijker geworden bodem kunnen deze zich minder goed vestigen. Een en ander leidt tot afname van de rijkdom aan soorten. Tot slot dreigt door de versnelde verlanding de levensduur van het estuarium in zijn geheel te worden bekort.

Oplossingen.

De pilotstudie 'Oostwest' had niet alleen tot doel problemen te signaleren en te begrijpen; er dienden ook mogelijke wegen te worden aangegeven om tot oplossingen te komen. De onderzoekers kwamen tot de voorlopige conclusie dat de negatieve gevolgen van de inpolderingen en het vaarwegonderhoud kunnen worden tegengegaan door vermindering van de baggerinspanning en uitbreiding van het areaal aan overstromingsgebieden. Volgens de pilotstudie zou vermindering van de baggerinspanning kunnen worden bereikt door het gebaggerde sediment op grotere afstand van de baggerlocaties te storten, door zandwinning uit het estuarium te concentreren in het gebied waar veel wordt gebaggerd en door bovenstrooms van de

baggerlocatie de komberging te vergroten. Het areaal aan overstromingsgebieden zou het best door middel van ontpolderen kunnen worden uitgebreid. Plaats en oppervlak van het te ontpolderen gebied bepalen daarbij de toename in komberging. De geschetste maatregelen zijn niet alleen uit ecologisch oogpunt, maar mogelijk ook om economische redenen interessant. Vermindering van baggerwerk bespaart kosten. Mogelijk is die besparing groter dan de extra kosten die samenhangen met de toename in vaarafstand tussen bagger- en stortlocatie. Uitbreiding van het overstromingsgebied dempt de hoogste waterstand op de top van de getijdengolf. De huidige dijkhoogte zal daardoor wellicht langer voldoen aan de gestelde veiligheidsnorm.

De resultaten van de pilotstudie zijn voorgelegd aan een review team bestaande uit 7 deskundigen uit België en Nederland. Hun bevindingen zijn schriftelijk vastgelegd (Engel, 1993).

en, terwijl na 1960 de intensiteit van het baggeren is gaan toenemen met een duidelijke piek na de verdieping van de vaargeul in de periode '70 - '75.

Bij het onderzoek deden zich enkele lastige problemen voor. De beschikbare reeksen van meetgegevens waren dikwijls kort en niet altijd even nauwkeurig, terwijl morfologische aanpassingsprocessen zich juist over een relatief lange tijdschaal voordoen. Dat betekent dat het effect van de inpolderingen nog doorwerkte ten tijde van de verdieping van de vaargeul. Het is daardoor moeilijk om de gesignaleerde veranderingen nauwkeurig aan de afzonderlijke ingrepen toe te schrijven. Daar komt nog bij dat de geconstateerde veranderingen niet konden worden afgezet tegen een stabiele referentie, omdat een estuarium van nature ook voortdurend verandert en trendbreuken laat zien.

Om deze problemen het hoofd te kunnen bieden en toch relaties te kunnen leggen tussen de beschikbare data, is voor de zandhuishouding van het Schelde-estuarium een denkmodel ontwikkeld. Het is opgebouwd uit een aantal algemene wetmatigheden die op de Westerschelde zijn toegepast (zie intermezzo 'Belangrijkste algemeen geldende wetmatigheden in een estuarium').

3. Bedreigingen voor het estuarium

De invalshoek van waaruit naar de Westerschelde wordt gekeken bepaalt of de opgetreden veranderingen als bedreigend worden beschouwd. In het Project Oostwest is uitgegaan van de karakteristieke estuariene processen. Het estuarium wordt beschouwd als een systeem waarin veranderingsprocessen op allerlei tijd- en ruimteschalen optreden. Deze processen zijn vertaald in specifieke kenmerken waartegen de waargenomen veranderingen worden afgezet.

Belangrijkste algemeen geldende wetmatigheden in een estuarium

- Evenwicht tussen geometrie en waterbeweging:
De grootte van het doorstroomprofiel van geulen wordt in hoofdzaak bepaald door de hoeveelheid water die er doorheen stroomt.
- Reactie en/of aanpassing na verstoringen van het evenwicht:
Als het evenwicht tussen geometrie en doorstromend watervolume wordt verstoord, zal het systeem trachten terug te keren naar de oude situatie óf een nieuw evenwicht zoeken op een ander niveau. Het systeem is, reagerend op oude en jonge ingrepen en veranderingen, in feite vrijwel continu en op verschillende tijd- en ruimteschalen bezig oude evenwichten te herstellen en nieuwe in te stellen.
- Aanpassingssnelheid aan verstoringen:
De reactie van het systeem, met name de snelheid van erosie of aanzanding, is sterker naarmate de afwijking uit het evenwicht groter is. De snelheid van aanpassing aan een verstoring neemt in de tijd af.
- Lange termijn ontwikkeling van estuaria:
Het is een algemeen voorkomend patroon dat de komberging geleidelijk kleiner wordt als gevolg van sedimentatie met fluviale en/of mariene sedimenten op de hogere delen. De daarmee samenhangende vermindering van het getijvolume leidt tot verkleining van de geulprofielen en vermindering van de inhoud van de geulen. Zo neigen veel estuaria op een tijdschaal van eeuwen van nature naar verlanding.

4. Mogelijkheden om bedreigingen tegen te houden

In de pilotstudie (uit 1991) zijn ideeën gepresenteerd die zowel de natuurwaarden versterken als de kosten voor het vaarwegonderhoud verminderen en bijdragen aan de veiligheid tegen overstromen. Deze ideeën zijn gebaseerd op de onderstaande hypothesen.

Hypothesen

Minimalisering van de baggerinspanning kan worden bereikt door baggerspecie meer naar het westen te storten, de zandwinning in het oostelijk deel van de Westerschelde te concentreren en de komberging te vergroten.

Gecontroleerde uitbreiding van overstromingsgebied draagt bij tot vergroting van de komberging, verlaging van de hoogwaterstanden bij stormvloed(en) (veiligheid) en herstel natuurwaarden.

Deze hypothesen zijn in het project Oostwest onderzocht. De resultaten van het onderzoek naar de relatie tussen voorkomen en populaties van bodemdieren en de bodemhoogte, het sedimenttype en de bodemdynamiek geven meer inzicht in de invloed van het baggeren en storten. Het onderzoek naar de natuurlijke verplaatsing van sediment en het morfologisch gedrag van drempels in de geul legt de processen bloot die de baggerinspanning op de drempels bepalen. Om meer inzicht te krijgen in het aspect beveiliging tegen overstromen is geanalyseerd welke invloed de veranderingen in de geometrie hebben op ontwikkeling van de hoogwaterstanden. Er is inzicht nodig in de factoren die de stijgsnelheid van het hoogwater bepalen om die snelheid te kunnen beïnvloeden.

Bij het verschijnen van dit rapport zijn verschillende onderzoeken nog niet volledig afgerond. De mogelijkheden tot het bijsturen van ontwikkelingen worden niet in dit rapport besproken.

Kwaliteitsborging.

Een commissie van experts heeft een oordeel gegeven over de interpretatie van de inhoudelijke resultaten zoals vastgelegd in dit rapport. De resultaten van de kwaliteitstoets zijn gerapporteerd (Waterloopkundig Laboratorium, 1996).

Hoofdstuk II-A

De Westerschelde in verandering

Een compacte samenvatting van de resultaten van het onderzoek

De toestand van de Westerschelde is in de loop van de jaren gewijzigd. In het Project Oostwest is onderzocht wat is veranderd en welke factoren daarop een invloed hebben gehad. Daarbij is aandacht besteed aan het getij, de morfologie en de ecologie. Deze indeling en volgorde komen bij benadering overeen met het ordeningsprincipe 'proces - patroon - soort,' dat in het vorige hoofdstuk is geïntroduceerd bij de bespreking van de resultaten van de pilotstudie Oostwest. Deel A van dit hoofdstuk geeft een compact overzicht van de onderzoeksresultaten; deel B gaat dieper in op de wetenschappelijke onderbouwing van de resultaten.

Processen

De getijdoordringing is versterkt; de hoogwaters nemen sterk toe.

De gemiddelde hoogwaterstanden stijgen sneller dan de gemiddelde zeespiegel. Het gemiddeld laagwater stijgt minder snel dan de gemiddelde zeespiegel. Hierdoor neemt de 'getijslag' toe.

De voortplantingssnelheid van de getijgolf is toegenomen. Dit betekent dat het estuarium 'beter' wordt gevuld.

De sterkste veranderingen in het getij treden op in het oostelijk deel van de Westerschelde. De stijgsnelheid van het hoogwater bij de grens (50 cm/eeuw) is circa twee maal zo hoog als die langs de Nederlandse Noordzeekust en de Waddenzee (25 cm/eeuw). In het oostelijke deel van de Westerschelde sloeg in 1960 de relatief sterke stijging van het laagwater om in een daling. Als gevolg hiervan neemt sinds 1960 de getijslag in dit deel van de Westerschelde sterk toe.

Verklaring: het getij kan sterker binnendringen doordat het estuarium dieper en smaller is geworden. De gebieden waar het water kan worden geborgen worden kleiner. De geulen, waar het water doorheen wordt getransporteerd, worden groter.

De komberging in de Westerschelde is tussen 1930 en 1960 afgenomen. In de periode 1960-1990 is de netto komberging nauwelijks veranderd.

Verandering in komberging is het netto resultaat van tegengestelde ontwikkelingen. De komberging neemt af als gevolg van sedimentatie in het intergetijdegebied en inpolderingen, en neemt toe door stijging van de zeespiegel en een groter getijverschil.

Opvallend zijn het afnemen in komberging in de periode 1930-1960 als gevolg van inpolderingen en de groei in komberging in de periode 1960-1990 als gevolg van de toename van het getijverschil. Hierdoor wordt het afnemen van de komberging als gevolg van sedimentatie gecompenseerd.

Verklaring: de verdieping van de vaarweg en het daarmee gepaard gaande onderhoud zorgt ervoor dat meer sediment in het intergetijdegebied terecht komt waardoor de komberging afneemt. Maar omdat deze ingreep, samen met de inpolderingen in het verleden, er óók voor zorgt dat de getijslag toeneemt, wordt het afnemen deels weer gecompenseerd.

Het is onduidelijk of het getijvolume is veranderd.

De metingen zijn te onnauwkeurig om vast te stellen of het getijvolume van de Westerschelde sinds 1930 significant is veranderd. Net als bij de komberging is de verandering in getijvolume een optelsom van tegengestelde factoren. Enerzijds is het getijvolume afgenomen doordat de komberging is afgenomen, terwijl anderzijds door toename van de voortplantingssnelheid van de getijgolf het estuarium 'beter' wordt gevuld en het getijvolume toeneemt.

De debietverdeling over de geulen is veranderd.

De aan- en afvoer van water door de geulen is veranderd in het oostelijk deel en in het middendeel.

In het oostelijk deel neemt de watervoerende functie van de hoofdgeul toe ten koste van de nevengeul.

Verklaring: door het verdiepen van de drempels neemt de weerstand af en gaat de hoofdgeul meer water afvoeren. Aangezien de grootte van het doorstroomprofiel van een geul wordt bepaald door de hoeveelheid water die er doorheen stroomt, neemt de geuldoorsnede toe. De toename van het debiet in de hoofdgeul gaat ten koste van het debiet van de nevengeul, waardoor de zandtransportcapaciteit in de nevengeul afneemt en de geul verondiept. Dit laatste wordt bevorderd door het storten van het sediment.

In het middendeel nam het getijvolume in de ebgeul (Middelgat) af.

Verklaring: in dit deel van de Westerschelde neemt het Gat van Ossensisse geleidelijk de functie over van de andere geul, het Middelgat. Opvallend is dat dit proces van overname gepaard gaat met sedimentatie in het middengebied. Door deze combinatie, verandering in debietverdeling en sedimentatie, ligt een verband met het storten van sediment ten behoeve van onderhoud van de vaargeul voor de hand. Nadere analyse wijst echter uit dat er (met name) sprake is van een natuurlijk proces.

Het patroon van een meergeulensysteem waarbij door de ene geul vooral de vloed stroomt en door de andere de eb, is in het oostelijk deel van het estuarium minder uitgesproken geworden.

De grootschalige morfologische dynamiek is afgenomen.

De macrodynamiek, migraties van hoofdgeulen en in mindere mate ook nevengeulen, is afgenomen. In de afgelopen twee eeuwen is de hoofdgeul steeds meer op een vaste ligging in het estuarium gefixeerd geraakt. Wanneer de ligging en diepte van de geulen in 1800 worden vergeleken met die van 1990 valt het op dat de hoofdgeul nu over een grotere lengte tegen de dijk ligt en daar ook dieper is. In het oostelijk deel zorgt ook het baggeren en storten ervoor dat de geul op dezelfde plaats blijft.

De mesodynamiek, migraties van kortsluitgeulen door plaatcomplexen, is de afgelopen decennia in de gehele Westerschelde afgenomen.

Verklaring: de kortsluitgeulen zijn minder actief geworden. Dit komt vooral doordat de geulen aan weerszijden van de plaat minder uitgesproken eb- of vloedgeulen zijn geworden, waardoor de maximale verhangen over de platen zijn afgenomen. Dit verhang is een aandrijvende kracht voor de kortsluitgeulen.

In de afgelopen decennia heeft de Westerschelde sediment geïmporteerd vanuit de kustzone.

Sinds 1955 is door zandwinning circa 100 miljoen m³ sediment aan de Westerschelde onttrokken, terwijl de totale inhoud beneden gemiddeld hoogwater slechts met 15 à 20 miljoen m³ is toegenomen. Dit betekent dat door de getijstroming sediment vanuit het mondingsgebied is gempporteerd. De import is het grootst rond 1970; na 1980 is er nauwelijks nog sprake van import of export.

Sediment is geborgen in Saeftinge en in de voormalige hoofdgeul het Middelgat terwijl netto erosie is opgetreden in het meest oostelijke vak.

De zandtransportcapaciteit van de geulen in de Westerschelde is relatief groot door de sterke eb- en vloedstromen en het relatief fijne sediment. De (grotere) geulen vormen de transportaders; platen, slikken en schorren hebben veelal een bergende functie.

Het getij transporteert zand van west naar oost door het estuarium.

Uit de zandbalans blijkt dat er in de bestudeerde periode (1955-1993) sprake is van een netto landwaarts, vloedgedomineerd sedimenttransport.

Dit transport verloopt als volgt. Het residueel sedimenttransport volgt het patroon van de eb- en vloedgedomineerde stroming en verloopt voornamelijk via circulatie-cellen (neren) om de platen heen. Transport in langsrichting vindt plaats door uitwisselingen (kortsluitingen) tussen de circulatiecellen.

In het oostelijk deel wordt het west-oost transport in stand gehouden door het baggeren en storten. Vanaf midden jaren tachtig is de inhoud van het oostelijk deel niet meer groter geworden. Er is een kunstmatig onderhouden evenwicht ontstaan tussen ingrepen en morfologie.

Morfologische patronen

De vorm van het dwarsprofiel is veranderd.

Sinds 1955 is de doorgaande hoofdgeul verdiept en verbreed. Sediment is voornamelijk opgeslagen in de nevengeulen en plaatcomplexen. De platen zijn hierdoor zowel in oppervlak als gemiddelde hoogte toegenomen. De slikken in de buitenbochten, uitgezonderd de slikken voor het Konijnenschor en de Marlemonse Plaat, zijn versmald en verlaagd en hebben dus netto sediment geleverd. De schorren hebben door ophoging en het opvullen van schorkreken sediment opgeslagen. Dit is voornamelijk in Saeftinge gebeurd.

De beschikbare ruimte wordt anders verdeeld.

Sinds 1955 is de oppervlakteverdeling tussen geul, ondiep water, plaat, slik en schor in de Westerschelde sterk gewijzigd. Het geulareaal is uitgebreid als netto effect van verruiming van hoofdgeulen en een verkleining van nevengeulen. De platen zijn gegroeid door het opvullen van kortsluitgeulen. Het areaal ondiep watergebied is met bijna 1/3 afgenomen, zowel door verdieping als door verlanding. Dat is vooral gebeurd in de jaren zestig. De som van slik en schorareaal is sinds 1960 sterk in omvang afgenomen. Dit kan vrijwel geheel worden toegeschreven aan inpolderingen en havenaanleg.

Platen zijn gegroeid door afname van macro- en mesodynamiek.

De kleinere platen van rond 1960, die het gebied een versneden uiterlijk gaven, zijn door het opvullen van kortsluitgeulen omgevormd tot grotere en meer gestroomlijnde plaatcomplexen. Hierdoor zijn veel relatief flauwe plaat-geulovergangen verdwenen, wat geleid heeft tot een (gemiddelde) versteiling van deze randen.

Verklaring: de groei van de platen kon plaatsvinden omdat de kortsluitgeulen minder actief waren geworden door het afnemen van de maximale verhangen over de platen (zie mesodynamiek). De oorzaak van het afnemen verschilt per deelgebied. In het oostelijk deel is de afname het gevolg van het verdiepen van de vaargeul, in het midden en westen zijn de oorzaken meer natuurlijk van aard. Het gegeven dat de groei van de platen al langer en in de hele Westerschelde optreedt wijst erop dat het afnemen van de macrodynamiek hier ook een rol speelt. Doordat de geulen in de loop der tijd op veel plaatsen tot aan de dijk zijn uitgebocht en daar blijven liggen, ontstaat in de as van het estuarium ruimte voor plaatgroei.

Jong schor is nagenoeg verdwenen; bestaande schorren eroderen.

Vanaf 1960 zorgden zowel inpoldering (Ossendrecht) als erosie (Saeftinge en Waarde) voor een achteruitgang van het totale schoroppervlak. Het ecotoop 'jong schor' is nu bijna geheel verdwenen en de randen van de meeste schorren slaan af. Desondanks is tussen 1977 en 1990 het schorareaal weer licht gegroeid door de 'spontane' ontpoldering van de Selenapolder (thans Sieperdaschor) en door schorvorming in de grote krekken van Saeftinge (bijvoorbeeld Spauwer) (zie ook intermezzo 'Selenapolder wordt Sieperdaschor' op blz. 48).

Aandeel slibrijke ecotopen neemt af in het oostelijk deel.

Binnen het intergetijdegebied wordt onderscheid gemaakt tussen hoogdynamische gebieden en slibrijke en slibarme laagdynamische gebieden. Vooral de ontwikkeling in de laagdynamische slibrijke gebieden is van belang, omdat dit ecotoop potentieel het rijkst is aan bodemdieren (stapelvoedsel voor vele soorten watervogels en vissen). Het areaal van dit ecotoop is in het oostelijk deel vanaf het begin van de waarnemingen (1935) steeds afgenomen. Tussen 1935 en 1957 ging de vermindering hand in hand met een afname van het totale areaal aan intergetijdegebied ten gevolge van schorvorming. In de periode 1957-1989 is dit niet meer het geval. Het areaal neemt verder af terwijl het totale areaal intergetijdegebied nog maar heel licht afneemt. Hierdoor is het aandeel van de slibrijke ecotopen in het intergetijdegebied gedaald van circa 65 procent in 1957 tot circa 40 procent in 1989.

Op de hogere delen van de platen in het oostelijk deel verschijnen slibrijke 'oases', rijk aan bodemdieren.

Door de groei van de platen van Valkenisse is het absolute areaal aan laagdynamische slibrijke gebieden uitgebreid. Deze gebieden liggen boven NAP. Voorheen kwamen dit soort gebieden nauwelijks voor op de platen.

Biodiversiteit

Schorvegetatie Saeftinge

Van de huidige overgebleven schorren in de Westerschelde is het *Verdronken Land van Saeftinge* veruit het grootste. De vegetatie-geschiedenis van dit grootste brakwater-schor van Europa is een verhaal van natuurlijke successie van vegetatietypes die behoren bij een zich uitbreidend en ophogend schor.

Het schor van Saeftinge breidde zich in de jaren 1930 en 1940 sterk uit door de introductie van Engels slijkgras en de daaropvolgende kolonisatie van het slik. De constante opslibbing zorgde voor een verdere successie van de vegetatie: de verspreiding van Strandkweek en Zeebies heeft uiteindelijk geleid tot een dominantie van deze soorten op respectievelijk de oeverwallen en in de kommen. De knolletjes van Zeebies worden massaal gegeten door de Grauwe Gans. De kaalgevreten plekken worden gekoloniseerd door Kweldergras (*Puccinellia*).

Bodemdieren

In het oostelijk deel is de soortensamenstelling van de bodemdieren niet veel gewijzigd gedurende de laatste dertig jaar. Het soortenspectrum is beperkt tot ongeveer veertig soorten, die horen bij de plaats in de estuariene gradiënt. De depositfeeders (vooral wormen) zijn dominant over de filterfeeders (kokkels). Of de totale biomassa in het oostelijk deel is toe- of afgenomen is niet met zekerheid vast te stellen.

Verklaring: het maken van een terugblik van de potentiële biomassa-verdeling over de slikken en platen van het oostelijk deel in de jaren vóór de eerste verdieping (1957) berust op een aantal vooronderstellingen. Die maken de onzekerheid in de uitkomst te groot om een verschil met de jaren na de verdieping vast te kunnen stellen.

Broedvogels

Ingpolderingen en havenactiviteiten hebben de leefomstandigheden voor enkele vogelsoorten sterk gewijzigd. Door het verdwijnen van de Kaloot verdween de populatie van de Strandplevier. Bij de kustbroedvogels zoals Grote Stern, Dwergstern en Visdief is het natuurlijk broedbiotoop vervangen door meer kunstmatige gebieden (natuurbouw Hooie Platen en sluiscomplex Terneuzen). De Visdief broedt ook in een natuurlijk ecotoop in Saeftinge (veekpakketten).

Doortrekkende en overwinterende vogels

Een opmerkelijke ontwikkeling is het verdwijnen van duikeenden (bodemdier etende watervogels) uit de Westerschelde. In het begin van deze eeuw kwamen veel duikeenden zoals Toppereend, Zwarte

Zeeëend en Brilduiker voor in het westelijk deel.

Verklaring: het verdwijnen van uitgestrekte schelpdierbanken die aanwezig waren in de monding (Sloe en Kaloot) en de Braakman.

Door het verdwijnen van de schorren en zeegrasgebieden van Sloe en Braakman zijn de aantallen Smient en Wintertaling (plantenetende watervogels) in het westelijke deel sterk afgenomen. Ook de Rotgans nam in aantal af, maar dan in het oosten. Ganzen (vooral Grauwe Gans) zijn de laatste jaren sterk toegenomen in Saeftinge. Eén van de oorzaken van de spectaculaire toename van de aantallen overwinterende Grauwe Ganzen in Saeftinge is de ruime aanwezigheid van Zeebies, waarvan de knolletjes gegeten worden.

Het oostelijk deel heeft vooral een functie als doortrekgebied voor steltlopers (bodemdier etende vogels). Behoudens natuurlijke fluctuaties is hierin niet veel veranderd.

De ontwikkeling van de maximum aantallen vogels van soorten die foerageren in het intergetijdegebied, levert geen aanwijzingen op dat de veranderingen in ecotopen in dit deel van de Westerschelde doorwerken in de foerageermogelijkheden voor deze vogels.

Opmerking: naast het verlies van geschikte ecotopen worden de aantallen watervogels, die jaarlijks overwinteren of doortrekken, sterk beïnvloed door natuurlijke fenomenen zoals strenge winters en de ontwikkelingen in de noordwest-Europese populaties. Daarom is het lastig vast te stellen in hoeverre veranderingen aan één factor zijn toe te schrijven.

Vissen

Bij de bodem levende vissen en garnalen: hoge aantallen, weinig soorten.

De Westerschelde herbergt een groot aantal organismen die dicht bij de bodem leven (gemiddeld 2250 per 1000 m²), maar het systeem bevat minder soorten dan in een estuarium verwacht kunnen worden. Er werden veertig soorten gevonden, waarvan zeventien algemeen en acht zeer overvloedig voorkomend. De Grijs Garnaal is de meest algemene soort. Typisch is het ontbreken van zoetwatervissen en Salmoniden zoals Spiering, die meestal zeer talrijk zijn in estuaria met voldoende zuurstof.

Doortrekkende vissen: de doortrekfunctie voor diadrome vissen wordt ernstig belemmerd.

De zware organische belasting van het systeem zorgt ervoor dat het gebied stroomopwaarts van de Vlaams-Nederlandse grens gedurende lange periodes zuurstofloos blijft. Slechts vier soorten trekvis werden aangetroffen (onder andere Fint en Paling). Anadrome vissen zoals Rivierprik en Fint waren zeer zeldzaam en ook de catadrome soorten zoals de harders werden zeer weinig gevangen. Paling is iets algemener.

De Westerschelde als kraamkamer: de Westerschelde vervult voor vijf veel voorkomende soorten vissen en garnalen een kraamkamerfunctie.

De schorrekreeken en ondiep watergebieden vormen de ideale leefomgeving voor de eieren en larven van garnalen, krabben, grondels, haringen en zandspieling. De platvissen en sprotten

produceren pelagische eieren. Het ondiepe paaigebied net buiten de Westerschelde is belangrijk voor tong en zandspiering.

De Westerschelde als kinderkamer: veel soorten vinden in het oostelijk deel van het estuarium voedsel om snel te groeien. Vrijwel dezelfde soorten die in meer of mindere mate hun oorsprong vinden in de Westerschelde, gebruiken het estuarium ook als leefgebied om op te groeien van postlarvale stadia naar juvenielen. Het voedselaanbod is groot en de predatiedruk is relatief gering. Na deze opgroefase trekken de meeste soorten naar zee om daar volwassen te worden.

Lange termijnontwikkeling

Verdrinken of verlanden

Door sedimentatie in het intergetijdegebied neemt de komberging af. Deze sedimentatie wordt in het oostelijk deel gestimuleerd door het baggeren en storten. Om die reden kan worden gesproken van verlanding. Er is echter géén sprake van een verlanding in de zin van vermindering van komberging en evenmin van een daling van het getijvolume. Dit komt omdat de ingrepen niet alleen de sedimentatie doen toenemen, maar ook het binnendringen van het getij versterken. De vermindering van komberging en getijvolume door sedimentatie wordt gecompenseerd door een toename van de komberging door het sterker binnendringend getij. Het is nog niet duidelijk hoe deze situatie zich in de toekomst zal ontwikkelen. De zeespiegelstijging vormt namelijk een extra complicerende factor. Momenteel speelt deze een ondergeschikte rol, maar dat zal veranderen wanneer de zeespiegel versneld gaat stijgen.

Verstard morfologisch patroon in oostelijk deel

De morfologische veranderingen in het oostelijk deel van de Westerschelde zijn niet natuurlijk. Het onnatuurlijke karakter zit hem met name in het gegeven dat ze voorspelbaar zijn geworden. De Westerschelde is haar grilligheid in dit deel kwijt; de grootschalige dynamiek is uit het systeem gehaald. Door de afname in dynamiek is in dit deel van het estuarium het morfologisch patroon 'verstard'. Met als gevolg dat de toename van de geulen en platen en de achteruitgang van bepaalde typen ecotopen (ondiep watergebied en slikken langs de buitenbocht) blijvend van aard is.

Kwetsbaarder systeem?

Door veranderingen in processen en patronen zijn de leefomstandigheden voor planten en dieren veranderd. Veranderingen in de oppervlakte van de ecotopen (vooral in het oostelijk deel) veroorzaken een soort 'verstarring' van de voor een estuarium kenmerkende natuurlijke ontwikkeling. In hoeverre deze veranderingen hebben geleid, of op langere termijn zullen leiden, tot achteruitgang in de biodiversiteit is niet bekend. De ontwikkelingen bij de hogere organismen (vogels en vissen) zijn complex en blijken niet alleen te worden gestuurd door deze fysische randvoorwaarden. Op basis van de algemene ecosysteemtheorie wordt aangenomen dat de ruimte voor hogere organismen om zich aan verdere 'verstarring' aan te passen, is afgenomen.



Hoofdstuk II-B:

De Westerschelde in verandering

De gevolgde methoden en onderbouwing van de onderzoeksresultaten

2.1 Inleiding

Als aanvulling op de compacte beschrijving van de waargenomen ontwikkelingen in Hoofdstuk II-A, geeft Hoofdstuk II-B een beschrijving van de belangrijkste resultaten van uitgevoerde analyses en van onderzoek naar processen. Deze informatie wordt noodzakelijk geacht voor een juiste interpretatie van trends, trendbreuken en variaties in de waarnemingen. De belangrijkste veranderingen worden vervolgens besproken en geconfronteerd met de hypothesen die betrekking hebben op de huidige toestand. Op basis van deze confrontatie worden de hypothesen bijgesteld en zijn waar nodig vragen geformuleerd.

Tabel 2.1.1
Overzicht van de indicatoren waarmee veranderingen in de toestand van de Westerschelde zijn vastgesteld, de vragen die de waargenomen ontwikkelingen oproepen en de hypothesen die getoetst moeten worden.

Op zich zijn veranderingen in de toestand van de Westerschelde niets bijzonders. De Westerschelde is immers een dynamisch systeem, dat voortdurend aan verandering onderhevig is. De kunst is daarom, alle ontwikkelingen overziende, dié veranderingen te selecteren die afwijken van de natuurlijke ontwikkeling.

Onderdeel	Indicatoren voor veranderingen in de toestand	Vragen naar aanleiding van waargenomen ontwikkelingen	Verwachte ontwikkelingen
Getij	Looptijd getij Waterstand Getijasymmetrie Debietverdeling Getijvolume Komberging	Is het getij veranderd als gevolg van veranderingen in de geometrie van het estuarium?	Er treedt versnelde verlanding op als gevolg van afname in komberging.
Morfologie	Sediment uitwisseling tussen deelsystemen; Inhoud en oppervlak morfologische eenheden; Bodemdynamiek (macro-, meso- en microdynamiek)	Langs welke banen wordt het sediment in het estuarium getransporteerd?	De morfologische dynamiek wordt sterk beïnvloed, zowel op grote als op kleine schaal.
Ecologie ¹	ecotopen ² vogels visfauna bodemdieren schorvegetatie	Wat is de relatie tussen de aanwezigheid van bodemdieren en bodemkenmerken?	Het estuariene karakter van de Westerschelde wordt bedreigd door afname ecotopen en biodiversiteit.

1) bij de ecologie zijn veel waarnemingen beperkt tot het oostelijk deel
2) een ecotoop is een ruimtelijke eenheid die binnen zekere grenzen homogeen is ten aanzien van de voornaamste hydromorfologische en fysisch-chemische omgevingsfactoren die voor biota belangrijk zijn

2.2 Getij

2.2.1 Inleiding

Het getij is de belangrijkste motor van estuariene processen in de Westerschelde. Het getij vult en leegt het estuarium twee keer per dag. Hierbij stroomt ter hoogte van Vlissingen circa 1 miljard m³ water de Westerschelde in en weer uit. De som van dit eb- en vloedvolume wordt het getijvolume genoemd.

Het water dat de Westerschelde in- en uitstroomt wordt geborgen in het intergetijdegebied en in de geulen. De totale hoeveelheid water die in de Westerschelde tussen laag- en hoogwater kan worden geborgen wordt de komberging genoemd.

De komberging van de Westerschelde is groter dan het getijvolume. Dit komt doordat het niet overal op dezelfde tijd hoog- en laagwater is, waardoor de Westerschelde niet overal tegelijk vol of leeg is. Het getij plant zich als een golf voort door het estuarium. Zo bedraagt de looptijd van het getij van Vlissingen naar Antwerpen circa 1 uur en 44 minuten. Dat wil zeggen dat het in Antwerpen 1 uur en 44 minuten later hoogwater is dan in Vlissingen.

In deze paragraaf worden de ontwikkelingen in hoog- en laagwaterstanden, de komberging, het getijvolume en de looptijd van het getij gepresenteerd. Zijn deze parameters veranderd dan is het getij op de Westerschelde veranderd. Andere parameters, waarvan de ontwikkelingen worden beschreven, zijn de getijasymmetrie en de debietverdeling.

Getijasymmetrie is, het woord zegt het al, een maat voor het asymmetrisch worden van het getij. Het getij dat vanaf de Noordzee het estuarium binnenloopt vervormt doordat het ondieper wordt; het getij begint de bodem te 'voelen'. Deze vervorming is weer van invloed op het netto transport van sediment: verandering in de getijasymmetrie kan betekenen dat er meer of minder sediment vanaf de Noordzee met het getij mee het estuarium in wordt gevoerd of omgekeerd.

Getijasymmetrie is daarmee een indicator voor veranderingen in de ligging van de bodem op lange termijn.

De debietverdeling over de geulen zegt iets over de wijze waarop het estuarium wordt gevuld en geleegd. Het geeft aan van welke geulen het getij bij vloed en eb het meest gebruik maakt. Een verandering in de debietverdeling is een indicatie dat de vorm en inhoud van geulen en platen is veranderd.

Verschillende van deze getijparameters zijn in de loop van de tijd veranderd. Gezien de vele veranderingen in de geometrie van de Westerschelde werd dit ook verwacht. Vanwege deze verwachting én om het inzicht in de veranderingen te vergroten, is de relatie tussen getij en geometrie nader onderzocht. De resultaten worden in par. 2.2.3 gerapporteerd.

Een toetsing van de hypothese dat het estuarium versneld verlandt aan de waarnemingen en de meest recente inzichten is beschreven in par. 2.2.4.

station	stijging gemiddelde zeestand (z)	stijging gemiddeld hoogwater (hw)	stijging hoogwater t.o.v zee- spiegel (hw)-(z)	stijging gemiddeld laagwater (lw)	stijging laagwater t.o.v zee- spiegel (lw)-(z)	toename gemiddeld tijverschil
Vlissingen	17	29	+12	14	-3	15
Terneuzen	26	42	+16	14	-12	28
Hansweert	24	43	+19	22	-2	21
Bath	-	56	+32	-7	-31	63

Voor Bath kon de stijging van de zeestand niet worden berekend. Bij de bepaling van de stijging van hoog- en laagwater ten opzichte van de gemiddelde zeestand is voor Bath daarom uitgegaan van de stijging van de gemiddelde zeestand bij Hansweert.

Tabel 2.2.1

De stijging van de zeespiegel, het gemiddeld hoog- en laagwater en de toename van het getijverschil voor vier stations langs de Westerschelde [in cm/eeuw]. Trends zijn gebaseerd op waarnemingen vanaf 1940 tot 1990.

Opmerking: Indien de tabel wordt vergeleken met figuur 2.2.1 en 2.2.2, moet worden bedacht dat de getallen in de tabel zijn gegeven in cm/eeuw.

2.2.2 Waargenomen veranderingen.

Waterstanden

In de Westerschelde meet Rijkswaterstaat sinds 1860 op vier stations de waterstanden. Dillingh & Heinen (1994) hebben hieruit de trends in zeestand, hoogwater, laagwater en getijverschil bepaald.

Het algemene beeld in de Westerschelde is dat het gemiddeld hoogwater sneller stijgt dan de gemiddelde zeespiegel (figuur 2.2.1). Het gemiddeld laagwater stijgt minder snel dan de gemiddelde zeespiegel. Hierdoor is er een toename in de getijslag. Dit beeld verschilt niet met de waarnemingen elders langs de Nederlandse kust en de Waddenzee (Dillingh & Heinen, 1994). Meer in detail valt echter wel een aantal zaken op.

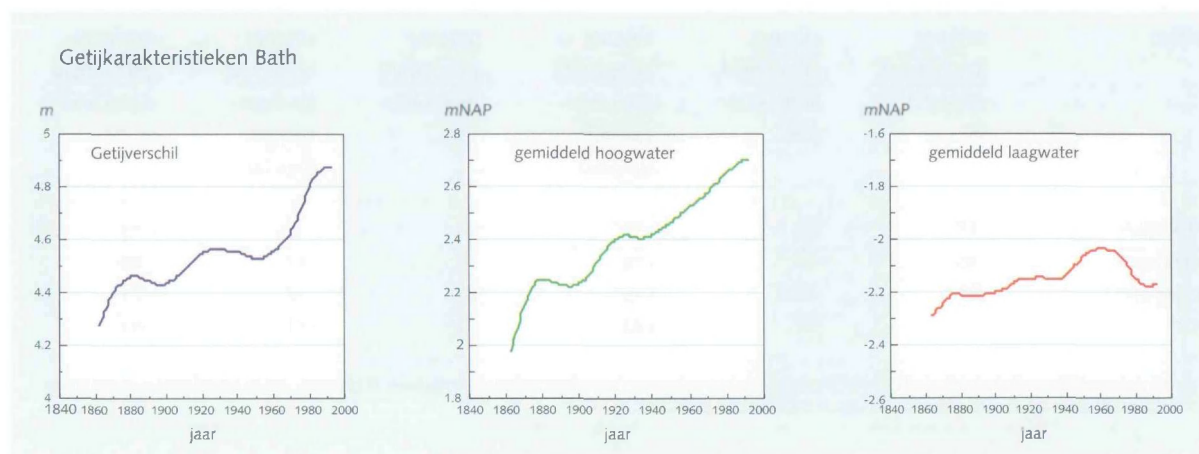
Bij het hoogwater is opvallend dat de stijging toeneemt in stroomopwaartse richting. In figuur 2.2.2 is dit geïllustreerd aan de hand van de ontwikkelingen te Vlissingen en Bath sinds 1900. Ten opzichte van de gemiddelde zeespiegel is het hoogwater te Bath sinds 1900 circa 20 cm méér gestegen dan het hoogwater te Vlissingen. Dillingh en Heinen concluderen dat rekening dient te worden gehouden met een stijging van het hoogwater in het oostelijk deel van de Westerschelde met 50 cm per eeuw, welke circa twee maal zo hoog is als die langs de Nederlandse Noordzeekust en de Waddenzee (25 cm



Figuur 2.2.1
Toename van het gemiddeld hoogwater te Vlissingen ten opzichte van de gemiddelde zeespiegel.



Figuur 2.2.2
Toename van het gemiddeld hoogwater bij Bath ten opzichte van het gemiddeld hoogwater bij Vlissingen.



Figuur 2.2.3

Verandering van de getijkarakteristieken in het oostelijk deel van de Westerschelde (station Bath).

per eeuw). Bij het laagwater valt op dat in het oostelijke deel vanaf circa 1960 de stijging van het laagwater omslaat in een daling. Gecombineerd met de relatief sterke stijging van het hoogwater neemt sinds 1960 het getijverschil in dit deel van de Westerschelde sterk toe (figuur 2.2.3)

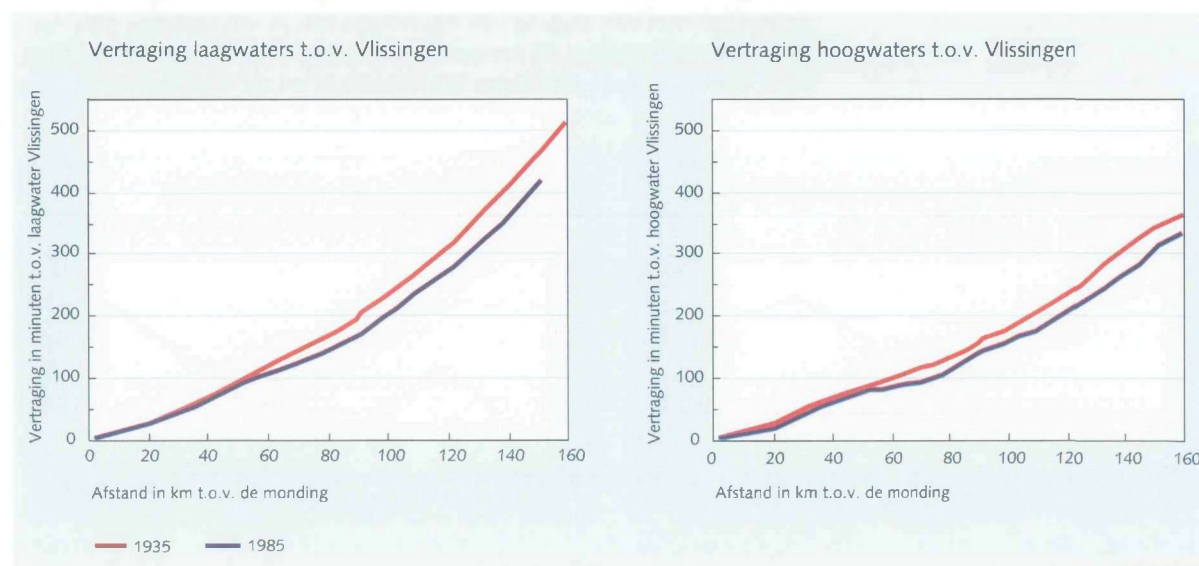
De voortplantingssnelheid van de getijgolf

De voortplantingssnelheid van de getijgolf in het Schelde-estuarium is in de loop van de tijd toegenomen (tabel 2.2.2 en figuur 2.2.4). Het hoogwater bereikt nu ten opzichte van Vlissingen Hansweert gemiddeld 15 minuten sneller en Antwerpen zelfs gemiddeld 40 minuten sneller dan in 1895.

Tabel 2.2.2

Verandering in de looptijdminuten voor het hoogwater te Hansweert en Antwerpen ten opzichte van Vlissingen (Claessens & Meijvis, 1994).

	1895	1905	1915	1925	1935	1945	1955	1965	1975	1985
Hansweert	71	71	70	70	65	65	63	59	65	56
Antwerpen	144	140	138	133	124	124	120	113	112	104



Figuur 2.2.4

De vertraging van het laag- en hoogwater in het estuarium en de verandering in de tijd.

De toename in voortplantingssnelheid betekent dat het estuarium 'beter' wordt gevuld. Op het moment van hoogwater te Antwerpen is de waterstand in Vlissingen momenteel hoger dan in het verleden. Zo was in 1895 ten tijde van hoogwater te Antwerpen het water te Vlissingen al 2 uur en 24 minuten aan het dalen, terwijl dit tegenwoordig 1 uur en 44 minuten is. Er bevindt zich dus meer water in het estuarium; het getij vult het estuarium 'beter' door de snellere voortplanting van de getijgolf.

Getijasymmetrie

Een globale maat voor de getijasymmetrie is de verhouding tussen de duur van vloed en eb (tabel 2.2.3). In het hele Schelde-estuarium duurt de vloed korter dan de eb. Dit verschil is stroomopwaarts (stations Bath en Antwerpen) het grootst. In de loop van de tijd is de verhouding nauwelijks veranderd; alleen bij Bath en Antwerpen lijkt de vloed in het begin van deze eeuw iets langer te hebben geduurd.

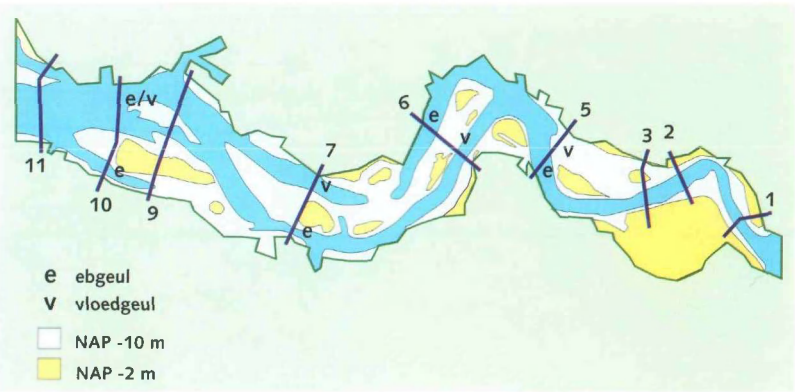
Tabel 2.2.3
De duur van de vloed (de rijzing van het water) gedeeld door de duur van de eb (de daling). Waarnemingen tussen 1895 en 1985 (Claessens & Meijvis, 1994).

jaar	Vlissingen	Hansweert	Bath	Antwerpen
1895	0,91	0,96	0,97	0,95
1905				0,89
1915	0,92	0,96		0,91
1925	0,92	0,96	0,89	0,89
1935	0,92	0,95		0,87
1945	0,91	0,94	0,88	0,86
1955	0,92	0,94	0,86	0,86
1965	0,92	0,95	0,87	0,85
1975	0,91	0,98	0,86	0,87
1985	0,92	0,94	0,87	0,89

Getijvolumina

Debieten worden telkens in dezelfde doorsnede van de Westerschelde gemeten op de zogenaamde vaste debietraaien (figuur 2.2.5). Meetgegevens zijn beschikbaar vanaf 1935. Een debietmeting wordt uitgevoerd vanaf meetschepen. Verspreid over de raai meet men een aantal stroomsnelheidsverticalen. De gemeten stroomsnelheden worden over de dwarsdoorsnede geïntegreerd tot debieten die vervolgens over de tijd worden geïntegreerd tot getijvolumina. Interpretatie van de ontwikkelingen in de loop van de tijd op de

Figuur 2.2.5
Debietraaien in de Westerschelde.



verschillende raaien (figuur 2.2.6) is lastig. Ten eerste dient rekening te worden gehouden met een variatie in verband met meetfouten. In de regel wordt hiervoor 10 procent aangehouden. Ten tweede varieert het getijvolume met maximaal 3 à 4 procent ten gevolge van de zogenaamde 18,6 jarige cyclus. Deze ontstaat door het samenspel van de bewegingen van zon, maan en aarde en veroorzaakte maxima in het getijvolume rond 1940, 1960 en 1980.

Het getijvolume in de monding (raaien 9, 10 en 11) lijkt licht te zijn afgenomen. In het middelste en oostelijke deel (raaien 3-7) zijn de getijvolumina niet wezenlijk veranderd.

In het meest oostelijke deel (raaien 1 en 2), in de buurt van de Belgisch- Nederlandse grens, lijkt het getijvolume te zijn toegenomen.

De conclusie met betrekking tot veranderingen in het getijvolume in de monding, respectievelijk in het oostelijk deel, is 'zacht' geformuleerd.

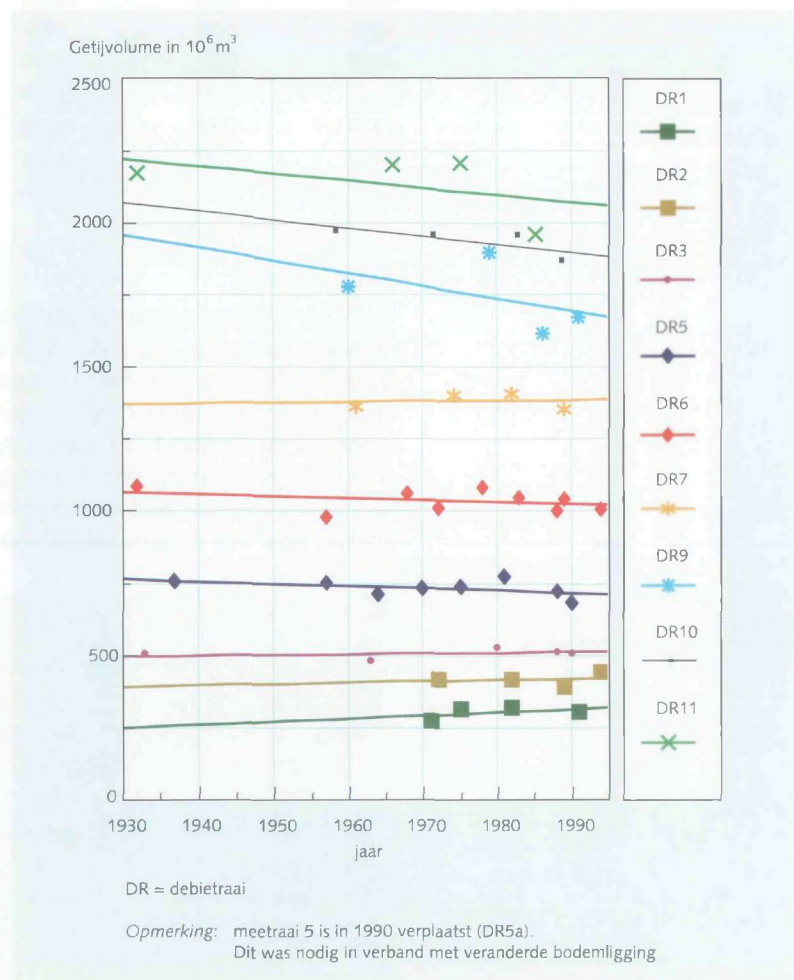
De korte waarnemingsperiode, het beperkt aantal waarnemingen en de relatief grote meetfout maken de trend onbetrouwbaar.

Vanwege die onbetrouwbaarheid is nagegaan of er voor de ontwikkelingen aannemelijke verklaringen zijn. Dit is alleen het geval voor het meest oostelijke deel van de Westerschelde (raai 1 en 2)

De toename van het getijvolume in het oostelijk deel van de Westerschelde is het gevolg van de sterke toename in de komberging stroomopwaarts. Dit als gevolg van de toename van het getijverschil in dit deel van het estuarium (zie tabel 2.2.1).

Figuur 2.2.6

Verandering in de loop van de tijd in het getijvolume, gemeten op de verschillende debietraaien in de Westerschelde.



Debietverdeling

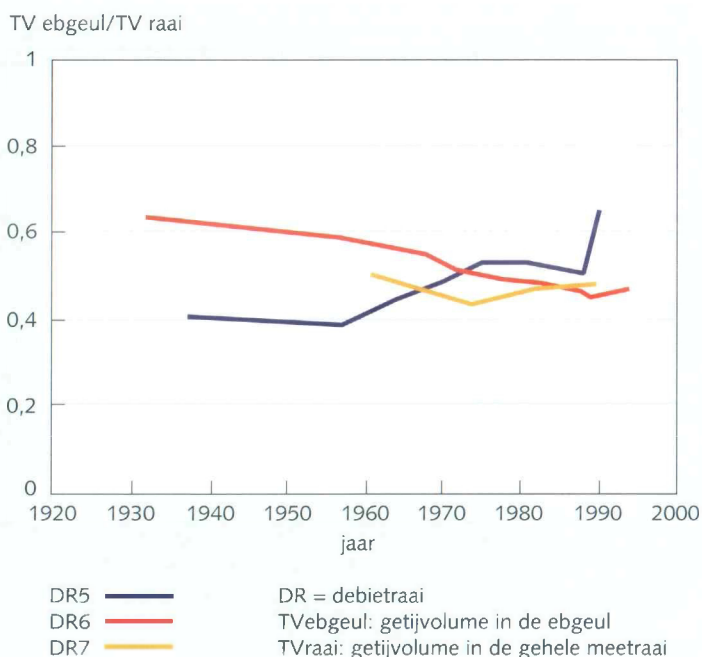
De veranderingen in debietverdeling over de geulen (figuur 2.2.7) zijn bekeken aan de hand van de waarnemingen voor raai 5 (oostelijk deel), raai 6 (middendeel) en raai 7 (westelijk deel). In raai 7 zijn geen significante ontwikkelingen waarneembaar. In de raaien 5 en 6 is de verdeling van het getij over de geulen wel veranderd. In raai 5 nam het getijvolume in de ebgeul toe ten opzichte van het totale getijvolume. In raai 6 nam het getijvolume in de ebgeul (Middelgat) juist af. Het afnemen in raai 6 zette eerder in dan de toename in raai 5. De verandering in debietverdeling kan worden verklaard als de morfologische veranderingen in dit gebied erbij worden betrokken (Huijs, 1996).

Bij raai 5 blijkt de inhoud van de ebgeul (Zuidergat) te zijn toegenomen in de periode 1970-1980, de periode dat de vaarwegdrempels in de geul zijn verdiept. Tegelijkertijd nam de inhoud van de vloed-schaar (schaar van Waarde) af. Dit kan als volgt worden verklaard. Door het verdiepen van de drempels neemt de weerstand af en gaat de hoofdgeul meer water voeren. Aangezien de grootte van het doorstroomprofiel van een geul wordt bepaald door de hoeveelheid water die er doorheen stroomt, neemt de geuldoorsnede toe. De toename van het debiet in de hoofdgeul gaat ten koste van het debiet in het nevengeulengebied, waardoor de transportcapaciteit afneemt en de geulen verondiepen. Dit laatste wordt bevorderd door het storten van sediment.

In raai 6 van de Westerschelde neemt het Gat van Ossensisse geleidelijk de functie over van de andere geul, het Middelgat. Opvallend is dat dit proces van overname gepaard gaat met sedimentatie in het middengebied. Deze combinatie van verandering in debietverdeling en sedimentatie doet een verband vermoeden het storten van sediment dat vrijkomt bij het onderhoud van de vaargeul. Nadere analyse wijst echter op een natuurlijk proces (zie intermezzo 'Functiewisseling

Figuur 2.2.7

Verloop in de getijverdeling over de eb- en vloedgeul in het westelijk deel, het middendeel en het oostelijk deel in de loop der jaren.



Middelgat - Gat van Ossenisse'). Bij de veranderingen in raai 6 spelen - in tegenstelling tot raai 5 - dus vooral natuurlijke ontwikkelingen een rol. Deze zijn overigens al in het begin van deze eeuw in gang gezet.

Bij beschouwing van de eb- en vloedgeulen afzonderlijk valt op dat in raai 5 en 6 de eb- en vloedvolumina dicht bij elkaar komen te liggen (figuur. 2.2.8). Het patroon van een meergeulensysteem, waarbij door de ene geul vooral de vloedstroom trekt en door de andere de ebstroom, wordt in het oostelijk deel van de Westerschelde steeds minder duidelijk.

Komberging

Een globale indruk van de netto verandering in komberging wordt verkregen door de verschillende factoren op te tellen die de komberging verkleinen dan wel vergroten (tabel 2.2.4).

Door sedimentatie in het intergetijdegebied en de inpolderingen neemt de komberging af. Tegelijkertijd echter neemt de komberging toe doordat de zeespiegel stijgt en het getijverschil toeneemt.

Opvallend zijn het afnemen in komberging in de periode 1930-1960 als gevolg van inpolderingen en de groei in komberging in de periode 1960-1990 als gevolg van de toename van het getijverschil. Dit laatste treedt met name op in het oostelijk deel van de Westerschelde, zoals eerder in dit hoofdstuk duidelijk is geworden bij de bespreking van de waterstanden.

In par. 2.2.4 wordt ingegaan op de veranderingen in komberging in relatie tot de verlanding van het estuarium.

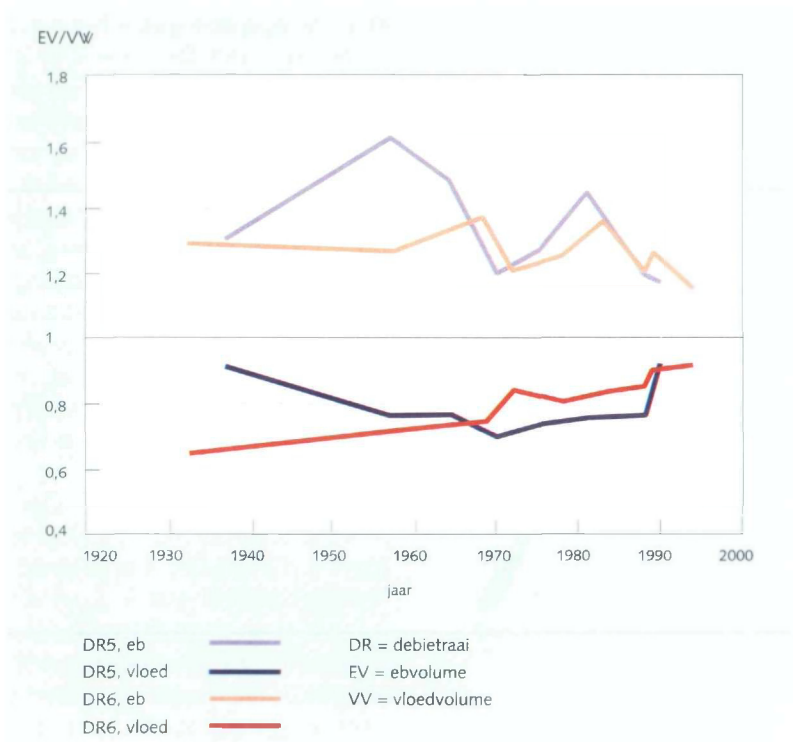
Functiewisseling Middelgat - Gat van Ossenisse

In het middengebied is het Gat van Ossenisse in omvang toegenomen ten koste van het Middelgat. Deze verandering is gepaard gegaan met een vermindering van dominantie, dat wil zeggen de mate waarin water bij vloed door een vloedgeul en bij eb door een ebgeul stroomt. Bij een sterke dominantie hebben zowel vloed- als ebgeul een groot doorstroomprofiel, omdat de grootte van het profiel wordt bepaald door het grootste debiet. Het totale oppervlak van de geulen is dan relatief groot. Bij een vermindering van dominantie neemt dit totale oppervlak af. Het gevolg is dat het gebied netto sediment gaat opnemen. Dit laatste is het geval geweest in het

middengebied. De sedimentatie is daar dus niet zozeer het gevolg van het storten van onderhoudsbaggerspecie maar van dit natuurlijke proces. Zie voor een uitgebreide beschrijving van dit proces Van Kleef (1994).

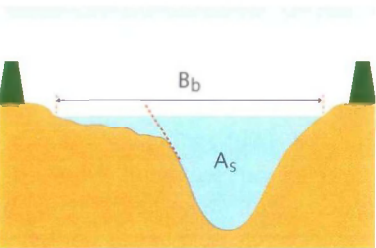
De opgedane kennis over dit proces in het middengebied heeft in algemene zin geleid tot het inzicht dat morfologische veranderingen invloed hebben op het meer of minder efficiënt transport van water door een gebied. Deze veranderingen gaan gepaard met import of export van sediment in of uit het gebied. Met dit aspect dient rekening te worden gehouden bij de analyse van de effecten van het baggeren en storten.

Figuur 2.2.8
Verandering in de loop der tijd in de ratio tussen het eb- en vloedvolume op de debietmeetraaien in de individuele geulen.



Tabel 2.2.4
Verandering in komberging in miljoenen m³ (Huijs en Storm, 1997). Om de invloed van de sedimentatie in het intergetijdegebied te kunnen blijven vergelijken is uitgegaan van de begrenzing in 1990.

periode	sedimentatie in inter getijdegebied	inpolderingen	getijverschil	zeespiegel- rijzing
1930-1960	-27	-40	+13	+6
1960-1990	-33	-8	+32	+16



Figuur 2.2.9
De geometrie van het estuarium:
 B_b = bergende breedte
 A_s = stroomvoerend oppervlak
De voortplantingssnelheid van de getijdegolf door het estuarium kan worden benaderd met de formule: $c = \sqrt{(gA_s/B_b)}$, waarbij g een constante is (de versnelling van de zwaartekracht).

2.2.3 De invloed van de geometrie op het getij

De geometrie van het Schelde-estuarium is sterk veranderd. Door inpolderingen zijn intergetijdegebieden langs de rand van het estuarium verdwenen, waardoor de breedte waarover het water kan worden geborgen geringer is geworden. De verdieping van de vaargeul heeft echter geleid tot een grotere doorsnede van de geulen waardoor het Westerscheldewater stroomt. Dit betekent dat de verhouding tussen de zogenaamde bergende breedte en het stroomvoerend oppervlak is veranderd. Deze verhouding is een maat voor de snelheid waarmee de getijdegolf het Schelde-estuarium binnendringt (figuur 2.2.9). Het ligt dus voor de hand te veronderstellen dat de waargenomen veranderingen in het getij verband houden met de veranderingen in de geometrie. Om hier meer inzicht in te krijgen zijn de effecten van deze ingrepen op het getij gesimuleerd met waterbewegings-modellen. Het voordeel van modelsimulaties is dat het effect van een ingreep kan worden geïsoleerd door alle andere variabelen in het model constant te houden.

Door de inpolderingen is het areaal aan overstromingsgebieden afgenomen. Hierdoor neemt de komberging in het estuarium af. De eerste gedachte is dat hierdoor minder water in het estuarium wordt geborgen en dat daardoor ook minder water het estuarium binnenkomt. Een reconstructie van het getij maakt echter duidelijk dat de hoeveelheid water die het estuarium in- en uitstroomt, sinds 1600 slechts met circa 10 procent is afgenomen (Van der Spek, 1994). Ten opzichte van het enorme areaal aan overstromingsgebieden dat is ingepolderd, is deze vermindering van het getijvolume zeer gering. Dit komt doordat de vermindering van kombergingsoppervlak wordt gecompenseerd door een toename van het getijverschil en een betere vulling van het estuarium door een grotere loopsnelheid van de getijgolf. Ook de relatieve zeespiegelrijzing, sinds 1600 zo'n 70 cm, heeft een positief effect op de komberging.

Met de verdieping van de vaargeul in het begin van de jaren zeventig is het stroomvoerend oppervlak toegenomen. Een vergelijking, aan de hand van simulaties, van de toestand van voor de verdieping en de huidige toestand, laat zien dat in het oostelijk deel de waargenomen ontwikkelingen in het laagwater (tabel 2.2.1) overeenkomen met de modelsimulaties (Bollebakker, 1996). Bij het hoogwater is dit minder het geval. Het hoogwater neemt wel toe ten gevolge van de verdieping maar minder sterk als in de waarnemingen. Dit betekent dat de oorzaak van de snellere stijging van de hoogwaters niet alleen bij de geulverdieping mag worden gezocht.

Welke inzicht verschaft ons nu het resultaat van de model-simulaties? Allereerst het gegeven dat een verlies aan overstromingsgebieden in het algemeen niet rechtstreeks kan worden omgerekend in een verlies aan komberging en getijvolume. Door de ingrepen verandert de geometrie en hierdoor het getij. Meer algemeen wordt duidelijk dat de verhouding tussen de grootte van het estuarium en de hoeveelheid water die er elk getij in- en uitstroomt, gegeven een bepaald getij aan de monding, geen constante is. De geometrie heeft hier ook belangrijke invloed op. Bij het Schelde-estuarium is de geometrie dusdanig aangepast dat het getijvolume is toegenomen in verhouding tot het oppervlak van het estuarium.

2.2.4 Hoe snel verlandt het estuarium?

De verwachting is dat het verlandingsproces in het Schelde-estuarium zich versneld voltrekt. Het verlandingsproces is het gevolg van de continue aanvoer vanaf zee en vanaf de rivier van sediment, dat wordt afgezet in het intergetijdegebied. Hierdoor neemt de komberging af en ook het getijvolume, de hoeveelheid water die elk getij het estuarium in- en uitstroomt. Dit laatste heeft weer tot gevolg dat de geulen in afmetingen afnemen (zie ook het intermezzo 'wetmatigheden in het morfologisch gedrag van de Westerschelde', hoofdstuk 1).

Volgens de hypothese wordt het proces van verlanden versneld doordat het afnemen van de komberging wordt bevorderd door het inpolderen van intergetijdegebieden en door het baggeren en storten. Deze laatste ingreep heeft namelijk een versnelde sedimentatie in het intergetijdegebied tot gevolg. Door het baggeren worden de geulaftmetingen relatief groot gehouden, zodat het sediment dat zich anders in de geul zou hebben bevonden, nu voor een deel wordt geborgen in het intergetijdegebied.

Bekijken we de verandering in komberging (tabel 2.2.4) dan blijkt inderdaad dat deze afneemt door sedimentatie en dat de inpolderingen dit proces hebben bevorderd. Hoewel er geen waarnemingen zijn geanalyseerd van vóór die tijd lijkt er, gezien de invloed van de inpolderingen, in de periode 1930-1960 sprake van een versnelde vermindering van komberging. In de periode 1960-1990 is dit minder duidelijk omdat met name de sterke toename van de getijslag in het oostelijk deel ervoor zorgt dat het afnemen van de komberging wordt gecompenseerd. De verdieping van de vaarweg en het daarmee gepaard gaande onderhoud zorgt ervoor dat er sediment in het intergetijdegebied terecht komt, waardoor de komberging afneemt. Maar omdat deze ingreep, samen met de inpolderingen in het verleden, er óók voor zorgt dat de getijslag toeneemt, wordt dit ook weer gecompenseerd.

Het bepalen van de vermindering van de komberging is dus niet een kwestie van een simpele rekensom. De effecten van de ingreep op het getij dienen mee genomen te worden. Hetzelfde geldt voor het getijvolume. Een vermindering van komberging vertaalt zich niet rechtstreeks in een dalend getijvolume, omdat de ingreep de voortplantingssnelheid van het getij kan beïnvloeden. Voor het Schelde-estuarium is deze snelheid toegenomen waardoor het estuarium 'beter' wordt gevuld. Het is mogelijk dat ondanks minder bergingsgebieden het getijvolume gehandhaafd blijft omdat de geometrische veranderingen er (óók) voor zorgen dat het estuarium beter wordt gevuld. De waarnemingen in het getijvolume wijzen in deze richting.

Geconcludeerd kan worden dat door sedimentatie in het intergetijdegebied de komberging afneemt. Deze sedimentatie wordt in het oostelijk deel gestimuleerd door het baggeren en storten. Om die reden kan worden gesproken van een verlanding. Er is echter géén sprake van een verlanding in de zin van vermindering van komberging en evenmin van een daling van het getijvolume. Dit komt omdat de ingrepen niet alleen de sedimentatie doen toenemen, maar ook het binnendringen van het getij versterken. Een vermindering van komberging en getijvolume door sedimentatie wordt gecompenseerd door een toename van komberging door een sterker binnendringen van het getij. Het is nog niet duidelijk hoe deze situatie zich in de toekomst zal ontwikkelen. De zeespiegel-stijging vormt namelijk een extra complicerende factor. Momenteel speelt deze een ondergeschikte rol, maar dat zal veranderen wanneer de zeespiegel versneld gaat stijgen.

2.3 Morfologie

2.3.1 Inleiding

De Westerschelde vormt het mariene en brakke deel van het Schelde-estuarium, met vele typisch estuariene verschijningsvormen. De grote geulen zijn de ruggegraat van het watersysteem. De ligging en grootte van deze geulen bepalen de structuur van de platen, die tussen de geulen zijn ingeklemd. Ook bepalen ze de ruimte die resteert voor slikken en schorren, uiteraard in samenhang met de harde begrenzing in de vorm van de zeewering.

Het Schelde-estuarium, met als monding de Westerschelde, is pas ontstaan in de vroege middeleeuwen. Het estuarium is daarmee geologisch nog zeer jong, ook in vergelijking met vele andere estuaria in de wereld die zijn ontstaan na het stijgen van de zeespiegel sinds de laatste ijstijd (ca. 10.000 jaar geleden).

Sinds zijn ontstaan is het estuarium sterk in oppervlak toegenomen tot omstreeks 1700. Na die tijd heeft de mens via bedijkingen het stroombed steeds verder ingeperkt. De structuur van het estuarium is geleidelijk veranderd. De geulen zijn op veel plaatsen uitgebocht, vaak tot aan de zeewering. Uitgestrekte slikken en schorren zijn verdwenen, met uitzondering van Saeftinge. Door het uitbochten van de geulen ontstond ruimte in de as van het estuarium en konden platen in oppervlak toenemen. In de komende paragrafen zal worden beschreven hoe de morfologie van de Westerschelde in de afgelopen vijf decennia is veranderd.

Allereerst worden de grootschalige veranderingen in inhoud en verplaatsingen van sediment behandeld. Dit gebeurt aan de hand van de zandbalans. Vervolgens wordt meer in detail gekeken naar de veranderingen van de inhoud van geulen en het intergetijdegebied en de ontwikkelingen van de arealen van ondiep water, platen, slikken en schorren. Ook de waargenomen veranderingen in morfologische dynamiek worden besproken. De grote veranderlijkheid, ofwel dynamiek, op verschillende ruimte- en tijdschalen, is immers een karakteristiek gegeven van een estuarium. Deze dynamiek zorgt ervoor dat het mozaïek aan platen, geulen, slikken en schorren continu verandert. De verschillende tijd- en ruimteschalen komen tot uiting in de macro-, meso- en microdynamiek.

De waargenomen veranderingen zijn de resultante van het netto transport van sediment. Dit transport kan worden afgeleid uit opgetreden inhoudsveranderingen. Voor een goed begrip van de veranderingen is dit echter niet voldoende. Het is ook van belang te weten hoe het sediment door het estuarium wordt getransporteerd. Pas dan kan bijvoorbeeld worden voorspeld waar sediment, dat op een locatie wordt gestort, uiteindelijk terecht zal komen. Daarom wordt in dit hoofdstuk ook op het transport van sediment door het estuarium ingegaan.

Zoals in de pilotstudie Oostwest (zie hoofdstuk I) is aangegeven wijzen veel veranderingen in de morfologie erop dat de zandhuishouding in het estuarium wordt gestuurd door menselijke ingrepen in de geometrie. In paragraaf 2.3.3 wordt getracht om met behulp van de meest recente inzichten, de vraag te beantwoorden of dat echt zo is.

2.3.2 Waargenomen veranderingen

Zandbalans Westerschelde

Een zandbalans is een morfologische boekhouding. Voor een bepaalde periode wordt berekend hoeveel zand in een gebied is gesedimenteerd of geërodeerd. Dit wordt verdisconteerd met stortingen of onttrekkingen om de import of export uit het gebied te bepalen. Voor de balans van de Westerschelde wordt geen onderscheid gemaakt in zand en slib omdat de volumeveranderingen voor meer dan 95 procent het resultaat zijn van zandverplaatsingen (zie intermezzo 'zandbalans').

In de Westerschelde is tussen 1955 en 1993 bijna 300 miljoen m³ sediment gebaggerd en weer teruggestort. Netto is circa 100 miljoen m³ sediment aan de Westerschelde onttrokken, veelal om dit op land te gebruiken als bouw materiaal. In dezelfde periode is de inhoud van de Westerschelde met 10 à 20 miljoen m³ toegenomen (Uit den Bogaard, 1995). De oorzaak van het grote verschil tussen onttrokken hoeveelheid en inhoudstoename is dat in dezelfde periode aanzienlijke hoeveelheden sediment vanuit het mondingsgebied zijn aangevoerd. Bij deze berekening is aangenomen dat het netto sedimenttransport over de Belgisch-Nederlandse grens verwaarloosbaar is. Deze aanname wordt ondersteund door resultaten van recent onderzoek (Van der Male, 1996). Hieruit blijkt dat de Beneden Zeeschelde tussen de grens en Rupelmonde in de periode 1960 tot 1990 gemiddeld bijna twee meter is verdiept, wat neerkomt op een hoeveelheid van 50 miljoen m³. In dezelfde periode is ongeveer evenveel sediment (60 miljoen m³) aan dit gebied onttrokken en gebruikt voor het ophogen van het

Zandbalans: sedimentboekhouding van de Westerschelde en uitleg over de (on)nauwkeurigheden

Een zandbalans is een morfologische boekhouding die in afgebakende periodes de netto zanduitwisselingen beschrijft tussen bepaalde gebieden. De lodingen vormen de basisgegevens van een zandbalans, waarmee via een interpolatie een zogenaamd Digitaal Terrein Model (DTM) wordt opgesteld. Door DTM's van verschillende jaren met elkaar te vergelijken ontstaat inzicht in de verandering van inhoud van vakken en het ruimtelijk patroon van erosie en sedimentatiezones.

Een zandbalans ontstaat door de waargenomen inhoudsveranderingen te combineren met de kunstmatige ingrepen, het baggeren, storten en zandwinnen. De balans tussen de vakken wordt kloppend gemaakt met het 'natuurlijk zandtransport'. Aan minimaal één rand van de zandbalans moet een bepaald natuurlijk transport worden

aangenomen. Voor deze zandbalans is aangenomen dat er geen netto zandtransport over de Belgisch-Nederlandse grens heeft plaatsgevonden. Sluitpost van de zandbalans is het 'natuurlijk zandrapport' ter plaatse van de westraai van de balans, de raai Vlissingen-Breskens. Dit transport komt overeen met de import van sediment naar het estuarium of de export naar het mondingsgebied.

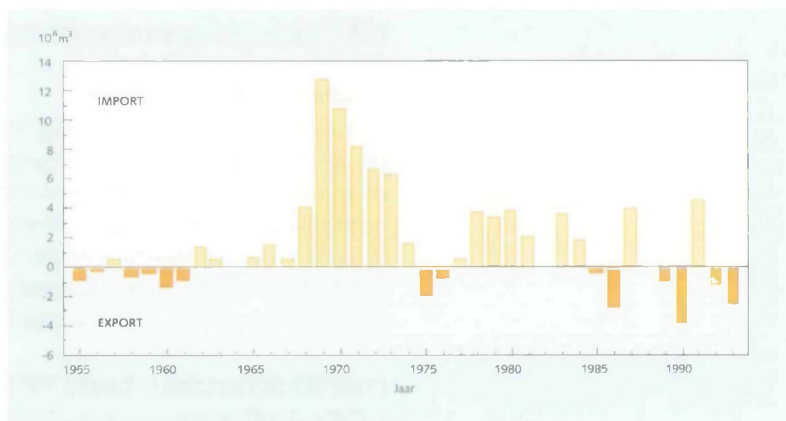
De nauwkeurigheid van een zandbalans wordt bepaald door de nauwkeurigheid van lodingen, interpolatie, inhoudsberekening en bagger-, stort en zandwinvolumina. Via onderzoek (Storm et al., 1994) is aangetoond dat stochastische fouten, zoals bijvoorbeeld in de lodingen, geheel worden uitgemiddeld.

Daarnaast vallen relatief constante systematische fouten, zoals in de berekening van bagger- en stortvolumina (uitlevering), in de verschilberekening grotendeels tegen

vervolg op volgende pagina

Figuur 2.3.1

Uitwisseling van sediment tussen de Westerschelde en de eb-getijdedelta van 1955 tot en met 1993 (in miljoen m³).



haveengebied. In figuur 2.3.1 is het verloop van de import vanuit het mondingsgebied in de loop der jaren weergegeven. Opvallend is de grote import in de periode rond 1970. Van 1981 tot en met 1993 is wisselend zowel import als export opgetreden. De gemiddelde import over die periode bedraagt 0,3 miljoen m³/jaar.

De inhoudsbalans van de gehele Westerschelde kan worden verfijnd door sedimentbalansen voor delen van het systeem op te stellen. Deze balansen maken zichtbaar hoe de veranderingen ruimtelijk zijn verdeeld en geven nadere informatie over de hiermee gepaard gaande natuurlijke sedimentverplaatsingen.

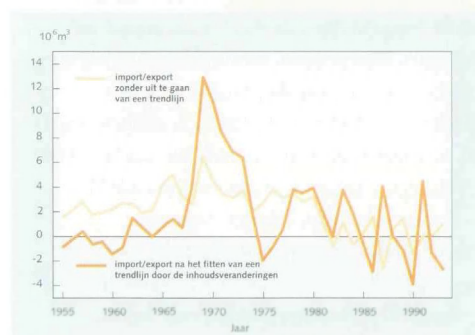
elkaar weg. De grootste onnauwkeurigheden ontstaan door systematische fouten die variabel zijn. Dit zijn bijvoorbeeld afwijkingen die ontstaan voor hele gebieden bij de omrekening van de waterstand naar een vaste referentie. Als de Westerschelde in zijn geheel wordt beschouwd dan moet rekening worden gehouden met een fout in de diepte van gemiddeld enkele centimeters. Naarmate de vakken waarover een zandbalans wordt berekend kleiner worden, neemt de onnauwkeurigheid toe. Uit analyses blijkt dat een fout van zelfs enkele decimeters kan

voorkomen!

De kans op meet- en verwerkingsfouten wordt kleiner bij een sterk doorgevoerde systematiek. Een vast raaiensysteem en een frequente calibratie behoren reeds geruime tijd tot de meetpraktijk

van de Meetdienst van de Rijkswaterstaat Directie Zeeland. Daarnaast is van belang om de lodingsdata goed en snel te controleren om zodoende systematische fouten in een vroeg stadium op te kunnen sporen. Een extra controle kan geschieden via dwarsraaien ('cross-check lines') waarmee tevens een soort kwaliteitsmerk aan een kaart of vakloding kan worden toegekend.

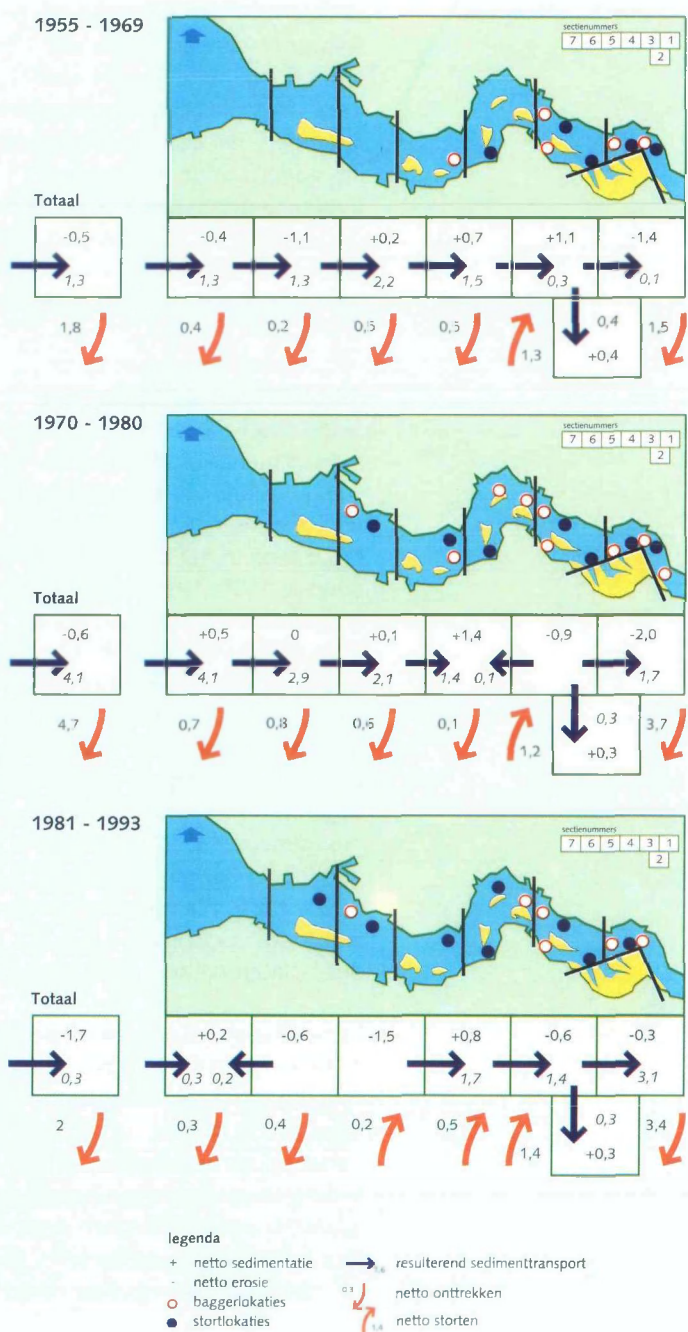
Bij het opstellen van de zandbalans kunnen, door uit te gaan van de trend in de inhoudsveranderingen, onnauwkeurigheden worden uitgemiddeld. Het inhoudsverloop wordt dan minder grillig. Nadeel van de methode is dat snelle veranderingen, die niet te wijten zijn aan onnauwkeurigheden in de lodingen, maar het gevolg zijn van een morfologisch proces, óók worden uitgedempt. Op deze wijze kan relevante informatie dus letterlijk uit het zicht verdwijnen. Daarom wordt in dit rapport niet uitgegaan van de trendlijn. In bijstaande figuur is de import en export naar het estuarium volgens beide methoden weergegeven.



In figuur 2.3.2 is de zandbalans gegeven voor 7 vakken en drie perioden: de periode vòòr de vaarwegverdieping (1955-1969), de periode waarin de vaarwegverdieping is uitgevoerd en de morfologie zich grotendeels heeft aangepast aan de nieuwe situatie (1970-1980) en de periode na de verdieping (1981-1993).

In alle perioden zorgt natuurlijk transport overwegend voor netto verplaatsing van sediment in landwaartse richting. Zowel in vak 2 (Saeftinge) als in vak 4 (Middelgat) is sinds 1955 netto sediment opgeslagen. Netto erosie is gedurende de gehele periode opgetreden in het meest oostelijke vak (vak 1).

Figuur 2.3.2
Zandbalans van de Westerschelde voor 3 periodes:
vóór de verdieping (1955 t/m 1969),
tijdens verdieping (1970 t/m 1980) en
na de verdieping (1981 t/m 1993)
[alles in miljoen m³/jaar].



In de periode 1955-1969 waren de bagger- en stortactiviteiten nog beperkt tot het oostelijk deel. In de periode 1970-1980 nam als gevolg van de verdieping de intensiteit toe en werd ook gebaggerd op meer zeewaarts gelegen vaarwegdrempels. De natuurlijke sedimentverplaatsingen in het westelijk deel waren in deze periode opvallend hoog. In het oostelijk deel verruimden de vakken 1 en 3 samen met bijna 3 miljoen m³ per jaar, terwijl sediment in de nabije vakken 2 en 4 werd opgeslagen. In de periode 1981-1993 erodeerden de westelijke vakken 5 en 6. De inhoud van het meest westelijke vak (7), grenzend aan het mondingsgebied, bleef nagenoeg onveranderd. Dit heeft zowel uit het mondingsgebied als uit het oostelijk gelegen vak (1) sediment aangetrokken.

De inhoud van de vakken 1 en 3 nam in deze periode minder toe dan in de vorige perioden. Opvallend is een relatief groot landwaarts transport van vak 3 naar vak 1 in de periode 1981-1993, zonder dat de inhoud van beide vakken sterk is gewijzigd. Hier is sprake van een netto transport dat wordt onderhouden door het baggeren op de Drempels van Bath en Valkenisse en het storten voor Konijnenschor; het zogenaamde 'rondpompen'.

Binnen al deze vakken kunnen nog aanzienlijke verschillen in inhoud optreden die in deze zandbalans niet tot uitdrukking komen. Dit soort ontwikkelingen komt hieronder aan de orde als de geulen en het intergetijdegebied afzonderlijk worden besproken.

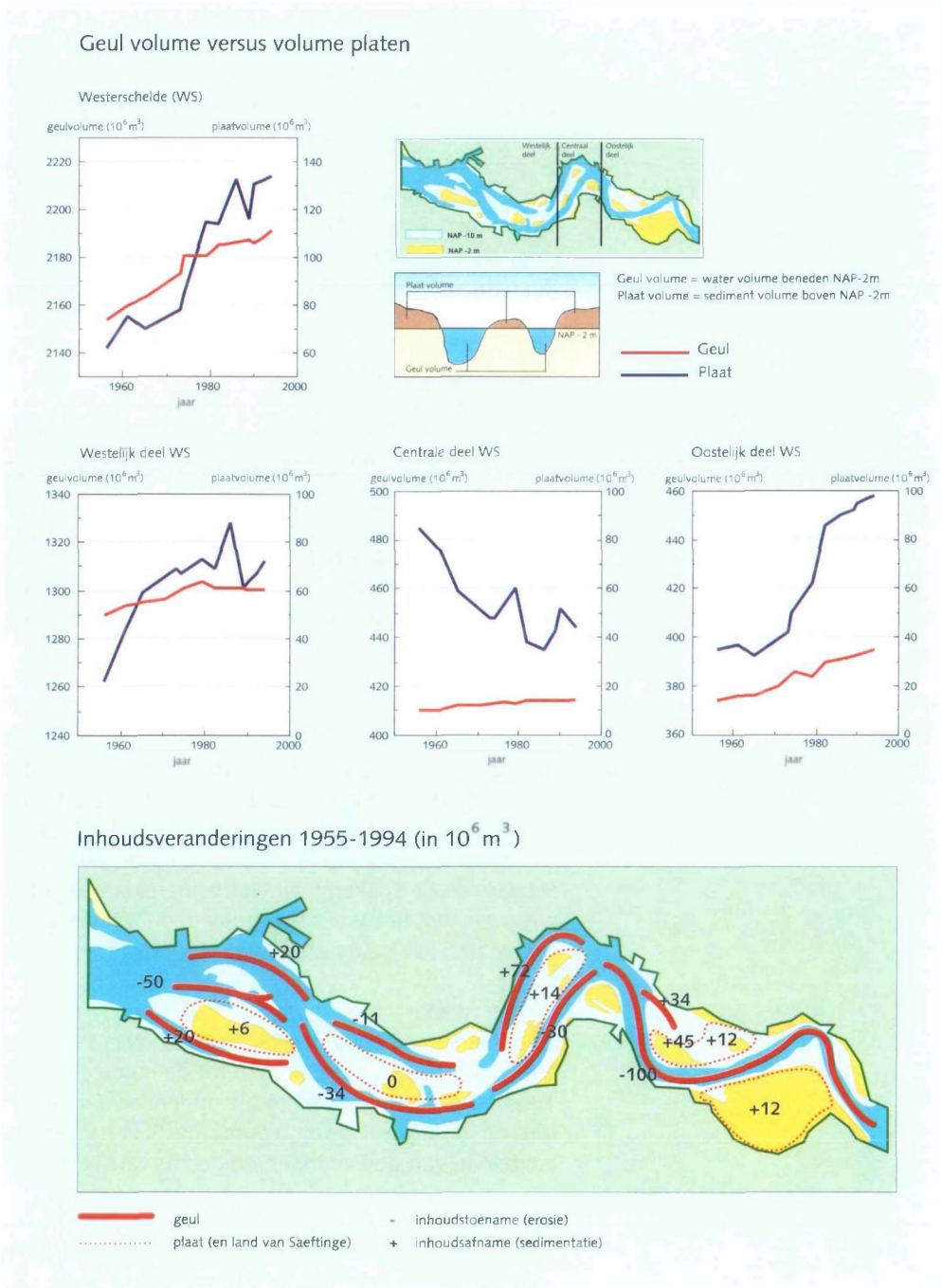
Inhoudsveranderingen

Sinds 1955 zijn de geulen beneden NAP -2 m met ongeveer 70 miljoen m³ sediment verruimd (Huijs, 1996). Dit is een resultante van een sterke verruiming van de hoofdgeul en van opvulling van nevengeulen, vooral ten oosten van Baarland.

Opvallend in het oostelijk deel is de snelle inhoudstoename in de periode 1970-1980. Deze bedroeg circa 2,5 miljoen m³ per jaar, waardoor de hoofdvaargeul met gemiddeld 1,5 m verdiepte. De inhoudsveranderingen hebben zich in het midden en westelijke deel minder snel voltrokken. De opvallendste ontwikkelingen zijn daar de sterke sedimentatie en de vorming van de Schaar van de Spijkerplaat. Bijna alle plaatcomplexen zijn hoger en groter geworden doordat ook hier sediment terecht is gekomen. Tussen 1955 en 1993 is hier ongeveer 35 miljoen m³ tussen N.A.P. -2 m en +2,5 m gesedimenteerd. De volume-vergroting van de platen bedroeg gemiddeld 0,9 miljoen m³ per jaar, en was het sterkst in de periode 1961-1971. Waargenomen is dat kortsluitgeulen opgevuld raakten, waardoor verschillende kleinere platen één grotere plaat vormden; deze platen namen vervolgens in hoogte toe met 1 à 2 cm per jaar.

In de kreken, slikken en schorren in Saeftinge is netto 13 miljoen m³ sediment terechtgekomen. Ook de andere schorren zijn verder opgehoogd. Geschat wordt dat daar circa 1 miljoen m³ sediment is afgezet. De slikken in de buitenbochten zijn over het algemeen zowel versmald als verlaagd en hebben dus netto sediment verloren. De sedimentuitwisselingen tussen de geulen enerzijds en slikken en schorren anderzijds is een orde van grootte kleiner dan die tussen geulen en platen, welke weer een orde van grootte kleiner is dan de uitwisseling tussen geulen onderling.

De inhoudsveranderingen in de Westerschelde zijn samengevat in figuur 2.3.3 en worden nu meer in detail besproken. Vanaf de Belgisch-Nederlandse grens tot aan de Overloop van Hansweert is de hoofdgeul met meer dan 100 miljoen m³ verruimd terwijl in de nevengeulen in het Valkenissegebied 34 miljoen m³ sediment is geborgen. In het intergetijdgebied (boven N.A.P. -2 m) is 25 miljoen m³ sediment achtergebleven, de ene helft in het platencomplex Walsoorden-Valkenisse en de andere op het schor en in de kreken van Saeftinge.



Figuur 2.3.3
Opgetreden inhoudsveranderingen in de Westerschelde sinds 1955.

Het Middelgat, een voormalige hoofdgeul, is sinds 1955 sterk verondiept met 72 miljoen m³ sediment. De Overloop van Hansweert en het Gat van Ossensisse zijn daarentegen met 30 miljoen m³ verruimd. Op de platencomplexen Ossensisse en Rug van Baarland is in totaal 14 miljoen m³ geborgen.

De Everingen en met name de Pas van Terneuzen zijn sinds 1955 beide verruimd, respectievelijk met 11 en 34 miljoen m³. In het bijbehorende intergetijdegebied zijn in die periode slechts enkele miljoen m³'s terechtgekomen.

In het mondingsgebied van de Westerschelde is sinds 1955 veel veranderd. Belangrijk is de vorming van de Schaar van de Spijkerplaat, een ontwikkeling welke zich in de zestiger jaren heeft ingezet. In 1994 werd de Schaar ter hoogte van de Drempeel van Borssele een tak van de Pas van Terneuzen. Tijdens dit proces is het volume met 50 miljoen m³ toegenomen. Het hoofdvaarwater de Honte is onder invloed van die nieuwe geul in belang afgenomen en is verondiept met 20 miljoen m³. De nevengeul, het Vaarwater langs Hoofdplaat, is ook in omvang afgenomen, in totaal met 20 miljoen m³. Op de Hoge Platen en de Hoge en Lage Springer is zo'n 6 miljoen m³ sediment terechtgekomen.

Areaalontwikkelingen

Westerschelde

Sinds 1960 is het areaal ondiep watergebied sterk afgenomen en is zowel het geul- als het plaatareaal toegenomen. Het totaal areaal aan randgebieden, (slikken en schorren) is afgenomen (figuur 2.3.4). Dit komt door de inpolderingen bij Ossendrecht (900 ha), de havenaanleg bij Sloe/Kaloot (468 ha), de Braakman/Mosselbanken (148 ha) en het hier en daar rechtekken van de zeewering. Door deze ingrepen is het totale oppervlak van de Westerschelde van 1960 tot 1990 met 4 procent afgenomen tot 31.700 ha.

Geulen

Het geulareaal (het gebied beneden N.A.P. -5 m) is sinds 1960 uitgebreid met 800 ha en nam in 1994 meer dan de helft van het totale buitendijkse gebied in beslag. Deze uitbreiding vond vooral plaats in de hoofdvaargeul: de Pas van Rilland, het Nauw van Bath, de Overloop van Hansweert, het Gat van Ossensisse, de Everingen en de Schaar van de Spijkerplaat. Het geulareaal werd kleiner in de nevengeulen: het Valkenissegebied, de Schaar van Ossensisse, het Middelgat, het Vaarwater langs Hoofdplaat en de Honte.

Ondiep water

Het areaal ondiep watergebied (tussen N.A.P. -2 m en -5 m) is sinds 1960 met 1300 ha afgenomen tot de huidige 3150 ha en besloeg in 1994 10 procent van het totale oppervlak. De sterkste vermindering trad op in de jaren zestig, voornamelijk in het oostelijk deel en in de omgeving van de Everingen en de Pas van Terneuzen.

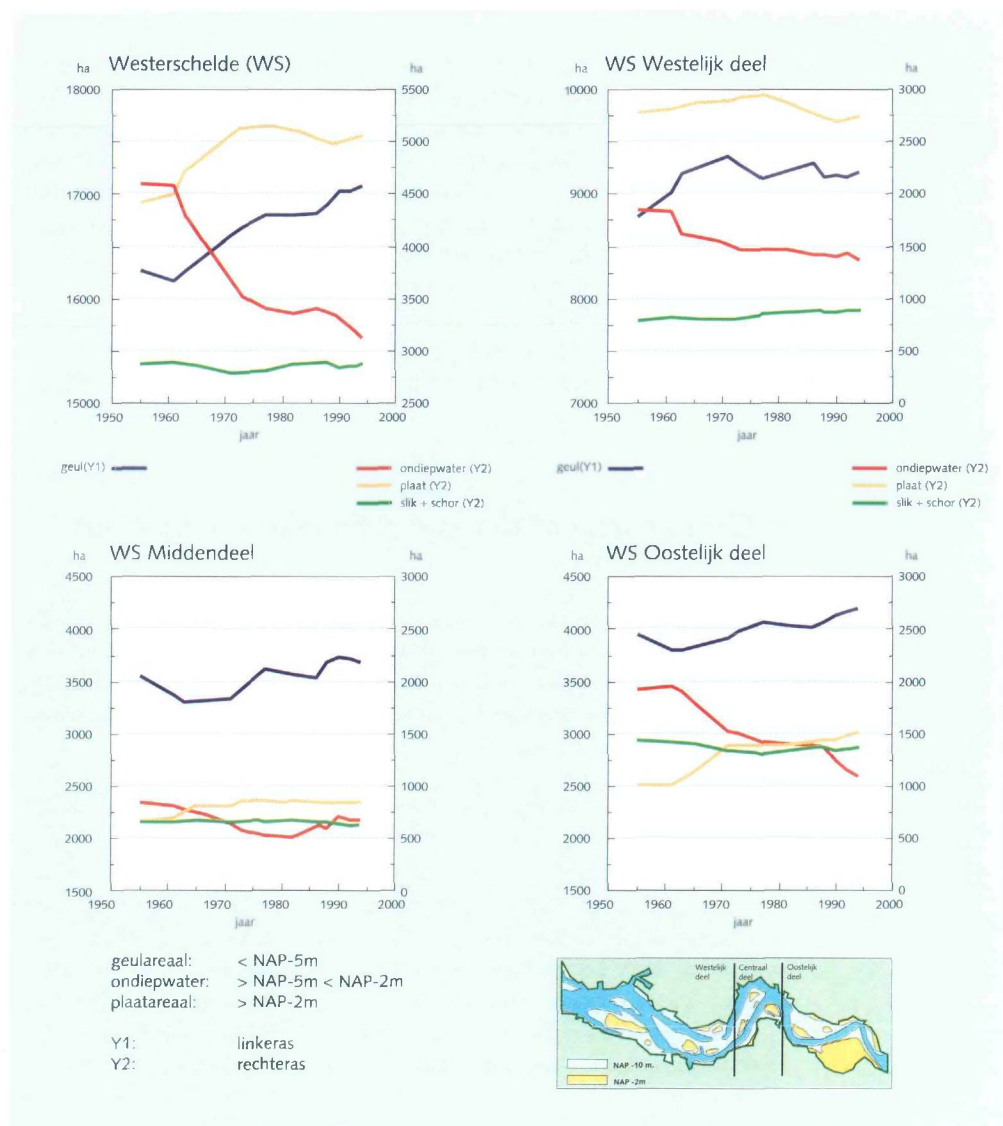
Platen

Het plaatareaal nam tussen 1960 en 1994 met 460 ha toe. Het groeide vooral in de periode 1960-1970 en nam in 1994 16 procent van het totale areaal in beslag. De groei trad met name op in het oostelijke en centrale deel van de Westerschelde. Het plaatareaal nam vooral toe ten

koste van ondiep watergebied, door het opvullen van een groot aantal kortsluitgeulen in de plaatcomplexen. De versneden plaatcomplexen van rond 1960 zijn thans omgevormd tot grotere en meer compacte platen, zoals de Platen van Valkenisse en de Rug van Baarland. Hierdoor nam de totale lengte van de plaatrand af en zijn veel relatief flauwe plaat-geulovergangen verdwenen.

Slikken

Het slik en schorareaal tezamen is sinds 1960 sterk verder in omvang gedaald, namelijk van 7800 ha in 1960 tot 5900 ha in 1990. Dit is vooral het gevolg van inpolderingen, dijkverzwaring en havenaanleg. De slikken langs de buitenbochten van de hoofdgeul zoals bij Bath, Konijnschoor, Baalhoek, Hulst en Kaloot zijn met enkele tientallen meters geërodeerd. Daarnaast zijn deze slikken over het algemeen



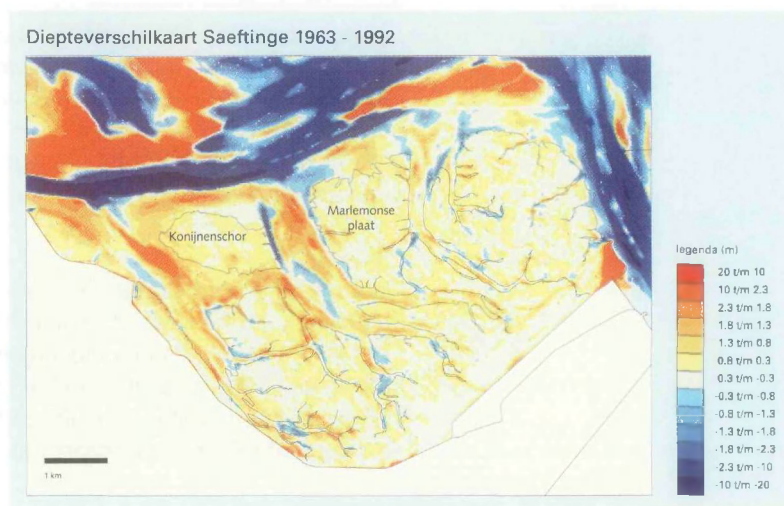
Figuur 2.3.4

Areaalontwikkeling Westerschelde van 1955 tot en met 1993; totaal Westerschelde en 3 deelgebieden.

Opmerking: In de figuren zijn de veranderingen ten gevolge van inpolderingen, dijkverzwaringen en havenaanleg niet meegenomen.

Figuur 2.3.5

Ontwikkelingen Saeftinge (1963-1993) met sedimentatie bij het Konijnenschor en de Marlemonse Plaat.



verlaagd, sommigen zelfs tot op het Hollandveen (zie ook intermezzo 'Geologische ondergrond Schelde-estuarium'). Deze compacte veenlaag is moeilijk erodeerbaar en vormt daardoor een erosiebasis op een hoogte van rond laagwater. Deze slikverlaging is niet opgetreden bij het Konijnenschor en de Marlemonse Plaat, die ondanks opdringen van de geul zelfs zijn opgehoogd. Dit heeft ongetwijfeld te maken met het grote sedimentaanbod in de voorliggende geul als gevolg van de frequente stortingen.

Slikken die grenzen aan nevengeulen vertonen in de loop der jaren sterke variaties in zowel breedte als hoogte, afhankelijk van de

Geologische ondergrond Schelde-estuarium

De geologische ondergrond van het Schelde-estuarium tot Rupelmonde bestaat uit Oligoceen, Pliocene (beiden Tertiair) en Kwartair zand, zandige klei, klei en veen. De bovenlaag bestaat uit een circa twee meter dikke veenlaag (Hollandveen) die bedekt is door jonge zandige tot kleirijke afzettingen (Duinkerken formatie). Door geul-erosie is deze veenlaag nu alleen nog aanwezig onder enkele schorren en slikken van het Schelde-estuarium zoals bij Bath, Saeftinge, Platen van Hulst en de slikken bij Terneuzen. Deze compacte en stugge veenlaag is zeer erosiebestendig, beïnvloedt de slikvorm en vertraagt naar alle waarschijnlijkheid de erosie van de geul.

De Schelde is bovenstrooms van Antwerpen ingesneden in relatief erosiebestendige kleilagen, waaronder de Boomse klei (Pliocene). Bovenop deze

kleilaag is een laag met grof zand en kiezels afgezet, die plaatselijk geheel is geërodeerd (Wartel, 1977). Een restant hiervan wordt thans aangetroffen ter hoogte van de Rupelmonding.

Benedenstrooms van Antwerpen bestaat het substraat voornamelijk uit door diepe geulen omgewerkte zandige sedimenten. Op enkele locaties, met name langs buitenbochten van grote geulen, dagzomen nog oude afzettingen. Wartel (1977) suggereert dat het meeste zand in de Westerschelde afkomstig is van de Noordzee. Hoewel import vanuit de Noordzee zeker in bepaalde perioden moet zijn opgetreden, lijkt het gezien de verdieping van de geulen over de afgelopen 1000 jaar waarschijnlijker dat het gros van de sedimenten 'lokaal' omgewerkte zandige Pleistocene afzettingen zijn.

stroomsituatie in de voorliggende geulen. Een goed voorbeeld hiervan is het Slik bij Waarde dat tot midden jaren zeventig aangroeide, maar sindsdien sterk is verlaagd doordat de vloedstroming zich in de richting van het slik is gaan verplaatsen. Hierdoor is een deel van het in 1682 verdrinken dorp Valkenisse weer tevoorschijn gekomen.

De slikken zijn uitgebreid bij De Noord, de Zimmermangeul, Baarland en bij het Paulinaschor. Als het verlies door inpolderingen buiten beschouwing wordt gelaten dan is deze uitbreiding ongeveer even groot als het verlies door erosie.

Schorren

Tussen 1930 en 1960 zijn vrijwel alle schorren aangegroeid door kolonisatie van het hoge slik door vooral Engels slijkgras (*Spartina anglica*), plaatselijk gestimuleerd door middel van rijzendammen en greppels. De sterkste groei vond plaats in het Sloe, Zuidgors, Waarde, Bath en Saeftinge. Deze uitbreiding was in die periode groter dan het schorareaal dat door inpolderingen verloren ging.



Na 1960 zijn vrijwel alle schorranden gaan eroderen. De areaalvermindering over de laatste decennia bedraagt ongeveer 1,1 ha per jaar (Houtekamer, 1991). Saeftinge representeert nu circa 75 procent van het schorareaal in de Westerschelde (2500 ha). Doordat de Selenapolder, na het doorbreken van de zomerkade, weer in verbinding is gekomen met de Westerschelde vindt weer enige uitbreiding van schor plaats (zie intermezzo 'Selenapolder wordt Sieperdaschor').

Morfologische dynamiek

Een estuarium opgebouwd uit een mozaïek van platen, geulen, slikken en schorren, welke weer onderverdeeld kunnen worden in delen met specifieke eigenschappen, hoge of lage platen, slibrijke of slibarme slikken etc. Deze morfologische eenheden vertonen continu veranderingen, vaak in de vorm van een successie. Een voorbeeld hiervan is het ontstaan van een schor, het opbouwen en ophogen ervan en vervolgens het afbreken door erosie aan de schorrand.

Selenapolder wordt Sieperdaschor

De Selenapolder is in 1966 door een dam met pijpleidingen (de 'gasdam') afgesloten van het Verdrongen Land van Saeftinge. De 3 km lange, 100 ha grote polder was aan de Scheldezijde omzoomd door een tijdens stormen overstroombare zomerkade. Deze kade is in 1977 en 1985 doorgebroken, maar is beide keren vrijwel direct gedicht. In februari 1990 brak de kade tijdens een zware storm op twee plaatsen opnieuw door. Mede op aandringen van de beheerder zijn de breuken toen niet meer hersteld. In 1992 is in het midden van het schor een nieuwe geul gegraven in het verlengde van de kreekmonding. Hiermee werd beoogd de erosieproblemen langs de gasdam te verkleinen. In hetzelfde jaar is het gebied aangekocht door de Stichting 't Zeeuws Landschap en is de Selenapolder 'omgedoopt' tot Sieperdaschor.

De afgelopen jaren heeft het getij een steeds grotere invloed gekregen op het gebied. In de oostelijke helft van de polder is al een duidelijk kreekpatroon ontstaan en de meeste kreken verruimen nog steeds. Het oorspronkelijke slootpatroon in dwarsrichting wordt nog maar ten dele gebruikt voor de wateruitwisseling. Een grillig patroon van ondiepe geulen zoekt een weg door het schor/slik, daarbij soms gebruik makend van

een oorspronkelijke sloot. Het sediment dat op het slik en in de geul erodeert, wordt in de directe omgeving op het schor afgezet. Samen met het sediment dat vanuit de Schelde wordt aangevoerd leidt dit tot een snelle ophoging van 1 tot meerdere cm's per jaar.

De begroeiing heeft zich snel aangepast; zeeaster, riet en strandkweek komen uitgebreid voor en hier en daar wordt ook Zeekraal aangetroffen. Langs de Zeedijk (zuidzijde schor) liggen enkele ondiepe poelen, een aanwijzing dat de drainage slecht is. In deze poelen zoeken ganzen, (berg)eeenden en steltlopers al vroetend in het zachte sediment naar algen en bodemdieren.

In het westelijk deel van de polder is de invloed van het getij minimaal. Het gebied heeft hier meer het karakter van een polder dan van een schor. Er zijn relatief weinig hoogteverschillen en er is een laag, begraasd vegetatiedek.

De ontwikkelingen in het Sieperdaschor geven inzicht in processen die optreden als bedijkte gebieden weer onder invloed komen te staan van het getij. Dit praktijkvoorbeeld leert ons dat de natuur zelf slikken en schorren kan 'bouwen', zolang er maar sprake is van een actieve uitwisseling van water en sedimenten.

Het continu veranderen van uiterlijk, de zogenaamde morfologische dynamiek, is een karakteristieke eigenschap van een estuarium. De motor achter de morfologische dynamiek van de Westerschelde is het getij, terwijl lokaal ook de invloed van golven van belang kan zijn. De bouwstenen zijn de sedimenten, met name zand. Op grond van ruimte- en tijdschalen is de morfologische veranderlijkheid hier onderverdeeld in een macro-, meso- en microdynamiek.

Macrodynamiek

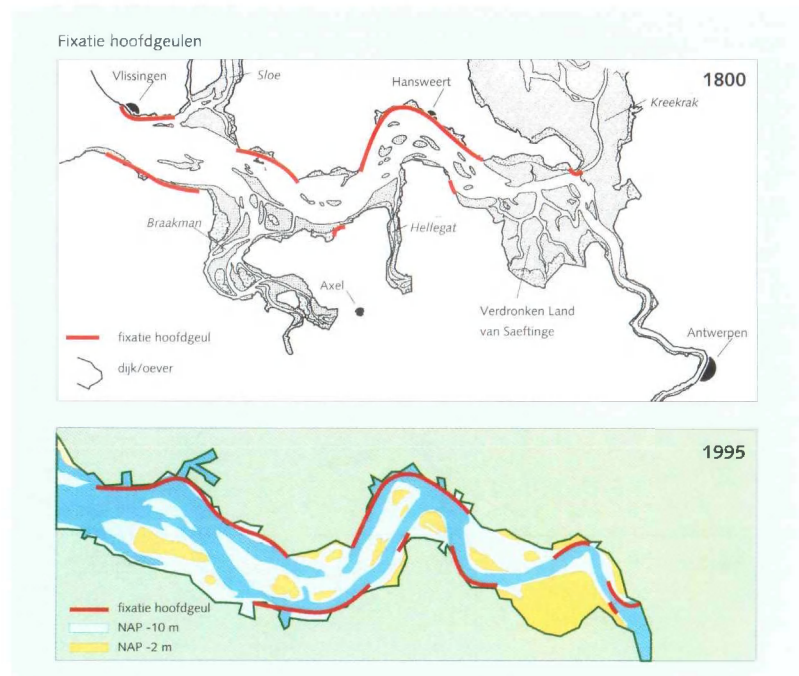
Onder macrodynamiek wordt verstaan de migraties van hoofdgeulen en nevengeulen. De macrodynamiek wordt beperkt door vaste oevers in de vorm van dijken, kribben, geulwandverdedigingen en resistente sedimenten. Dat gebeurt niet alleen daar waar de geulen direct tegen de oevers aan liggen. Peters en Sterling (1976) laten zien dat de dijkconfiguratie als het ware richting geeft aan de geulen. Een buitenbocht ligt stabiel langs een oever en verplaatst zich niet gemakkelijk. Ontgrondingen, bijvoorbeeld bij kribben of hoofden, zorgen voor een verdere stabilisatie van de geul, evenals permanent onderhoudsbaggerwerk in binnenbochten en op drempels.

In de afgelopen twee eeuwen is de hoofdgeul steeds meer gefixeerd geraakt op een vaste plaats in het estuarium. Dit wordt veroorzaakt door de bedijkingen en inpolderingen waardoor de geulen niet meer voldoende ruimte hebben om zich vrij in de breedte te bewegen. Wanneer de ligging en diepte van de geulen in 1800 wordt vergeleken met die van 1990, dan valt op dat de geul over een grotere lengte tegen de dijk aan ligt en daar ook dieper is (figuur 2.3.6).

Als de situatie anno 1800 wordt vergeleken met de huidige situatie dan valt een aantal aspecten op. Allereerst kent de rand van het estuarium nu een gestroomlijnder uiterlijk en benadert een trechtervorm. Sinds 1800 zijn alle grote (diepe) geulen uitgebocht tot aan de beschermde oever. Het resultaat is dat deze (hoofd)geulen nu over een grote lengte

Figuur 2.3.6

Fixatie van de geulen. Situatie van 1995 vergeleken met de situatie van 1800.



vrijwel gefixeerd tegen de oevers aanliggen. Het gevolg van deze uitbochtelingen is dat het areaal aan intergetijdegebied, slikken en schorren, langs de randen sterk is geslonken. Daar staat tegenover dat in de as van het estuarium ruimte is ontstaan voor een aanzienlijke uitbreiding van platen.

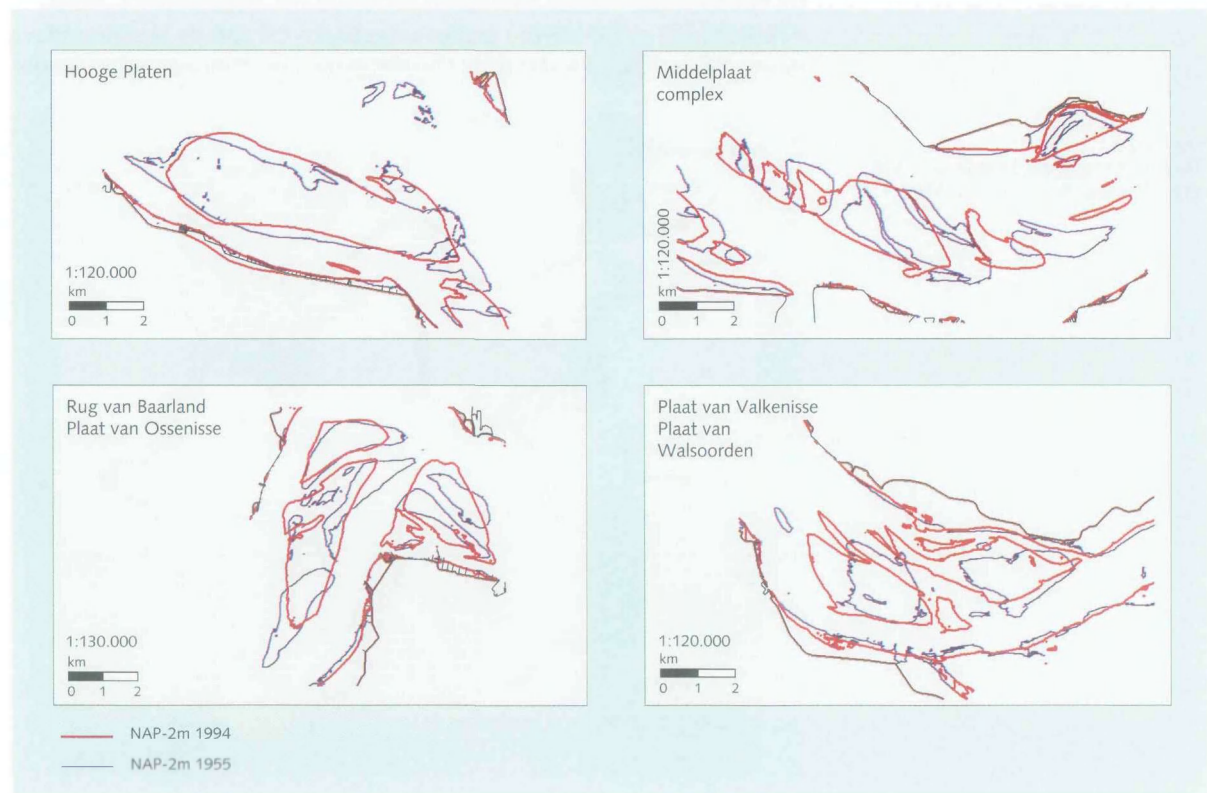
Mesodynamiek

De mesodynamiek komt tot stand door de verplaatsing van (kortsluit)geulen door platen. De activiteit van dit soort geulen lijkt de afgelopen decennia aanmerkelijk te zijn afgenomen op de plaatcomplexen Middelpaats, Baarland en Valkenisse (figuur 2.3.7). De motor voor het ontstaan en bewegen van de kortsluitgeulen zijn de vervallen, ofwel de verschillen in waterstand tussen de geulen aan weerszijden van een plaat. Deze vervallen worden zowel bij vloed als bij eb bepaald door tijdsverschillen in het getij in de parallelle geulen. Belangrijk is met name het tijdsverschil dat ontstaat door verschillende looptijden van de getijgolf in de afzonderlijke geulen. Hoe groter het tijdsverschil, des te groter is het verval in de kortsluitgeul en omgekeerd.

Het afnemen van de meso-dynamiek in de bovengenoemde plaatcomplexen kan verklaard worden aan de hand van veranderingen in de getijdoordringing. Na het doorbreken van de Schaar van de Spijkerplaat, omstreeks 1970, zijn de faseverschillen tussen de Everingen en de Pas van Terneuzen afgenomen, en daarmee ook het maximale verval over het plaatcomplex Middelpaats (zie intermezzo 'Kwantificering dynamiek'). Het maximale verval over het plaatcomplex Baarland is gedaald door vermindering van de faseverschillen in het binnendringen van het getij in het Middelpaats en het Gat van Ossensisse. Het verschil in omvang tussen beide geulen is

Figuur 2.3.7

Verplaatsing van de NAP-2m lijn in de periode 1955-1994 als maat voor de verandering in mesodynamiek.



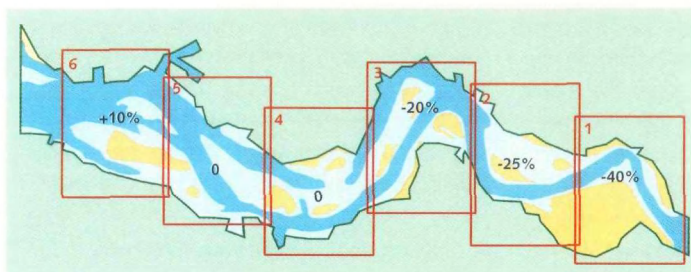
aanzienlijk afgenomen door vernauwing van het Middelgat en verruiming van het Gat van Ossensisse. Deze geulen zijn minder uitgesproken eb- respectievelijk vloedgeul geworden. Het Zuidergat is sterk verruimd door baggerwerken. Als gevolg hiervan zijn zowel de eb- als vloedstroom steeds meer deze hoofdgeul gaan gebruiken. Dit is feitelijk een vorm van 'zachte regulering', omdat het niet gebeurt met harde constructies zoals de leidammen in de Appelzak en bij Doel. Door de versnelde getij-doordringing in het Zuidergat zijn de faseverschillen met de Schaar van Waarde afgenomen en daarmee het maximaal verval over het plaatcomplex Valkenisse.

Microdynamiek

Micro-dynamiek is een maat voor de (in)stabiliteit van het bovenste deel van de bodem. Deze grootte is relevant omdat ze grote invloed heeft op de mogelijkheid of onmogelijkheid voor het bodemorganismen om zich in de bodem te vestigen. Daarom is de microdynamiek mede bepalend voor de ruimtelijke verspreiding van zowel bodemalgen (De Jonge en De Jong, 1994) als bodemdieren (Coosen et al., 1994). Vrijwel al het sediment in de Westerschelde is

Kwantificering dynamiek

Sisternans (1996) heeft voor 6 lodingsvakken (zie het onderstaande figuur) de intensiteit van de erosie en sedimentatie tussen opeenvolgende dieptekaarten binnen zo'n vak gekwantificeerd. Dit is gedaan voor twee periodes; van 1995 tot 1968, dus net vóór de verdiepingswerken en erna van 1982 tot 1994. Deze gemiddelde hoogteverandering per jaar is een maat voor de macro- en mesodynamiek van dat vak. De micro-dynamiek valt hier buiten, omdat deze in de lodingen al geheel wordt uitgemiddeld.



Verandering in morfologische dynamiek in de 6 lodingsvakken in de Westerschelde.

In alle vakken neemt de intensiteit in hoogteveranderingen af bij een grotere tijdspan. Gemiddeld bedragen de veranderingen over twee jaar ongeveer 0,5 m/jaar. Over een periode van 12 jaar is dat afgenomen tot circa 0,2 m/jaar. Deze afname is logisch omdat de invloed van de min of meer stochastische verschillen tussen lodingen over een grotere periode kleiner wordt.

In de periode van de zestiger jaren tot heden is in vak 1 de dynamiek ongeveer 40 procent afgenomen. In vak 2 en 3 bedraagt de afname een orde van 20 procent. In vak 4 en 5 zijn geen veranderingen waargenomen. In vak 6 is er sprake van een lichte toename van dynamiek.

Deze waarnemingen bevestigen het beeld dat reeds op basis van de geulplaatmorfologie is geschetst. De macro- en mesodynamiek zijn in het oostelijk deel van de Westerschelde door het vaargeulonderhoud sterk onderdrukt. In het westelijke deel vinden nog wel natuurlijke geulmigraties plaats. De recente ontwikkelingen van de Schaar van de Spijkerplaat heeft zelfs gezorgd voor een toename in de morfologische dynamiek in het mondingsgebied van de Westerschelde.

over een periode van enkele jaren instabiel. Uitzonderingen zijn resistente klei- of veenlagen en stenen oeververdedigingen. De microdynamiek, ofwel de beweeglijkheid van het bodem-oppervlak, is hoog in de geulen door de grote transportcapaciteit. Door middel van sonar en echolodgingen is waargenomen dat het overgrote deel van de geulbodem is bedekt met ribbels, met uitzondering van de drempels en relatief steile plaat-geulhellingen (Ruessink, 1991). Aan de hand van luchtfoto's is een geomorfologische kartering uitgevoerd van het intergetijdegebied (Huijs, 1995). De periode 1935 tot en met 1989 is daarbij in beschouwing genomen (zie intermezzo 'Van luchtfoto naar ecotopenkaart'). Waargenomen is dat ribbels vooral voorkomen op de lagere delen van het intergetijdegebied waar de getijstroom relatief sterk is. Vlakke gebieden, de zogenaamd laagdynamische eenheden, liggen over het algemeen op relatief beschutte locaties voor zowel golven als stroming, zoals slikken en de centrale en hogere delen van de platen. Plaat-geul overgangen die sterk aan stroming zijn blootgesteld vertonen in het algemeen ribbels en worden hoogdynamisch genoemd. Plaat-geul overgangen die ongeveer evenwijdig liggen ten opzichte van de stroming zijn vrijwel altijd vlak. De slikken zijn over het algemeen laagdynamisch. Uitzonderingen zijn enkele lage slikdelen bij

Van luchtfoto naar ecotopenkaart

Luchtfoto's geven informatie over bodemvormen en bodemsamenstelling van droogvallende buitendijkse gebieden. Na bewerking van deze informatie zijn gebieden te onderscheiden met verschillende karakteristieke bodemkenmerken. De karakteristieken zijn zo gekozen dat ze aangeven of deze gebieden geschikt zijn als verblijfplaats voor een bepaalde groep organismen (ecotopen).

In de rapportage van Huijs (1995) is een legenda opgesteld, waarbij eenheden zijn onderscheiden op foto-beelden met een schaal van 1:20.000. De eerste, objectieve indeling is gemaakt in plaatgebieden, slikken en schorren. Op het tweede niveau worden de platen en slikken op basis van bodemvormen ingedeeld in hoog- en laagdynamische eenheden. Megaribbelvelden en relatief steile plaathellingen zijn gekarteerd als

hoogdynamische eenheden. Dit zijn gebieden waarvan het bodemoppervlak bij elk springtij sterk beweegt. Hoogdynamische gebieden bestaan hoofdzakelijk uit megaribbels. Afhankelijk van de maximale stroomsnelheden hebben deze een 2-dimensionale of 3-dimensionale structuur. 2-D megaribbels hebben rechte kamlijnen. 3-D megaribbels hebben een onregelmatige vorm en de hoogte van de kamlijn varieert. Megaribbels kunnen ook naar lengte worden onderscheiden. Vlakke plaat- of slikdelen zijn als laagdynamisch gekarteerd. Omdat sedimentatie en erosie relatief langzaam en geleidelijk verlopen wordt aangenomen dat de bodem gedurende een seizoen relatief stabiel is.

Op een derde niveau is op subjectieve wijze een onderscheid gemaakt tussen slibrijke en slibarme laagdynamische eenheden. Laagdynamische zandige gebieden worden van slibrijke gebieden gescheiden op basis van het aanwezige geulpatroon en de tint. Slibrijke gebieden kenmerken zich door de aanwezigheid van een geaderd drainagepatroon, een relatief donkere tint en

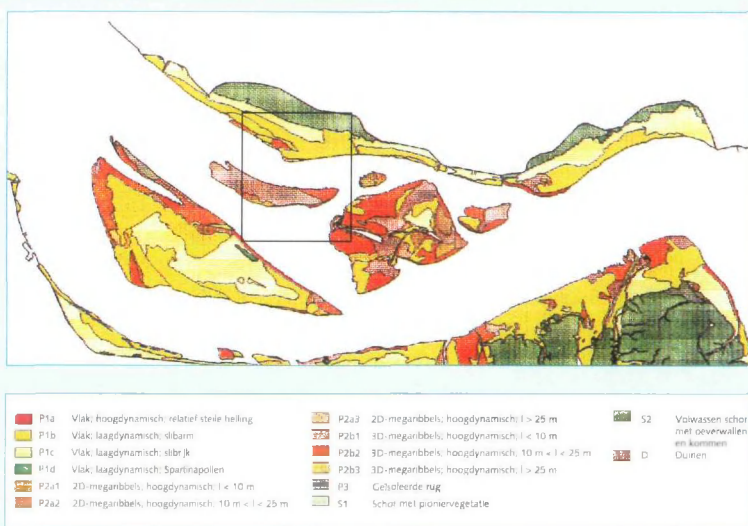


False colour luchtfoto van het Slik van Emanuelpolder (zie ook het kader op figuur 2.3.8).

Waarde en Saeftinge. De aanwezigheid van ribbel-velden is in dit soort gebieden sterk afhankelijk van de ligging van kortsluitgeulen direct voor het slik, die van jaar tot jaar qua ligging en stroomintensiteit veranderen.

De ontwikkeling van de microdynamiek in de Westerschelde is in kaart gebracht voor een deel van het intergetijdegebied, namelijk de platen. De slikgebieden konden niet voldoende nauwkeurig worden gekarteerd. Het relatieve aandeel aan laagdynamische plaatgebieden is in de Westerschelde sinds 1955 ongeveer gelijk gebleven (Huijs, 1995). In het oostelijk deel is het relatieve aandeel afgenomen van 60 procent naar 40 procent, maar door uitbreiding van de platen is netto het areaal laagdynamische platen slechts licht afgenomen. In het centrale deel is het areaal laagdynamische platen toegenomen, zowel relatief (van 30 procent tot 50 procent) als absoluut (300 ha). In het westelijk deel zijn geen noemenswaardige veranderingen opgetreden. De ontwikkelingen in het oostelijk deel zijn meer in detail bekeken. Hierbij zijn ook de slikken in beschouwing genomen. De resultaten worden besproken in par. 2.4.4 (ecotopen).

Geomorfologische kaart; Platen van Valkenisse



Figuur 2.3.8
Voorbeeld van een geomorfologische kaart.

een scherp meanderend karakter van aanwezige geulen. Bij de schorren worden twee ontwikkelingsfasen onderscheiden: jonge, lage schordelen met een dominantie van Engels Slijkgras (*Spartina*) en volwassen schorren met krekens, oeverwallen en kommen. Al deze grenzen zijn gedigitaliseerd en binnen GIS tot geomorfologische kaarten verwerkt (figuur 2.3.8).

De diverse ecotopen worden ieder gekenmerkt door een unieke combinatie van bodemvormen, bodemsamenstelling en hoogteligging. De hoogteligging, ontleend aan lodingen, voegt een extra dimensie toe aan de typering van ecotopen; in de vorm van geulen, ondiep-water gebieden, platen, slikken en schorren. De sedimentsamenstelling wordt bepaald in combinatie met puntmonsters uit het veld. Slibrijke gebieden hebben een slibpercentage van meer dan 10 procent.

Beschouwing van opeenvolgende ecotopenkaarten geeft een indicatie of de Westerschelde meer of minder geschikt is geworden voor bepaalde organismen. Bij het vergelijken van kaarten uit

verschillende jaargangen dient wel met een aantal aspecten rekening gehouden te worden; a) het tijdstip van opname van de luchtfoto ten opzichte van het moment van laagwater en b) de mate waarin verschillende gegevens verkregen uit lodingen, luchtfoto's en bodembemonsteringen voldoende representatief zijn voor een bepaalde situatie (getijperiode, seizoen, jaar).

2.3.3 Het transport van sediment

Algemeen

Door de combinatie van sterke getijdestromingen en relatief fijn bodemsediment is het transporterend vermogen van sediment in de Westerschelde groot. Het overgrote deel bestaat uit zand dat in suspensie wordt verplaatst. De omvang van het sedimenttransport is grofweg gerelateerd aan de omvang van de geul. Door grote geulen wordt meer getransporteerd dan door kleinere geulen. Dit zegt echter weinig over de omvang van het netto transport, de resultante van de zandverplaatsingen over een groot aantal eb- en vloedperiodes.

Een eerste indicatie voor het netto transport geeft de zandbalans. Hieruit blijkt dat het sediment zich landwaarts verplaatst. Maar de zandbalans geeft geen volledig inzicht in hoe die verplaatsingen zich bijvoorbeeld in afzonderlijke geulen voltrekken.

Het residuele zandtransport is de resultante van afzonderlijke processen, die gecombineerd optreden. In de Westerschelde is het getijgedreven transport het belangrijkste mechanisme. Onder invloed van golven komt incidenteel tijdens zware stormen een significant zandtransport voor, dat zich van de plaat naar de windafwaarts gelegen geulrand beweegt. Andere transportmechanismen, zoals bijvoorbeeld ten gevolge van dichtheidsstromen, zijn relatief onbelangrijk in de Westerschelde. De kennis van de transportprocessen in de Westerschelde is overigens nog beperkt.

Patronen van netto zandtransport

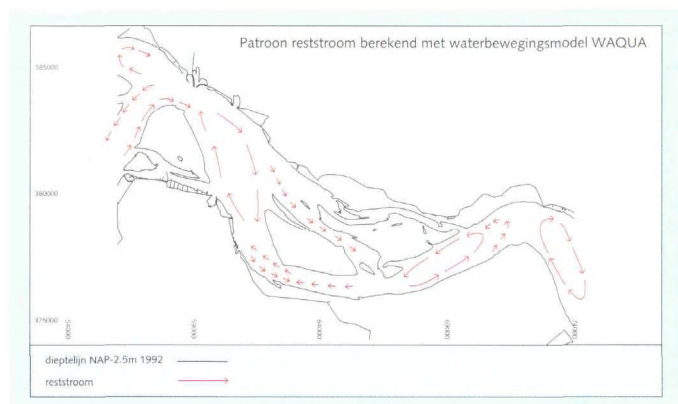
Het is onmogelijk om het residueel sedimenttransport direct te meten. Dit komt door de grote variatie in ruimte en tijd van het transport én de onnauwkeurigheden in metingen. Op een indirecte manier is getracht toch meer inzicht in het residuele transportpatroon te krijgen. Dit is gebeurd aan de hand van een waterbewegingsmodel (WAQUA), van waarnemingen van bodemribbels via sonaropnames en luchtfoto's, met de McLaren analyse en met 'gezond-morfologisch-verstand' aan de hand van de bathymetrie (zie intermezzo 'Methoden om resttransporten te bepalen').

Uit de verschillende methodieken ontstaat telkens hetzelfde beeld. Het residueel sedimenttransport verloopt voornamelijk via circulatie-cellen in de grotere geulen om de plaatcomplexen heen. In brede geuldelen, zoals bijvoorbeeld drempelgebieden, kan zo'n cel ook binnen één geul optreden. Deze cellen volgen, overigens niet geheel onverwachts, vaak het patroon van de eb- en vloedgedomineerde stroming in de geuldelen. Dit patroon van transportcellen varieert al naar gelang de regelmatige fluctuaties in het getij, zoals de doottij-springtij cyclus, en bij extreme omstandigheden zoals zware stormen. De maximale stroomsnelheden treden bij vloed op een hoger waterniveau op dan bij eb, met als gevolg dat in het intergetijdegebied het sedimenttransport overwegend vloeddominant is. De schorren en de beschutte en hogere delen van platen en slikken zijn onbelangrijk voor het algemene patroon van residueel sedimenttransport. Ze hebben voornamelijk een bergende functie.

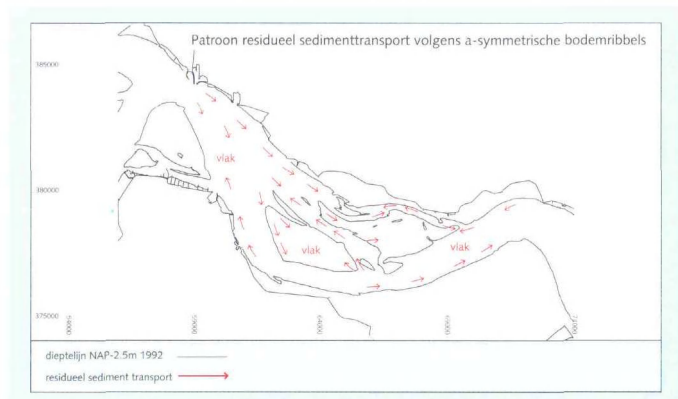
Drempels

In de Westerschelde wordt min of meer continu op de ondiepten in de vaarweg, de drempels, sediment gebaggerd, dat vervolgens in andere geulen wordt gestort. Zo worden kunstmatig sediment-bronnen (de

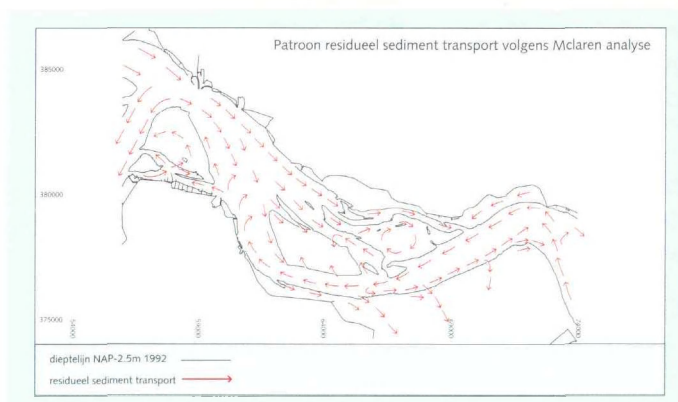
Methoden om resttransporten te bepalen



Figuur 2.3.9 (boven)
Euleriaanse reststromen (water) voor een gemiddeld springtij in het oostelijk deel van de Westerschelde berekend met het numerieke waterbewegingsmodel DETWES (Van der Male, 1993).



Figuur 2.3.10 (boven)
Residuele zandtransporten in het oostelijk deel van de Westerschelde afgeleid uit sonarwaarnemingen (Ruessink, 1991) en interpretaties van luchtfoto's (Asselman, 1991).

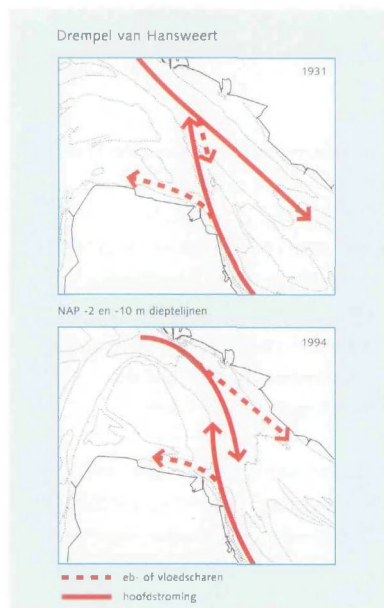


Met een waterbewegingsmodel (DETWES) zijn voor een gemiddeld springtij verticaal gemiddelde euleriaanse (vaste plaats) residuele reststromen berekend. In de grotere geulen zijn de residuele stroomsnelheden groot en qua richting consistent. In de intergetijdegebieden en in de nevengeulen zijn de residuele snelheden kleiner en is de richting willekeuriger (figuur 2.3.9).

De asymmetrie van bodemribbels (met een ribbellengte van meters) is door verschillende onderzoekers gebruikt als indicator voor de dominante (residuele) zandtransportrichting (de Vries Klein, 1970; Wright et al, 1975; Kjerfve, 1978; Goedheer en Misdorp, 1985; Buxc en Tobias, 1989; Black et al, 1989). Bodemribbels kunnen onder water worden waargenomen met sonar. Voor het intergetijdegebied worden luchtfoto's gebruikt (figuur 2.3.10).

De McLaren-analyse is een methode waarbij de richting van het residuele zandtransport wordt bepaald door het op statistische basis vergelijken van de korrelgrootteverdeling in bodemonsters (McLaren and Bowles, 1985). In deze semi-kwantitatieve methode wordt gebruik gemaakt van trends in de verandering van de gemiddelde korrelgrootte en de scheefheid en de sortering van de korrelgrootteverdeling in de richting van het netto transport. De McLaren-methode is reeds in een aantal estuaria zoals de Eems, de Severn (UK) en de Humber (UK) met redelijk succes beproefd. Het resultaat van de McLaren-analyse in de Westerschelde komt redelijk overeen met de patronen uit andere methodieken, met uitzondering van een paar gebieden (figuur 2.3.11).

Figuur 2.3.11 (links)
Transportpaden voor het residuele zandtransport in het oostelijk deel van de Westerschelde bepaald volgens de McLaren-methode (McLaren en Powys, 1994).



Figuur 2.3.12

Overgang van een 'botsende ebgeul'-type drempel (1931) naar een 'ontwijkende geulen'-type drempel (1994). Drempel van Hansweert.

stortlocaties) en sedimentputten (de baggerlocaties) in stand gehouden, die het netto patroon van zandtransporten meebepalen. Daarnaast zijn er ook natuurlijke bronnen en putten, die ontstaan door geulmigraties, veranderingen van geulprofielen en erosie of sedimentatie van platen, slikken en schorren.

Een maat voor de kunstmatige beïnvloeding is de baggerintensiteit. Hoe hoger deze is hoe groter de kans dat het netto zandtransport door het baggeren en storten zal worden beïnvloed. Uit de zandbalans (par.2.3.2) blijkt dat dit in het oostelijk deel het geval is. Het netto sedimenttransport wordt in dit deel voor een belangrijk deel gestuurd door het baggeren en storten. Dit gegeven maakte onderzoek naar het functioneren van drempels belangrijk. Welke factoren zijn bepalend voor de sedimentatie op de drempels en dus voor de baggerintensiteit? Op de eerste resultaten van dit langer lopende onderzoek zal nu nader worden ingegaan. Ze zijn beschrijvend van aard. Momenteel is er nog te weinig kennis van het complexe aanzandingsproces om de aanzanding op de drempels te kunnen narekenen.

Estuariene drempels ontstaan in relatief rechte geuldelen op de overgang van twee tegengestelde bochten. Er kunnen drie typen drempels worden onderscheiden: het 'botsende', het 'ontwijkende' en het 'parallele' type, elk met een specifiek stroombeeld (Tank, 1995). Opvallend is dat alle gebaggerde drempels in het oostelijk deel, de Drempels van Bath, Valkenisse en Hansweert, de afgelopen decennia van het 'botsende' type zijn veranderd in het 'ontwijkende' type (figuur 2.3.12). De oorzaak van deze metamorfose is de verandering van de waterbeweging als gevolg van het verdiepen van de drempel. Hierdoor is het getijvolume steeds sterker in de hoofdgeul geconcentreerd. De betekenis van met name de vloedscharen is daardoor sterk verminderd.

De sedimentatie op de drempels wordt bepaald door de profielverruiming ter plaatse, de beschikbaarheid van sediment in de omgeving van de drempel en het vermogen van het systeem dit sediment naar de drempels te transporteren (Pieters, 1993). Nadere studie naar het aanzandingsproces dat in de afgelopen jaren is verricht laat het volgende zien (Tank, 1995 en Storm, 1996).

Uit modelberekeningen en veldwaarnemingen kan worden afgeleid dat in de richting van de door het baggeren sterk verruimde drempels de stroming vertraagt om na het passeren van de drempels te versnellen. Deze vertraging is deels het gevolg van aftapping van water in scharen en deels van het kunstmatig ruime doorstrooprofiel. Door het vertragen van de stroom zet het sediment zich af op de drempel. Voor de netto aanvoer van sediment zijn de gradiënten van de zandtransportcapaciteit in langsricting, de primaire stroomcomponent, doorslaggevend en niet de secundaire stroomcomponent in dwarsrichting (Tank, 1996).

Stortlocaties vormen extra sedimentbronnen waar vandaan sediment naar de drempel wordt getransporteerd. Dit blijkt als uit veldgegevens de transportpaden van het sediment worden gereconstrueerd. Zo worden de Drempels van Valkenisse en Bath vanuit het westen 'gevoed' door de stortlocatie Konijnenschor. Het zand dat op de Drempel van Hansweert sedimenteert, wordt langs de noordzijde van

de Plaat van Ossenisse vanuit de Overloop van Hansweert aangevoerd. Hier ligt het verband voor de hand met de stortlocatie in het Gat van Ossenisse.

2.3.4 Hoe (on)natuurlijk zijn de morfologische veranderingen?

Bij de waargenomen ontwikkelingen valt een aantal zaken op. Ten eerste de morfologische veranderingen in het oostelijk deel van de Westerschelde. Bij de aanvang van de studie was het al min of meer een gegeven dat de morfologische ontwikkelingen in dit deel van de Westerschelde met name worden bepaald door het baggeren en storten. Dat de waarnemingen dit beeld verder versterken is daarom geen verrassing. Belangrijker is dat meer inzicht is ontstaan in de wijze waarop de morfologische veranderingen hier tot stand komen.

Door het verdiepen van de drempels in de vaarweg neemt de inhoud van de hoofdgeul toe. Dit komt doordat de weerstand in de geul afneemt en meer water kan worden afgevoerd. Aangezien de grootte van het doorstroomprofiel van een geul wordt bepaald door de hoeveelheid water die er doorheen stroomt, neemt de geul-doorsnede toe.

De toename van het debiet in de hoofdgeul gaat ten koste van het debiet in het nevengeulengebied, waardoor daar de transportcapaciteit afneemt en de nevengeulen verondiepen. Dit laatste wordt bevorderd door het storten van het sediment dat vrijkomt bij het onderhoud dat nodig is op de drempels om deze op diepte te houden en dat vrij komt bij het verruimen van de hoofdgeul. Na het uitruimen van de hoofdgeul ontstaat een kunstmatig onderhouden evenwicht, waarbij het getij sediment terug transporteert van de stortlocatie naar de baggerlocaties, het zogenaamde 'rondpompen'. In het oostelijk deel gebeurt dat van het Konijneschor naar de Drempels van Bath en Valkenisse.

Door de versnelde getijdoordringing in de hoofdgeul nemen de faseverschillen tussen hoofd- en nevengeul af en daarmee het maximaal verval over de platen. Dit verval is een aandrijvende kracht voor de kortsluitgeulen. Dit zijn geulen die, dwars door de plaat heen, de geulen die de plaat omringen (de hoofd- en nevengeul) 'kortsluiten'. Een eigenschap van deze geulen is dat zij zich 'cyclisch' door de plaat verplaatsen en zo verlaging van de plaat veroorzaken. Door het afnemen van het verval worden zij inactief en verdwijnt een belangrijk afbraakmechanisme. De platen kunnen daardoor in omvang groeien. Zo ontstaat aldus een patroon met grotere geulen en platen. Het versneden uiterlijk van de meer kleine platen rond 1960 is door het opvullen van kortsluitgeulen omgevormd tot grotere en meer gestroomlijnde plaatcomplexen. Veel relatief flauwe plaatgeulovergangen zijn verdwenen en het areaal ondiep watergebieden is verminderd.

Doordat het debiet in de hoofdgeul en de afmetingen zijn toegenomen neemt ook de druk toe op de slikken en schorren tussen de hoofdgeul en de dijk. De slikken langs de buitenbochten zoals bij Bath, Konijneschor, Baalhoek, Hulst en Kaloot eroderen daardoor.

Wat verder opvalt zijn de morfologische veranderingen in het midden- en westelijke deel. Veel van deze veranderingen, die wat betreft aard en grootte vergelijkbaar zijn met de veranderingen in het oostelijke

deel, vinden hun oorzaak in de natuurlijke dynamiek die hier nog aanwezig is.

In het midden- en westelijke deel valt het oog met name op de zogenaamde functiewisseling tussen het Gat van Ossensisse en het Middelgat, zoals eerder in dit hoofdstuk besproken (in par. 2.2.2 onder 'debietverdeling') en de vorming van de Schaar van de Spijkerplaat in het mondingsgebied. De morfologische activiteit van deze laatste geul lijkt een meer logische verklaring voor de sterke sediment-importen in het estuarium dan de bagger- en stortactiviteiten in het oostelijk deel. De ontwikkelingen in de geulen verklaren vervolgens ook weer de waargenomen ontwikkelingen bij verschillende platen. Na het doorbreken van de Schaar van de Spijkerplaat omstreeks 1970 zijn de faseverschillen tussen de Everingen en Pas van Terneuzen afgenomen, en daarmee ook het maximale verval over het plaatcomplex Middelplaat. Het maximale verval over het plaatcomplex Baarland is gedaald door het geringer worden van het faseverschil in de getijdoordringing van het Middelgat en het Gat van Ossensisse. Door de vermindering van het maximale verval worden de kortsluitgeulen minder actief en stagneert de afbraak van de plaat.

Bovenstaande constatering maken het beeld van de morfologische veranderingen nogal complex. De invloed van het baggeren en storten blijkt nadrukkelijk aanwezig te zijn, terwijl tegelijkertijd de natuur zelf deze menselijke beïnvloeding weer nuanceert. Het onnatuurlijke karakter van de ontwikkelingen in het oostelijke deel zit 'm in eerste instantie dan ook in het gegeven dat ze voorspelbaar zijn. De Westerschelde is haar grilligheid in dit deel kwijt; de grootschalige dynamiek is uit het systeem gehaald.

Een vraag in het verlengde hiervan is of met deze morfologische 'verstarring' op macro- en mesoschaal alleen maar een estuariene karakteristiek, namelijk de dynamiek, is verdwenen of dat het op de lange termijn ook gevolgen heeft voor het ecosysteem. De voorwaarden voor het ecologisch functioneren veranderen immers, omdat morfologische processen en patronen veranderen. Platen groeien gestaag mee met de stijging van de gemiddelde zeestand en worden minder dan vroeger afgebroken. Patronen met relatief grote geulen en platen en relatief weinig ondiep watergebieden worden gehandhaafd.

De conclusie luidt dat de morfologische veranderingen in het oostelijk deel van de Westerschelde in belangrijke mate onnatuurlijk zijn. Voor het overige deel van de Westerschelde kan dit niet worden aangetoond. Deze laatste constatering leidt overigens niet tot de conclusie dat de ontwikkelingen daar 'dus' natuurlijk zijn.

Ten eerste is het best mogelijk dat de natuurlijke variatie in het midden- en westelijke deel een onderliggende trend verhult, waarvan de resultaten zich pas op langere termijn manifesteren. De meetreeksen zijn klein in verhouding tot de variaties in de waarnemingen en de onnauwkeurigheden zijn groot. De beïnvloeding in het oostelijk deel kan alleen maar worden aangetoond omdat deze zo sterk is.

Ten tweede is de kennis van processen nog te gering om een scheiding aan te kunnen brengen tussen natuurlijke en kunstmatige ontwikkelingen. Een belangrijk nog te onderzoeken aspect in dit

verband is bijvoorbeeld de invloed van de fixatie van de hoofdgeul, een fenomeen dat tot nu toe onderbelicht is gebleven. Het gevolg van deze vastlegging is dat de geul in zijn natuurlijke uitbochtiging wordt belemmerd. Het is hierbij een belangrijke vraag welke rol de fixatie van de hoofdgeul speelt in de waargenomen groei van platen in de Westerschelde.

2.4 Ecologie

2.4.1 Inleiding

In de vorige paragrafen zijn veranderingen in het getij en de morfologie besproken. In deze paragraaf wordt nagegaan of er ook ecologische veranderingen zijn waar te nemen. Voor de Westerschelde als geheel worden de veranderingen in de leefgebieden van flora en fauna (ecoseries), de vogels en de vissen weergegeven. Hierbij wordt gebruik gemaakt van gegevens verzameld binnen de Oostwest studie en van literatuur gegevens. In meer detail zal worden ingegaan op de ontwikkelingen van de ecotopen (nadere opdeling van ecoseries), de schorren, de vogels en de bodemdieren in het oostelijk deel van de Westerschelde, het gebied dat het sterkst wordt beïnvloed door het baggeren en storten.

De invloed van de chemische vervuiling en de zuurstofarmoede van water en bodem op de ecologie van de Westerschelde zal vooral in het uiterste oostelijke deel, tegen de Vlaams/Nederlandse grens manifest zijn (geweest).

Voorzover daarover gegevens bekend zijn, wordt daarmee in de bespreking van de ontwikkelingen rekening gehouden.

Processen en patronen

Ecologische processtudies (productie, mineralisatie e.d.) zijn in het kader van Oostwest niet uitgevoerd.

Fysische processen zijn verantwoordelijk voor de vorm en dynamiek van het estuarium. Het krachtenspel van getij, golven en wind zorgt voor het wisselend patroon van leefgebieden. De kenmerkende plant- en diersoorten zijn aan hun leefomgeving aangepast, maar beïnvloeden ook zelf hun directe omgeving. In de Westerschelde zijn op basis van morfodynamische kenmerken ecoseries zoals plaat, geul, ondiep water etc. onderscheiden.

In paragraaf 2.3.2 'Arealontwikkeling' is hier al op ingegaan.

Voor het oostelijk deel zijn de ecoseries verder opgesplitst in ecotopen zoals slibrijke, laagdynamische, laaggelegen slikken, etc.

Patronen en soorten

Veel informatie is beschikbaar over de soorten vogels, vissen, bodemdieren en planten, die in de ecotopen leven. Aan de hand van de aantalsontwikkelingen in de laatste decennia wordt beoordeeld welke invloed de veranderingen in de leefgebieden hebben gehad.

Opbouw paragraaf

Allereerst wordt in het intermezzo 'Ecoseries en ecotopen in de Westerschelde' ingegaan op de begrippen ecoseries en ecotopen en de opgetreden veranderingen tussen 1960 en 1990 in de Westerschelde. Dan wordt voor de vogels (doortrekkers, wintergasten

en broedvogels) een beschrijving gegeven van de ontwikkelingen die in de afgelopen decennia in de Westerschelde hebben plaats gevonden. Voor de vissen wordt een beeld geschetst van de huidige toestand, gerelateerd aan de functies die de Westerschelde voor bodemgebonden vissen vervult.

Vervolgens wordt dieper ingegaan op de veranderingen in het oostelijk deel. Een nadere detaillering van de ecotopen geeft ons meer inzicht in de veranderingen, die zijn opgetreden.

De ontwikkeling van het grootste brakwater-schor in west Europa krijgt extra aandacht. De waarde van de droogvallende slikken en platen voor bodemdieren (nu en in het verleden) wordt belicht in een volgende paragraaf. Daaraan gekoppeld zijn de veranderingen in populaties van de vogels, die voedsel vinden op de platen slikken en schorren; de steltlopers, ganzen en eenden.

Door de relatie tussen de morfologische kenmerken van enkele ecotopen en de bewoners (soortensamenstelling, aantallen en

Ecoserie en ecotopen in de Westerschelde

Een ecoserie is een 'ruimtelijke eenheid die homogeen is ten aanzien van conditionerende omgevingsfactoren en daarmee tot op zekere hoogte homogeen is ten aanzien van de ecologische leefgebieden die erbinnen voorkomen' (Runhaar en Klein, 1993). Een ecologisch leefgebied of ecotoop wordt gedefinieerd als een 'ruimtelijk te begrenzen ecologische eenheid waarvan de samenstelling en ontwikkeling wordt bepaald door abiotische, biotische en antropogene condities ter plaatse. Als kenmerkende ecosysteemcomponent wordt de plantengemeenschap gebruikt of, bij afwezigheid van vegetatie, de bodemdiergemeenschap. De ontwikkeling binnen een ecotoop is begrensd tot vooraf vastgelegde successie- of ontwikkelingsstadia.' (Wolfert, 1996). Simpel gezegd bestaat een ecoserie uit een verzameling ecotopen. De ecoserie heeft een samenhangende structuur zonder scherpe grenzen. Een ecoserie geeft een momentopname, de resultante van vele, elkaar beïnvloedende fysische, chemische en biologische processen, die tezamen vorm geven aan het estuariene ecosysteem.

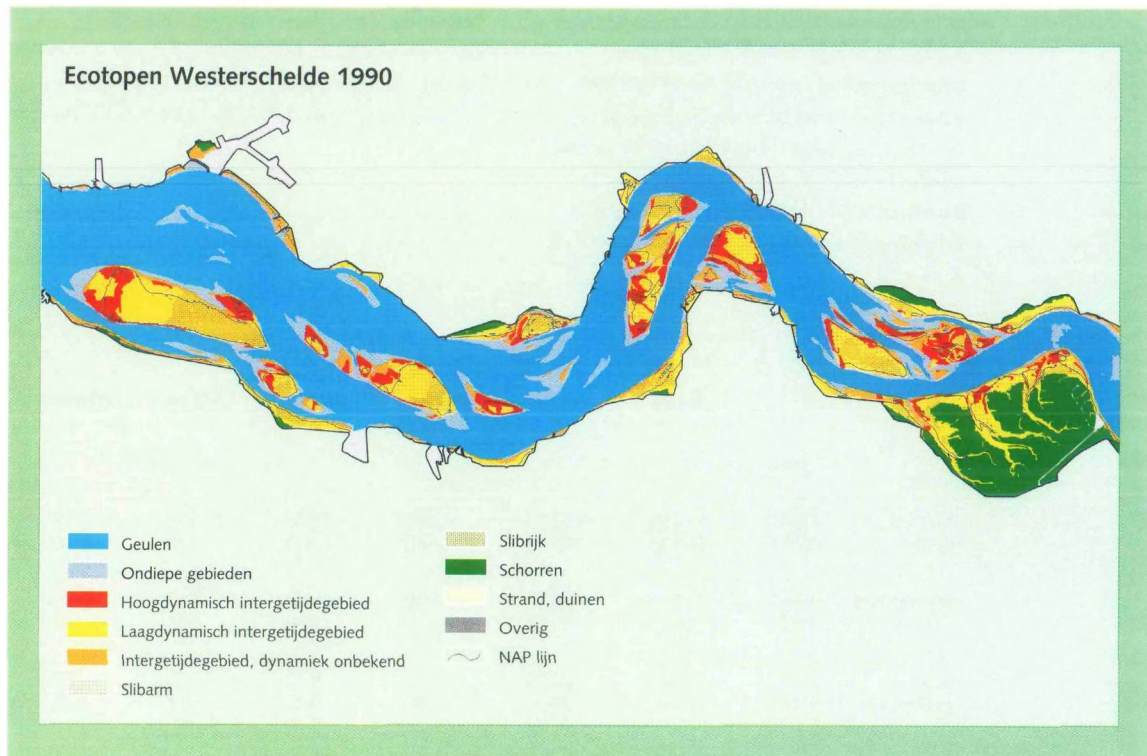
Het tot nu toe in de geomorfologie gehanteerde begrip 'habitat' wordt vaak gehanteerd als synoniem voor ecotoop. Deze term staat echter voor een 'typische woon- of verblijfplaats van een plante- of diersoort.' Hij is duidelijk vanuit de soort gedefinieerd,

terwijl de definities van ecoserie en ecotoop voortkomen uit de landschapsecologie en de omgeving centraal stellen. In de Westerschelde kunnen de volgende ecoserieën worden onderscheiden: geulen, ondiep watergebieden, slikken, platen, schorren en harde substraten (bestortingen, dijk-glooiingen, etc.). Platen en slikken zijn door de verschillen in dynamiek, slijbgehalte van de bodem en hoogte in diverse ecotopen op te delen (zie kaart op de volgende pagina).

Via de geulen in het estuarium vindt transport plaats van voedsel en zwevend sediment. Vele soorten organismen (bacteriën, plankton, larven, garnalen, bodemdieren, vissen en zeehonden) worden meegevoerd of trekken door de geulen. Ondiep watergebieden zijn in het hele estuarium essentieel als opgroei- en verblijfgebied voor jonge vis. Het gaat om ondiepe pieren en kreken die de schorren doorsnijden, maar ook om ondiep water dat tussen de geulen en slikken ligt. Ze leveren het voedsel voor vissen en zeehonden. Platen en slikken zijn de verblijf- en vestigingsplaatsen van bodemdieren en planten. Vogels, jonge vis en dieren die op en in de bodem leven zijn voor hun voedselvoorziening van deze gebieden afhankelijk. Platen en slikken worden door zeezoogdieren gebruikt om te rusten en te zogen en ze hebben een rui- en rustfunctie voor vogels.

biomassa van bodemdieren) in het oostelijk deel te onderzoeken en, bij gebleken waarde, toe te passen op de situatie vóór de ingrepen, is een inzicht verkregen in de veranderingen ten gevolge van die ingrepen. Het daarvoor verrichte onderzoek wordt in een aparte paragraaf gepresenteerd. Aan de hand van waarnemingen is de relatie tussen bodemdieren en bodemhoogte, sedimenttype en bodemdynamiek vastgesteld. Uit diverse onderzoeken blijkt dat bodemdieren zeer gevoelig zijn voor veranderingen in de aard en beweeglijkheid (dynamiek) van het sediment. Omdat bodemdieren het stapelvoedsel vormen voor vele soorten watervogels en vissen, kan deze diergroep zeer nuttige informatie geven over de relatie tussen ingrepen in de sedimenthuishouding en de respons van het ecosysteem. Hoewel niet alle aanwezige biomassa direct te consumeren is door vogels, worden veranderingen in de biomassa van de bodemdieren gebruikt als graadmeter voor de foerageermogelijkheden van vogels.

De veranderingen in de aanwezigheid van watervogels in dit deel van



De schorren en de intergetijdegebieden hebben een broed-, rui-, rust- en voedselfunctie voor vogels en een kinderkamerfunctie voor jonge vis en bodemdieren. Ze zijn ook verblijfplaats voor brak-, zout- en zoetwatergetijdeplanten en voor jonge vis en garnalen.

De uitwisseling van voedingsstoffen en organismen tussen schorren, slikken, platen

en ondiep watergebieden vormt de motor van het bodemgebonden voedselweb. Het ecotopencomplex schor-slik- ondiep water is essentieel voor het ecologisch optimaal kunnen functioneren van het estuarium.

Geulwandbestortingen, dijkbekleding, strekdammen, klei- en veenbanken zijn een verblijfplaats voor bodemdieren, bodemplanten, jonge vis en garnalen.

vervolg op volgende pagina

het estuarium zijn ook gekoppeld aan de toe- of afname van diverse estuariene ecotopen. Op voorhand werd hier een relatie verwacht.

Tot slot wordt dieper ingegaan op de vraag of aan de hand van de meest recente inzichten de hypothese kan worden bevestigd dat het estuarium verarmt of dreigt te verarmen door het verdwijnen van karakteristieke gebieden, planten en dieren. De consequenties van een eventuele afname in ecotopen en biodiversiteit beperken zich niet tot het gebied zelf, omdat de Westerschelde op het knooppunt ligt van drie ecologische verbindingswegen:

- de trekroute voor vogels in noord-zuid richting,
- de migratieroute vis in oost-west richting,
- aan- en afvoeroute van voedingsstoffen, larven van platvis en jonge garnaal uit de Noordzee en het Kanaal.

Op de plaatsen waar bestortingen zijn aangebracht vestigt zich een levensgemeenschap die karakteristiek is voor harde ondergrond. In het brakke deel van het estuarium is deze gemeenschap aangepast aan de sterk wisselende zoutgehalten. Voor een overzicht van de natuurwaarden van de laatste ecoserie wordt verwezen naar van Berchum et al. (1996)

In tabel 2.4.1 zijn de oppervlakten van verschillende ecoseries in 1990 en 1960 gegeven. Voor een beschrijving van de ontwikkelingen tussen 1960 en 1990 wordt verwezen naar par. 2.3.2 (areaalontwikkeling).

		totaal	geulen	ondiep water	platen	slikken	schorren
jaar							
Marien gebied	1960	17210	10340	2080	2800	1400	580
	1990	16130	10740	1660	2700	890	160
Overgangs gebied	1960	5610	3010	1000	990	560	50
	1990	5590	3140	630	1280	540	20
Brak gebied NI	1960	10060	2810	1370	690	2300	2890
	1990	9210	3090	880	960	1912	2360

Tabel 2.4.1

Oppervlakten (ha) van ecoseries langs de estuariene gradiënt van de Westerschelde van het totale gebied (dijk - dijk), geul (> NAP-5m), ondiep water (NAP-2m tot NAP-5m), platen, slikken en schorren in 1960 en 1990. De oppervlakten zijn voor de situatie in 1960 en 1990 berekend met GIS (Arc Info) uit diverse bronnen (Vroon et al., 1996), waarvan de belangrijkste de geomorfologische kaarten zijn, verkregen uit luchtfoto-interpretatie (Huijs, 1995).

2.4.2 Waargenomen veranderingen in de vogelfauna in de Westerschelde

In de afgelopen eeuw hebben zich grote veranderingen voorgedaan in de arealen intergetijdegebieden in de Westerschelde (tabel 2.4.1 en par. 2.3.2., onderdeel areaalontwikkeling). Op grond hiervan zou men ook grote veranderingen in de vogelwereld mogen verwachten. Die blijken zich maar ten dele voor te doen. Hoewel betrouwbare historische data (van vóór 1940) schaars zijn, is het toch mogelijk geweest een reconstructie te maken van aantallen van de meeste watervogels in vier periodes (tabellen 2.4.2a, 2.4.2b en 2.4.2c).

Planten etende watervogels

Herbivore eenden (Smient, Wintertaling en Pijlstaart) zijn in de eerste helft van deze eeuw in aantal verminderd als gevolg van het verdwijnen van een groot areaal aan schorren, vooral in het westelijk deel van de Westerschelde. Kolgans en Grauwe Gans zijn de laatste decennia sterk toegenomen in het oostelijk deel van de Westerschelde, niet alleen door lokale veranderingen in habitat (verlanding van schorren, begrazing, stopzetten van de jacht), maar ook door groei van de Europese populatie en door het verdwijnen van overwinteringsgebieden elders. De Rotgans werd al sinds de vorige eeuw nauwelijks gezien in het oostelijk deel van de Westerschelde.

Planten etende watervogels

Tabel 2.4.2a

De aantallen van de belangrijkste soorten planten etende watervogels in de Westerschelde in vier tijdvakken. Per tijdvak (▼) is voor zover mogelijk per deelgebied (W = west, O = oost) een indicatie gegeven van de talrijkheid (relatief, per soort). De grootte van de * geeft de talrijkheid aan. Tevens zijn aantallen in de laatste periode aangegeven (naar Arts en Meininger, 1995).

periode		▼	▼	▼	▼	'80-'90
		1890	1935	1960	1980	aantal
soort						
Rietgans	W	*	*	*	*	100-den
	O	*	*	*	*	100-den
Kolgans	W	?	*	*	*	1000-den
	O	.	.	*	*	1000-den
Grauwe Gans	W	*	*	*	*	100-den
	O	.	.	.	*	30.000
Rotgans	W	(*)	*	*	*	10-tallen
	O	*	*	*	*	10-tallen
Smient	W	*	*	*	*	1000-den
	O	*	*	*	*	16.000
Wintertaling	W	*	*	*	*	100-den
	O	*	*	*	*	ca. 1500
Wilde Eend	W	*	*	*	*	1000-den
	O	*	*	*	*	10.000-den
Pijlstaart	W	*	*	*	*	1000-den
	O	*	*	*	*	2 à 5000

Bodemdier etende watervogels

Eén van de meest opmerkelijke ontwikkelingen die door Arts en Meininger (1995) worden gesignaleerd, is het feit dat er vroeger regelmatig grote aantallen (vele duizenden) duikeenden voorkwamen in de Westerschelde, met name in het westelijk deel, terwijl deze vogels hier tegenwoordig nauwelijks meer worden aangetroffen. Het gaat onder andere om de Toppereend, Zwarte Zeeëend en Brilduiker. Deze vogels duiken naar schelpdieren op de bodem. Het is niet direct te bewijzen, maar de duidelijke vermindering houdt waarschijnlijk verband met een sterk veranderd voedselaanbod. In de loop van deze eeuw zijn grote ondiep watergebieden met mosselbanken, kokkels en *Spisula*'s verdwenen.

Ook de Bergeend, die naast zoöbenthos ook diatomeeën eet, is als wintergast in aantal afgenomen in het westen. Dit is gedeeltelijk te verklaren door het verdwijnen van het Sloegebied, waar grote

Bodemdier etende watervogels**Tabel 2.4.2b**

De aantallen van de belangrijkste soorten bodemdier etende watervogels in de Westerschelde in vier tijdvakken. Per tijdvak (▼) is voor zover mogelijk per deelgebied (W = west, O = oost) een indicatie gegeven van de talrijkheid (relatief, per soort). De grootte van de * geeft de talrijkheid aan. Tevens zijn aantallen in de laatste periode aangegeven (naar Arts en Meininger, 1995).

periode		▼	▼	▼	▼	'80-'90	
-----		1890	1935	1960	1980	1990	aantal
soort							
Bergeend	W	*	*	*	*		1000-den
(winter)	O	*	*	*	*		ca. 1000
Bergeend	W	?	*	*	*		1 à 2000
(zomer, rui)	O	?	*	*	*		ca. 1000
Toppereend		?	*	*	*		10-tal
Eidereend	W	*	*	*	*		ca. 100
Zwarte Zeeëend	W	*	?	*	*		enkele
Brilduiker	W	*	*	*	*		10-tallen
	O	*	(*)	*	*		10-tallen
Scholekster	W	*	*	*	*		ca. 12.000
	O	*	*	*	*		ca. 3000
Kluut		*	*	*	*		ca. 1000
Bontbekplevier		*	*	*	*		ruim 2000
Strandplevier		?	?	*	*		500 à 1000
Zilverplevier	W	?	?	*	*		2 à 3000
	O	?	*	*	*		ca. 2000
Kanoelstrandloper	W	*	*	*	*		2 à 3000
Drieteenstrandloper		?	*	*	*		ca. 750
Bonte Strandloper		?	*	*	*		10 à 20.000
IJslandse Grutto	W	*	?	*	*		100 à 200
Rosse Grutto	W	*	*	*	*		100-den
	O	*	*	*	*		ca. 1000
Regenwulp	W	?	?	*	*		100-den
	O	*	*	*	*		100-den
Wulp	W	?	*	*	*		ca. 3000
	O	?	*	*	*		ca. 2000
Zwarte Ruiter	W	?	*	*	*		100-den
	O	*	*	*	*		600 à 1000
Tureluur	W	*	*	*	*		ca. 1000
	O	*	*	*	*		ca. 1000
Groenpootruiter	W	?	*	*	*		100 à 200
	O	?	*	*	*		10-tallen

aantallen overwinterden. Opvallend is de toename van het aantal ruiende Bergeenden in het oosten.

Uit de analyse van historische data blijkt dat de oostelijke Westerschelde van oudsher vooral een functie vervult voor doortrekkende steltlopers (onder meer Bontbekplevier, Rosse Grutto, Zilverplevier en Zwarte Ruiter) en dat de functie als overwinteringsgebied (bijvoorbeeld voor Bonte Strandloper) relatief gering is.

Vis etende vogels

Zwemmende en duikende viseters (Fuut, Aalscholver en Middelste Zaagbek) lijken nooit talrijk te zijn geweest in de Westerschelde. Diverse beschrijvingen suggereren echter dat de Fuut in de eerste helft van deze eeuw toch wat talrijker voorkwam dan tegenwoordig, met name in het oostelijk deel van het bekken. Ondanks het troebele water vinden sterns, die broeden in Saeftinge en op de Hooie Platen voldoende voedsel (Arts en Meininger, 1995).

Tabel 2.4.2c

De aantallen van de belangrijkste soorten vis etende watervogels in de Westerschelde in vier tijdvakken. Per tijdvak (▼) is voor zover mogelijk per deelgebied (W = west, O = oost) een indicatie gegeven van de talrijkheid (relatief, per soort). De grootte van de * geeft de talrijkheid aan. Tevens zijn aantallen in de laatste periode aangegeven (naar Arts en Meininger, 1995).

Vis etende vogels

periode	▼	▼	▼	▼	'80-'90
-----	1890	1935	1960	1980	aantal
soort					
Fuut	*	?	*	*	100 à 200
Aalscholver	*	*	.	*	10-tallen
Middelste Zaagbek	*	*	*	*	10-tallen

Kustbroedvogels

Het broedbiotoop van de in de Westerschelde algemeen voorkomende kustbroedvogels heeft in de periode van 1940 tot nu toe grote veranderingen ondergaan. In het westen verdwenen drie belangrijke broedgebieden: het Sloe, de Kaloot en de Braakman. Tijdelijk geschikte broedgebieden ontstonden in het Sloegebied en nabij Terneuzen als gevolg van opspuitingen en inpolderingen. Van groot belang zijn tegenwoordig de Hooie Platen, waarvan het hoogste deel door middel van natuurbouw vrijwel permanent boven water blijft. In het centrale deel van de Westerschelde verdwenen slechts enkele kleine schorren door inpoldering en dijkverzwaring. Het belangrijkste broedgebied in het oosten, het schor van Saeftinge, bleef redelijk gespaard. Wel raakte dit gebied in de loop der jaren steeds meer begroeid, waarmee de aantrekkelijkheid voor sommige soorten aanzienlijk kleiner en voor andere juist groter werd. Een fors areaal aan schorren en slikken (1000 ha) verdween tussen Bath en de Belgische grens door de aanleg van het Schelde-Rijn kanaal.

Het aantal broedparen van de Kluut is, vergeleken met de historische situatie, toegenomen (tabel 2.4.3). Toch is dit huidige aantal nog onder de potentie van de Westerschelde: het was enkele jaren geleden hoger, vooral in het oosten. De aantallen van de 'cultuurvolgers' Zilvermeeuw

Tabel 2.4.3

Aantal broedparen van kustbroedvogels in de Westerschelde rond 1940 en in 1990 - 1993, en de trend in de periode 1985 tot 1993.

(++ = sterk toenemend, + = toenemend; - = afnemend, o = stabiel).

Soort	ca 1940	1990 - 1993	trend 1985 - 1993
Kluut	ca 100	160	o
Bontbekplevier	enkele	15-20	o
Strandplevier	100-160	40	-
Zwartkopmeeuw	0	4	o
Kokmeeuw	ca 500	5000-7000	o
Stormmeeuw	0	5	+
Kleine Mantelmeeuw	0	150	++
Zilvermeeuw	0	10.000	o
Grote Stern	0	1400	o
Visdief	ca 1250	1200-1600	-
Noordse Stern	enkele	1	o
Dwergstern	ca 55	100	-

en Kleine Mantelmeeuw zijn sterk toegenomen. Ze broeden op de hooggelegen schorren.

De Grote Stern, een zeldzame broedvogel in de jaren vijftig, heeft zich vanaf 1987 opnieuw kunnen vestigen dankzij het kunstmatig ontstaan en in stand houden van een broedplaats op de Hooge Platen. Ook karakteristieke estuariene soorten zoals Dwergstern en Strandplevier hebben zich vrijwel alleen kunnen handhaven op de Hooge Platen en op andere kunstmatige terreinen. Van de Strandplevier broedt nog slechts een fractie van het vroegere aantal. De Visdief is eigenlijk de enige 'waardevolle' soort, die in redelijke getale in een natuurlijke habitat broedt (de veekpakketten in Saeftinge). Daarnaast is sinds enkele jaren op het sluiscomplex van Terneuzen een grote kolonie Visdieven gevestigd. Broedgevallen van Zwartkopmeeuw, Stormmeeuw en Noordse Stern zijn (en waren) zeldzaam in de Westerschelde.

2.4.3 Waarnemingen aan de visfauna in de Westerschelde

De visfauna van een estuarium of zee wordt meestal verdeeld in drie categorieën: pelagische soorten, die verblijven en foerageren in de waterkolom (bv. haring en sprot); demersale soorten, die normaliter niet op de bodem rusten, maar wel op of vlak langs de bodem zwemmen en foerageren (bv. kabeljauw), en bentische soorten, die normaliter in of op de bodem verblijven en daar ook foerageren (bv. platvissen, grondels, zeedonderpadden). Vooral van de laatste twee groepen is informatie uit de Westerschelde beschikbaar.

In de pilotnota Oostwest (Pieters et al., 1991) wordt de informatie, gebaseerd op 16 jaar (1970 t/m 1986) RIVO vangsten (Beek en Rink, 1987) reeds samengevat. Hamerlynck, Hostens en Cattrijsse (Hamerlynck et al., 1993; Cattrijsse, 1994; Hostens et al., 1996) onderzochten in de periode 1988 -1992 de vissen, garnalen en krabben van de Westerschelde -geulen, het ondiep watergebied rondom de platen van Valkenisse en de schorkreken van Waarde en Saeftinge.

In totaal werden in die periode bijna 50 soorten gevangen, veel minder dan in een estuarium mag worden verwacht. Tabel 2.4.4. geeft een overzicht van de 17 meest voorkomende soorten met daarbij hun dichtheid en de plaats in het ecosysteem die zij innemen.

De grijze Garnaal is de meest algemene en talrijkste soort. Typisch is het ontbreken van zoetwatervissen en Salmoniden zoals Spiering, die meestal zeer algemeen zijn in estuaria met voldoende zuurstof.

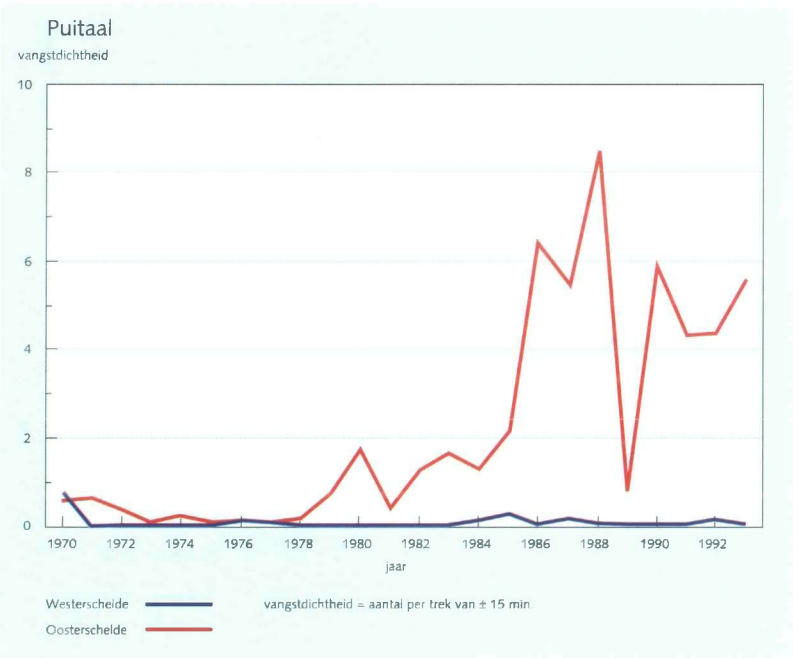
De puitaal, een echte estuariene soort, wordt vanaf 1978 wel geregeld in de Oosterschelde waargenomen, maar blijft in de Westerschelde zeldzaam (figuur 2.4.1. uit Daan, 1995).

soort		gemiddelde dichtheid	aanwezigheid (seizoen)	belangrijkste levensstadium	ecotype
nederlands	latijn				
grijze garnaal	<i>Crangon crangon</i>	416,9	zomerresident	onafhankelijk	ER
Lozanoï's grondel	<i>Pomatoschistus lozanoi</i>	110,5	zomerresident	juveniel	MS
schar	<i>Limanda limanda</i>	84,4	winter	juveniel	MJ
dikkopje	<i>Pomatoschistus minutes</i>	76,7	zomerresident	juveniel	MS
tong	<i>Solea solea</i>	33,4	winterresident	juveniel	MJ
sprot	<i>Sprattus sprattus</i>	17,2	bimodaal	juveniel	MJ
schol	<i>Pleuronectes platessa</i>	16,9	winter	juveniel	MJ
strandkrab	<i>Carcinus maenas</i>	16,6	zomerresident	onafhankelijk	ER
haring	<i>Clupea harengus</i>	7,7	bimodaal	juveniel	MJ
brakwatergrondel	<i>Pomatoschistus microps</i>	6,5	winter	oudere	ER
zwemkrab	<i>Liocarcinus holsatus</i>	4,1	zomer	onafhankelijk	MO
kleine zeenaald	<i>Syngnathus rostellatus</i>	3,9	zomer	juveniel	ER
zandspiering	<i>Ammodytes tobianus</i>	3,5	winterresident	juveniel	ER
bot	<i>Pleuronectes flesus</i>	2,7	winterresident	onafhankelijk	CA
steenbolk	<i>Trisopterus luscus</i>	2,0	zomer	juveniel	MJ
wijting	<i>Merlangius merlangus</i>	1,3	zomer	juveniel	MJ
harnasmannetje	<i>Agonus cataphractus</i>	1,0	winterresident	juveniel	ER

Tabel 2.4.4.
Overzicht van de 17 meest algemene epibenthische vissoorten (en krabben en garnalen) gevangen in de Westerschelde in de periode 1988 t/m 1992 (Hostens et al., 1996).

Dichtheid in aantal per 1000 m², uitgezonderd voor Garnaal: biomassa in g ADW/1000 m².
Legenda ecologisch type: MO= mariene soorten; ER= estuariene blijvers; MJ= bezoekers nursery (van mariene oorsprong); CA= kata/anadrome soorten; MS= volwassen bezoekers (van mariene oorsprong).

Figuur 2.4.1
Verandering in vangstdichtheid Puitaal in Westerschelde en Oosterschelde.



De belangrijkste functies die de Westerschelde vervult voor bodemgebonden vissen en garnalen zijn:

- * voedselgronden en schuilplaats bieden voor jonge vis en garnalen (kinderkamer);
- * geboortegrond voor enkele soorten;
- * doortrekplaats van diadrome vis (zie ook intermezzo 'Ecoseries en ecotopen in de Westerschelde').

Deze drie functies worden hieronder nader besproken.

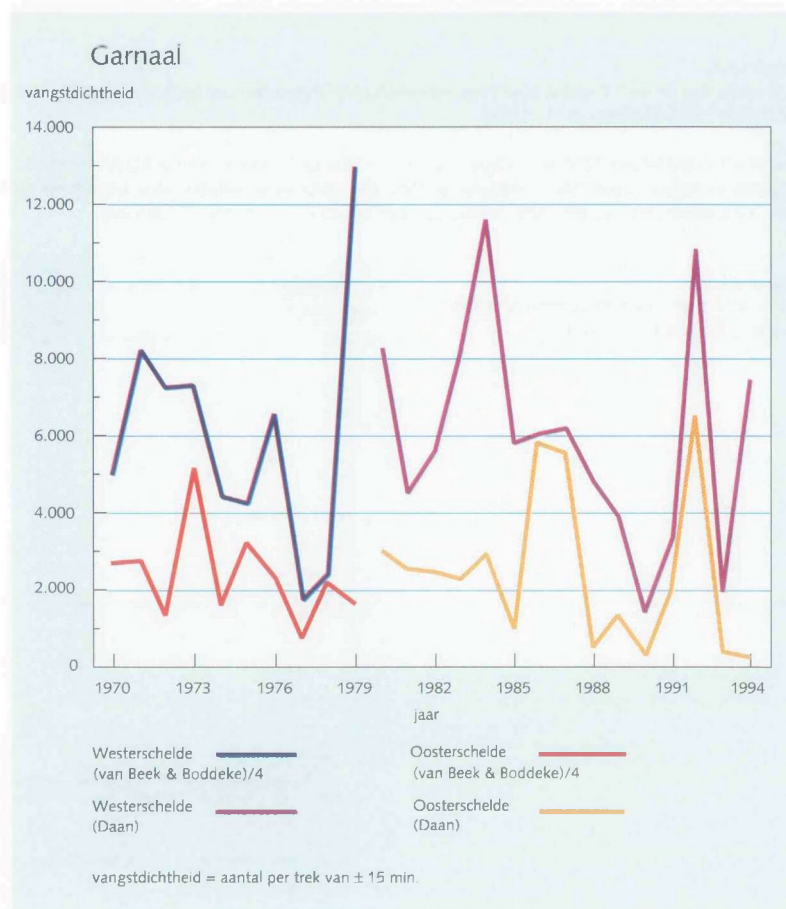
1. Foerageer- en schuilfunctie voor jonge garnaal en jonge vis (kinderkamer)

Uit diverse studies (Tackx, 1995; Mees et al., 1993) is duidelijk geworden dat het mesohaliene (oostelijke) deel van de Westerschelde zeer rijk is aan detritus, copepoden en aasgarnalen. Het hoge voedselaanbod trekt velerlei soorten vissen, krabben en garnalen aan.

Over de garnaal is in 1990 een gedetailleerde analyse verschenen (Van Beek en Boddeke, 1990), waarin vangstgegevens per visuus voor vier deelgebieden van de Westerschelde over de jaren 1970 t/m 1989 worden gegeven.

Een van de belangrijkste conclusies was dat vooral het oostelijk deel een rijk gebied voor jonge garnaal is; wel is de omvang van de populatie afhankelijk van de intrek uit de Noordzee. Het beeld van de sterk wisselende garnalenstocks heeft zich in de recente jaren voortgezet (figuur 2.4.2; uit Daan, 1995). De Westerschelde wordt als geheel gepresenteerd, maar in het oostelijk deel blijft de garnaal het

Figuur 2.4.2
Verandering in vangstdichtheid Garnaal in Westerschelde en Oosterschelde.



talrijkst. De Westerschelde vervult nog steeds een belangrijkere rol als kinderkamer dan de Oosterschelde.

In de kreken in Saeftinge waren de dichtheden van een aantal soorten in het schor beduidend hoger dan daarbuiten (Cattrijsse, 1993; 1994; Cattrijsse et al., 1994). Jonge zeebaarzen (*Dicentrarchus labrax*) maakten intensief gebruik van het schor om te foerageren op aasgarnalen. In de loop van het jaar groeiden de kleine zeebaarsjes van circa 20 mm naar circa 60 mm.

In het voorjaar werden talrijke glasaaltjes aangetroffen, op weg naar het zoete water. Ook voor Harder en de Gewone Garnaal bleken de kreken van Saeftinge een belangrijk foerageergebied te zijn.

Het belang van de schorren voor het Noordzeegebied is niet duidelijk, maar schattingen van de productiecapaciteit van het schorsysteem lopen uiteen van 230 tot 500 ton versgewicht aan garnalen (Hostens et al., 1996; Cattrijsse, 1994).

Ook de Platen van Valkenisse zijn van groot belang voor bodemgebonden vis (Hostens et al., 1996). Jonge Schol en Schar komen op de platen vooral voor in herfst en winter, terwijl Bot meer gespreid over het jaar voorkomt. De 0-groep van Schol groeide in drie maanden (van april tot juli) van 25 naar 75 mm standaardlengte (Sas, 1993). In het ondiepe water groeiden de dikkopjes van 25 naar 65 mm standaardlengte in 5 maanden en de haringen van 50 naar 100 mm totale lengte in 3 maanden.

Jonge Tong wordt gedurende het gehele jaar meer in de geulen waargenomen, met pieken in het voorjaar. Platvissen nemen ± 14 procent van de biomassa voor hun rekening. De belangrijkste soort is ook hier de Garnaal (gemiddelde dichtheid 3400 exx. per 1000 m²). Daarnaast zijn ook grondels zeer talrijk (1200 exx. per 1000 m²).

2. Geboortegrond van garnaal, krabben en bodemgebonden vissen (kraamkamer)

De schorkreken en ondiep watergebieden vormen de ideale leefomgeving voor de eieren en larven van garnalen, krabben, grondels, haringen en zandspiering. Van Tong en Schol werden alleen de allervroegste stadia ('postzegeltjes') in de schorkreek van Saeftinge aangetroffen, altijd in lage dichtheden. Zij gebruikten het schor-systeem meer als schuilplaats, dan als foerageerplaats. Dat gold ook voor de postlarvale Botten. Deze jonge botjes en de jonge garnaaltjes waren nooit groter dan 10-15 mm. Beide soorten bleven met laag water achter in poeltjes op het schor of in de diepere delen van de kreken (In dichtheden van resp. 19 en 220 per m²). Ook de brakwatergrondel maakte intensief gebruik van Saeftinge: de postlarvale beestjes verschenen massaal in juni en de volwassenen zetten hun eieren af onder schelpen of stenen, vooral in de wat hogere pannen (= met water gevulde ondiepten) op het schor. Zij vonden hier vooral een schuilplaats voor predatoren.

3. Doortrekfunctie van diadrome vis

In de onderzoeken van Hamerlynck et al. (1993) en Hostens et al. (1996) werden slechts vier soorten trekvissen aangetroffen (o.a. Fint en Paling). Anadrome vissen zoals Rivierprik en Fint waren zeer zeldzaam en er werden ook weinig Harders gevangen. In veel Engelse estuaria zijn deze vissen talrijk in de brakke zone.

Er zijn drie belangrijke oorzaken voor de verdwijning van de diadrome vissen uit het Scheldeestroomgebied (van Wershoven, 1995; Van Damme et al., 1994).

De eerste is de zeer slechte waterkwaliteit in een groot gedeelte van de waterlopen. Door de organische en anorganische vervuiling zijn deze waterlopen in de zomer voor een gedeelte bijna zuurstofloos, waardoor vissen er niet kunnen leven.

Het tweede knelpunt vormen de fysieke barrières, zoals stuwen, sluizen, pompgemalen en terugslagkleppen, die de migratie van de trekvis naar de verschillende waterlopen belemmeren.

De derde reden is de aantasting en het verdwijnen van de paal-, opgroei- en foerageerplaatsen en van plekken waar de vissen kunnen rusten en schuilen.

De Paling, Driedoornige Stekelbaars en de Rivierprik zijn nooit helemaal verdwenen uit de bekkens van de Schelde. Verwacht wordt dat ze na verbetering van de watersysteemkwaliteit weer in grote aantallen zullen worden waargenomen. De Fint en de Spiering worden nu al weer gesignaleerd op de Beneden-Zeeschelde. De kansen voor terugkeer van de Steur lijken gering. Gegevens over deze vis ontbreken grotendeels en de vis wordt thans niet meer in Noordwest-Europa aangetroffen.

2.4.4 Waargenomen veranderingen in het oostelijk deel van de Westerschelde.

Dit onderdeel van de waargenomen veranderingen behandelt meer specifiek de veranderingen van ecotopen, vegetaties, bodemfauna en watervogels in het oostelijk gebied. In de morfologische paragraaf is al geconcludeerd dat met name in het oostelijk deel menselijke ingrepen een sterke invloed hebben gehad op de morfologische ontwikkelingen. Deze paragraaf beschrijft eerst de veranderingen in ecotoop-arealen die gebaseerd zijn op morfologische ontwikkelingen, en vervolgens belangrijke biotische veranderingen.

Ecotopen

Bij de ontwikkeling van de ecotopen is onderscheid gemaakt in intergetijdegebied (platen en slikken) en schorren. Het totale oppervlak aan intergetijdegebied is sinds 1935 met meer dan 1000 ha achteruit gegaan (tabel 2.4.5). De grootste achteruitgang vond plaats tussen 1935 en 1957 als gevolg van de snelle groei van het schor in het Verdrongen Land van Saeftinghe. Deze uitbreiding zorgde ervoor dat

Tabel 2.4.5
Oppervlakten (ha) van intergetijde-ecotopen in het oostelijk deel van de Westerschelde. 'Onvolledig gekarteerde gebieden' in 1935 en 1989 zijn gereconstrueerd

ecotoop-types		1935	1957	1965	1977	1989
platen	hoog dynamisch	850	550	600	935	720
	en laag - slib arm	700	480	575	620	1040
slikken	dynamisch slib rijk	2390	1960	1800	1375	1100
	totaal	3940	2990	2975	2930	2860
schor	jong	450	650	35	60	10
	volwassen	2135	2247	3035	2210	2375
	totaal	2585	2897	3070	2270	2385

het totale areaal aan schorren in deze periode nog toenam, ondanks een inpoldering van 300 ha (Ossendrecht). Vanaf 1960 zorgden zowel inpoldering (Ossendrecht) als erosie (Saeftinge en Waarde) voor een achteruitgang van het totale schoroppervlak. Het ecotoop 'jong schor' is na 1960 bijna geheel verdwenen. Tussen 1977 en 1990 groeide het schorareaal weer door het buitendijken van de Selenapolder (thans Sieperdaschor) en door schorvorming in de grote kreken van Saeftinge (Spauwer). Binnen het intergetijdegebied wordt onderscheid gemaakt tussen hoogdynamische gebieden en slibrijke en slibarme laagdynamische gebieden. Vooral de ontwikkeling in de laagdynamische slibrijke gebieden is van belang, omdat dit ecotoop potentieel het rijkst is aan bodemdieren (stapelvoedsel voor vele soorten watervogels en vissen). Het areaal van dit ecotoop is vanaf het begin van de waarnemingen (1935) voortdurend kleiner geworden. In de periode 1957-1989 nam het af van 1960 ha tot 1100 ha, terwijl het totale areaal aan intergetijdegebied in deze periode slechts heel licht afnam van 2990 ha tot 2860 ha. Hierdoor is het aandeel van de slibrijke ecotopen in het intergetijdegebied afgenomen van circa 65 procent in 1957 tot circa 40 procent in 1989.

Opvallend is dat door de groei van de platen van Valkenisse het absolute areaal laagdynamische slibrijke gebieden op de platen is uitgebreid. De plaats van deze gebieden is verschoven van laag (beneden NAP) naar hoog. Bij de slikken is de ontwikkeling van de dynamiek minder duidelijk. Dat komt onder andere omdat het oppervlak waarvan de dynamiek niet kon worden vastgesteld, vrij groot is (zie intermezzo 'Ontwikkeling van de dynamiek van platen en slikken in het oostelijk deel'). Eerder in dit hoofdstuk zijn vanuit een andere invalshoek ook ontwikkelingen van een aantal ecoseries beschreven (par. 2.3.2), waaronder de ontwikkeling ondiep watergebieden.

Schorvegetatie

Van de overgebleven schorren in dit deel van de Westerschelde is het Verdrongen Land van Saeftinge veruit het grootste (2250 ha. schor en 1200 ha zand- en slikvlakten). De geschiedenis van de vegetatie van dit grootste brakwater-schor van Europa is een verhaal van natuurlijke successie van vegetatietypes die behoren bij een zich uitbreidend en ophogend schor.

In 1935 was het een typisch laag gelegen schor met een zoutminnende vegetatie, gedomineerd door Engels Slijkgras (*Spartina townsendii*) en Zeeaster (*Aster tripolium*) in de laagtes. Op de hogere delen van het schor was Gewoon Kweldergras (*Puccinellia maritima*) de dominante soort. Vanaf 1935 tot 1957 breidde het schor zich snel uit, dankzij de inplanting van *Spartina* en de constructie van dammen loodrecht op de kust. Dezelfde soorten domineerden de vegetatie (figuur 2.4.4). Vanaf 1971 vond een verschuiving plaats naar een hoger, droger en brakker type schor. In de kommen is *Spartina* steeds verder verdrongen door zeebies (*Scirpus maritimus*), een teken van een brakker milieu. Op de oeverwallen heeft Strandkweek (*Elymus athericus*) zich uitgebreid.

In de periode 1972-1992 vond een nieuwe kolonisatie van de zandige geulen plaats, die resulteerde in een netto groei van het jonge schor,

Ontwikkeling van de dynamiek van platen en slikken in het oostelijk deel

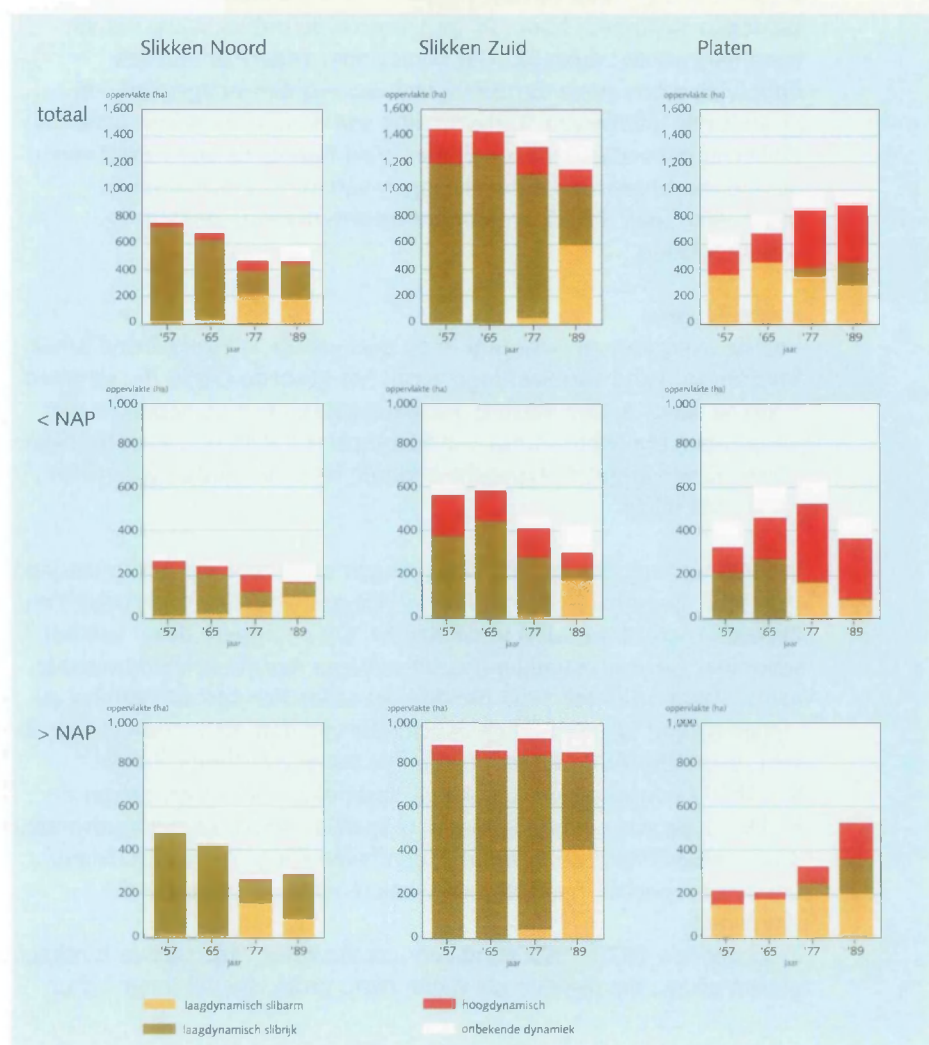
Bij de beschrijving van de ontwikkeling van de ecotopen wordt onderscheid gemaakt tussen de noordelijke slikken (Waarde, Bath en Ossendrecht), de zuidelijke slikken (Baalhoek en Saeftinge) en de platen van Valkenisse. Tussen '65 en '77 nemen vooral de hogere delen (die in het algemeen laagdynamisch zijn) van de noordelijke slikken flink in omvang af (figuur 2.4.3). Het areaal laaggelegen slikken neemt aanvankelijk ook af, maar is in 1989 weer op het niveau van 1965. Het laagdynamische deel is dan weer gestegen, hoewel circa één derde deel van het ecotoop onbekend is.

Het slikrijke deel van het laagdynamische ecotoop is in het geheel afgenomen sinds 1965. Tussen '77 en '89 zijn de laaggelegen

delen zandiger geworden, ten koste van de delen boven NAP. De hooggelegen delen van de zuidelijke slikken behouden door de jaren heen hun overwegend laagdynamische karakter (figuur 2.4.3). Het laaggelegen deel neemt in omvang af tussen '65 en '77, vooral ten koste van het laagdynamische ecotoop. Ook hier is in 1989 de dynamiek van een vrij groot deel onbekend. Het slikrijke deel van het laagdynamische ecotoop is tussen '77 en '89 fors in areaal achteruit gegaan, vooral door de verzanding van de geulen van Saeftinge.

De platen van Valkenisse vertonen een voortdurende groei, vooral de hogere delen. In 1989 is het areaal hooggelegen, laagdynamisch ecotoop met ruim 200 ha

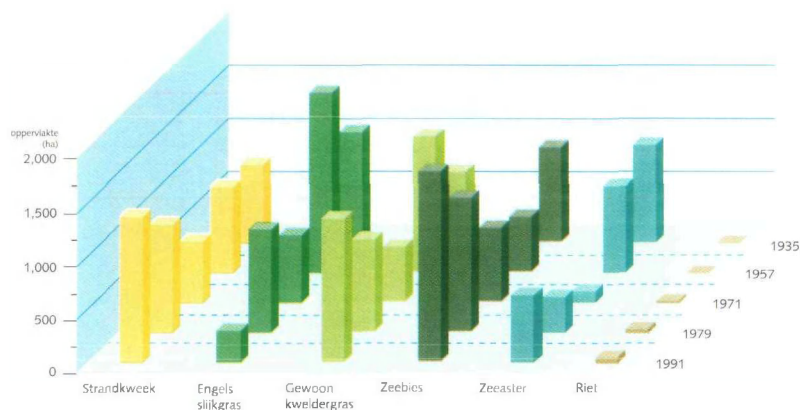
gegroeid ten opzicht van 1957. Ook het hoog-dynamische deel is uitgebreid, maar dat bevindt zich vooral lager dan NAP. Het slikrijke deel van het laagdynamische ecotoop is meer dan verdubbeld tussen '77 en '89.



Figuur 2.4.3
Ontwikkelingen
ecotopen oostelijk
deel Westerschelde.

Figuur 2.4.4

Ontwikkelingen in de bedekking van enkele schorreplanten in Saeftinge van 1935 tot 1989, gebaseerd op Leemans en Verspaandonk (1980), van Schaik et al. (1988) en Houtekamer (1994). De originele gegevens zijn digitaal bewerkt. De legenda werd vereenvoudigd tot soortniveau met de bijdrage van elke soort uitgedrukt als een percentage van de bedekking.



met opnieuw *Spartina*, *Puccinellia*, *Scirpus* en *Aster*. De verspreiding van *Elymus* en *Scirpus* heeft geleid tot een dominantie van deze twee vegetatietypen, de eerste op de oeverwallen en de tweede in de kommen. Uitgestrekte rietvegetaties (*Phragmites australis*) duiden op de aanwezigheid van zoet water in de bodem.

In de winter wordt de *Scirpus* vegetatie door Grauwe Ganzen bezocht. Zij zijn verzot op de knolletjes van deze plant. De kaalgevreten plekken worden gekoloniseerd door Kweldergras.

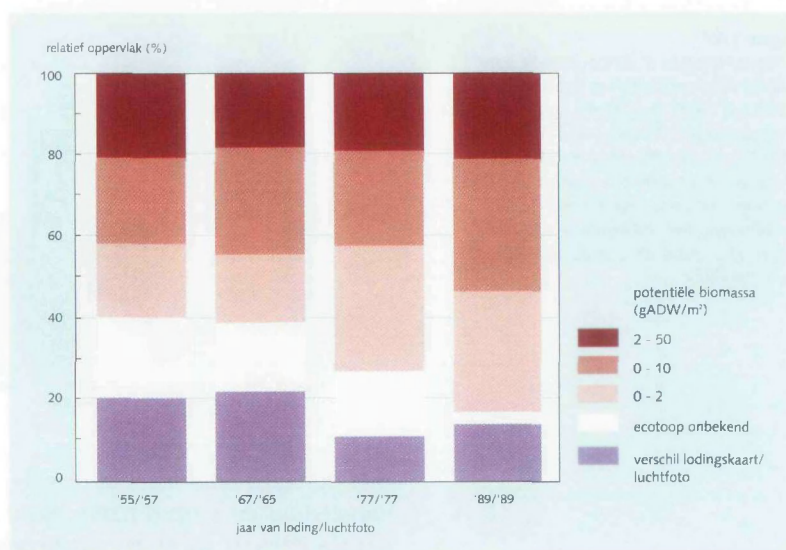
Bodemdieren

Het oostelijk deel van de Westerschelde bevindt zich in de brakke zone van het estuarium. Van nature treden hier grote fluctuaties op in het zoutgehalte, zowel per dag als door het jaar heen, afhankelijk van de getijdencyclus en de zoetwaterafvoer. Onder deze omstandigheden hebben opportunisten een streepje vóór: zij reageren snel op veranderingen in het fysische milieu en bereiken dan tijdelijk hoge aantallen en biomassa. Zo kunnen vrij grote verschillen van jaar tot jaar en van plaats tot plaats binnen het gebied ontstaan. De diversiteit is echter laag vergeleken met het zoete en mariene milieu. Vrijwel alle in het brakke deel van het Schelde-estuarium voorkomende soorten zijn euryhalien. Dat wil zeggen dat ze ook in de meer westelijk gelegen, mariene gebieden voorkomen, maar in andere dichtheden of biomassa's. Ze zijn tolerant voor (incidentele) lage zoutgehaltes. Echte brakwater-soorten zijn hier zeer zeldzaam en mogen ook eigenlijk pas meer stroomopwaarts verwacht worden.

Door middel van een 'hindcast' methode (voorspellen van het verleden) is enig inzicht ontstaan in de veranderingen van het benthos op en rond het platencomplex van Valkenisse. Bij de hindcast is op basis van morfologische kaarten van verleden en heden, en van de relatie tussen het benthos en morfologische kenmerken uit het heden (1990), een schatting gemaakt van biomassa's van bodemdieren in het verleden. Het onderzoek zelf wordt uitgebreider behandeld in par. 2.4.5. Hoewel aan de methode de nodige haken en ogen zitten, heeft de hindcast toch een paar interessante conclusies opgeleverd. Het aandeel van het oppervlak met een hoge biomassa potentie (van 2 tot 50 g ADW/m²) is door de jaren heen niet veel veranderd (figuur 2.4.5). Het aandeel van het oppervlak met een gemiddelde biomassa potentie (0-10 g ADW/m²) is tussen '77 en '89 toegenomen. Het deel met een lage biomassa potentie (0-2 g ADW/m²), was al sterk

Figuur 2.4.5

Relatieve verdeling van bodemdier-biomassa potentieelklassen in het oostelijk deel van de Westerschelde voor de jaren 1955, 1967, 1977 en 1989.



toegenomen tussen '65 en '77, en bleef daarna constant. Vooral in de jaren '57 en '65 is het aandeel van het oppervlak waarover geen uitspraak kan worden gedaan behoorlijk groot (40 procent). Dat komt enerzijds door het ontbreken van informatie over biomassa en anderzijds door het verschil tussen luchtfoto's en lodingskaarten (zie intermezzo 'Van luchtfoto naar ecotopenkaart', par. 2.3.2).

Zoals vermeld in het intermezzo 'Ontwikkeling van de dynamiek van platen en slikken in het oostelijk deel' (par. 2.4.4) nam het laagdynamische, slibrijke gebied in de noordelijke slikken af. Juist dit ecotoop is in potentie het rijkst aan biomassa. Door de uitbreiding van dit ecotoop op de Platen van Valkenisse (echter boven NAP) wordt dit verlies enigszins gecompenseerd.

Watervogels

Het oostelijk deel van de Westerschelde is een vogelgebied van internationale betekenis. Elf soorten overschrijden de 1-procent norm van de Ramsar Conventie (1-procent van een geografisch bepaalde populatie is regelmatig aanwezig): Lepelaar (*Platalea leucorodia*), Rietgans (*Anser fabalis*), Kolkans (*Anser albifrons*), Grauwe Gans (*Anser anser*), Smient (*Anas penelope*), Wintertaling (*Anas crecca*), Pijlstaart (*Anas acuta*), Bontbekplevier (*Charadrius hiaticula*), Zilverplevier (*Pluvialis squatarola*), Rosse Grutto (*Limosa lapponica*) en Zwarte Ruiter (*Tringa erythropus*).

De ontwikkeling van de maximum aantallen in de laatste decennia van de meeste van deze soorten en van de Bergeend (*Tadorna tadorna*) en de Bonte Strandloper (*Calidris alpina*), is één van de aanwijzingen of de veranderingen in ecotopen in dit deel van de Westerschelde (par. 2.4.3.) doorwerken in de fourageermogelijkheden voor deze vogels. Kolkans en Rietgans worden verder niet besproken, aangezien ze vrijwel niet foerageren in het intergetijdegebied.

In de jaren vijftig en zestig vervulde dit gebied voor de meeste soorten dezelfde functie als tegenwoordig (tabel 2.4.6). Ganzen en eenden waren de dominante soorten en steltlopers (behalve de Bonte Strandloper) waren alleen in grote aantallen aanwezig gedurende de voor- of najaarstrek. De Grauwe Gans verbleef slechts in kleine

Tabel 2.4.6

Maximum aantallen van enkele algemene ganzen, eenden en steltlopers in het oostelijk deel van de Westerschelde in de periodes 1950-62 (J. Maebe en H. Van der Vloet, ongepubliceerde data, alleen in Saeftinge), 1980/81-1986/87 (Stuart et al. 1989), en 1987/88-1994/95 (RIKZ, ongepubliceerde data).

Soorten		1950/62*1	1980/81-86/87	1987/88-94/95
Gauwe Gans	winter	120	8200	48000
	herfst	900	950	3186
Bergeend	winter	100	980	1750
	herfst	9500	16300	46000
Wintertaling	winter	2050	2100	1700
Pijlstaart	winter	1400	9000	1700
	herfst	450	1340	650
Bontbekplevier	voorjaar	1500	410	260
	herfst	350	1720	1420
Zilverplevier	voorjaar	200	3730	2150
	herfst	1000	1480	2020
Bonte Strandloper	winter	1750*2	13700*3	4500
	voorjaar	4000	4700	2400
Rosse Grutto	herfst	400	825	640
	voorjaar	200	4950	1600
Zwarte Ruiter	herfst	350	1400	1330

*1 alleen Saeftinge

*2 februari 1952: 8500 noordoever

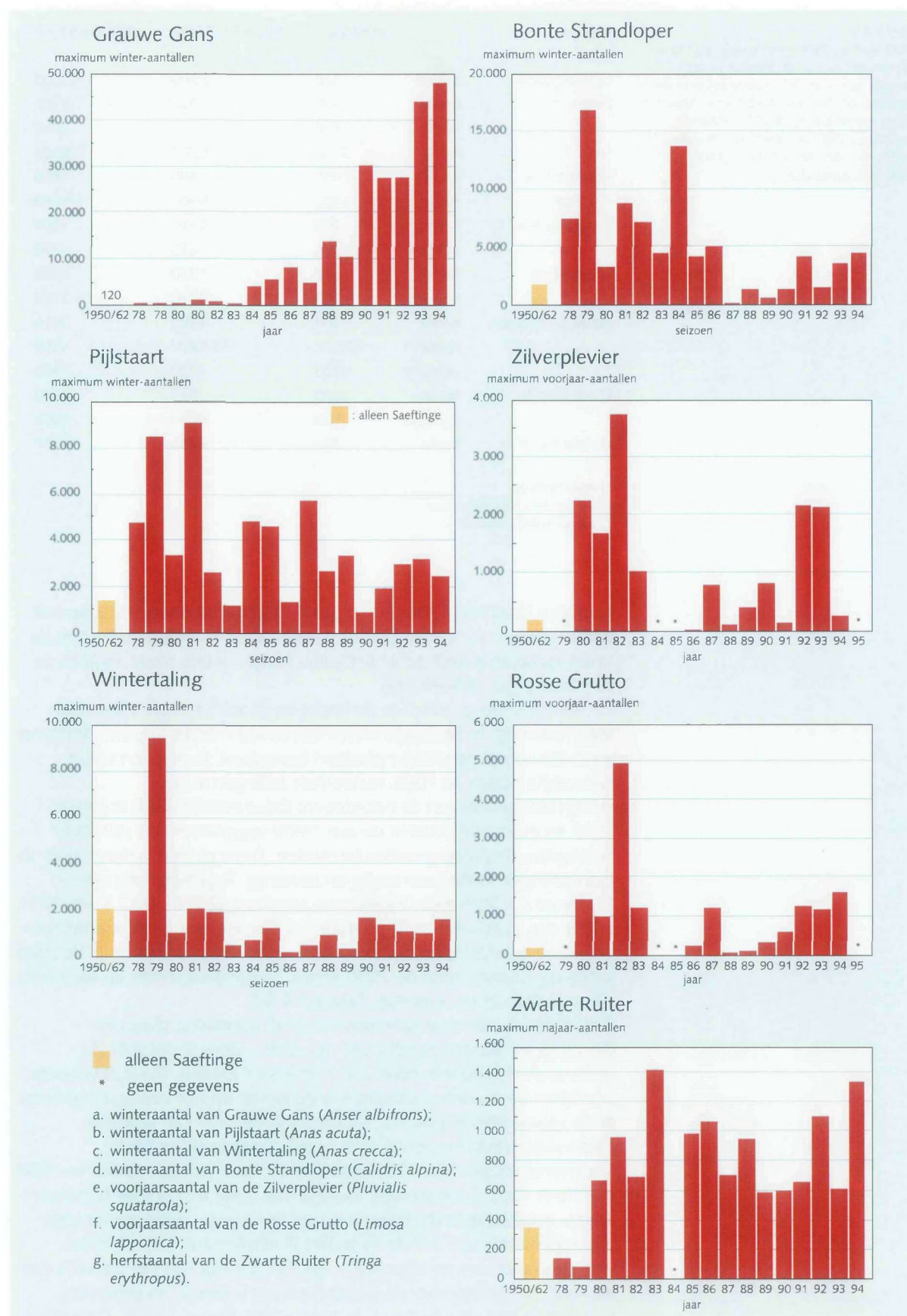
*3 inclusief 8500 noordoever

aantallen (maximaal 200) in het gebied tijdens de doortocht naar het winter- of zomerkwartier (figuur 2.4.6a). Ook in andere delen van de Westerschelde is deze soort sindsdien toegenomen, maar nergens zo spectaculair als in Saeftinge.

De aantallen Bergeenden in de herfst en de winter waren lager dan tegenwoordig. In Saeftinge kwam het aantal Pijlstaarten, een omnivore soort die vooral op slikrijke plaatsen foerageert, in de jaren vijftig nauwelijks boven de 1000. Incidentele tellingen in het intergetijdegebied aan de noordoever (bijvoorbeeld 3100 in januari 1957 en méér dan 1000 in januari 1959) suggereren dat zich daar belangrijke foerageergronden bevonden. Deze gingen verloren door de inpolderingen in de jaren zestig en zeventig. Tegenwoordig zijn in Saeftinge duidelijk meer Pijlstaarten aanwezig (2000-5000; soms 6000-9000) dan in de jaren vijftig (figuur 2.4.6b). Het aantal Wintertalingen varieerde de afgelopen decennia sterk. Het wintermaximum in de jaren vijftig lag meestal rond de 2000 vogels, vergelijkbaar met de situatie in de jaren tachtig en negentig (figuur 2.4.6c).

Steltlopers nemen qua aantallen een ondergeschikte plaats in.

De aantallen Bonte Strandlopers varieerden sterk gedurende de onderzochte perioden (tabel 2.4.6 en figuur 2.4.6d). De laatste zeven jaar lijken de maximaantallen in de winter en het voorjaar lager dan in de voorafgaande periode. De Bontbekplevier is een typische doortrekker en komt vooral voor in het voorjaar en de herfst. Voorjaarsaantallen van 1500 vogels in de jaren vijftig kwamen na 1980 niet meer voor. Toen werden meestal niet meer dan enkele honderden vogels geteld. De herfstmaxima waren in de jaren vijftig echter lager dan tegenwoordig. Ook de aantallen Zilverplevieren waren in het verleden lager dan nu (figuur 2.4.6e). Het belang van het oostelijk deel als voorjaarsstation voor de Rosse Grutto is duidelijk toegenomen, vergeleken met de situatie in de jaren vijftig (figuur 2.4.6f). Dit geldt in dezelfde mate voor de Zwarte Ruiter in de herfst (figuur 2.4.6g).



Figuur 2.4.6

Maximum aantal (herfst, winter of voorjaar) van de kenmerkende overwinterende en doortrekkende vogelsoorten in het oostelijk deel van de Westerschelde (periode 1978-1995).

2.4.5 De relatie tussen bodemdieren en bodemkenmerken

Inleiding

Een hypothese uit de pilotstudie luidde dat er een relatie is tussen de toegenomen bagger- en stortintensiteit, de toegenomen oppervlakten met hoge sedimentdynamiek op de platen en het afnemen van de bodemdierbiomassa, waardoor het oostelijk deel van de Westerschelde voor steltlopers van minder betekenis zou zijn. Deze hypothese was niet te toetsen met historische gegevens. Gegevens over bodemdieren uit de periode vóór 1970 zijn zeer summier en anecdotisch. Het onderzoek van Wolff (1973) is de oudste betrouwbare referentie. Deze gegevens, samen met vrijwel alle tot 1989 uitgevoerde bemonsteringen van macrozoöbenthos, zijn samengevat door Ysebaert en Meire (1991).

In de afgelopen jaren is de hypothese nader onderzocht door historische analyses van ecotopen te combineren met een uitgebreide set van veldwaarnemingen aan bodemdieren. Deze paragraaf vat de resultaten van dit onderzoek samen.

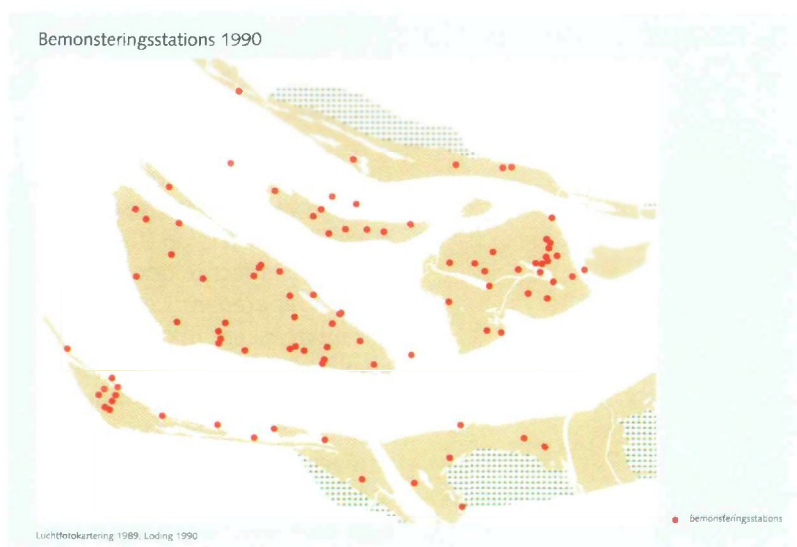
Bodemdieren vormen het stapelvoedsel voor vele soorten watervogels en vissen. Ze zijn aan sediment gebonden. Daarom is hun aanwezigheid niet alleen afhankelijk van factoren als voedselaanbod en waterkwaliteit, maar ook in belangrijke mate van de fysieke gesteldheid van hun woonplaats, het sediment.

Uit diverse onderzoeken blijkt dat bodemdieren zeer gevoelig zijn voor veranderingen in de aard en beweeglijkheid (dynamiek) van het sediment. Deze diergroep kan dus zeer nuttige informatie geven over de relatie tussen ingrepen in de sedimenthuishouding en de respons van het ecosysteem.

Methoden

In september 1990 werden op en rond de platen van Valkenisse van 109 stations de macrofauna en het sediment bemonsterd (figuur 2.4.7), (Coosen en Stikvoort, 1994). Van alle stations werd de hoogte of diepte ten opzichte van N.A.P. vastgesteld. In de sedimentmonsters

Figuur 2.4.7
Bemonsteringsstations Platen van Valkenisse en omgeving.



zijn de volgende parameters bepaald: de fracties zand ($>50\mu\text{m}$) en slib ($<50\mu\text{m}$), kalk, organische stof en oxideerbaar koolstof, de sortering en mediane korrelgrootte (D_{50}). De ruimtelijke verdeling van verschillende geomorfologische karakteristieken over de platen en slikken werd afgeleid uit Huijs (1995). Op die manier werd extra abiotische informatie vergaard over de bodemdynamiek van 99 van de 109 stations: hoog- of laagdynamisch, slibrijk of slibarm.

Teneinde empirische relaties te ontdekken tussen de verspreiding van de bodemdieren en de gemeten omgevingsvariabelen werd een numerieke analyse uitgevoerd (TWINSPAN [Hill, 1979]). Op basis van de soortensamenstelling en de biomassa per soort, werden zo groepen locaties geformeerd. De in deze groepen voorkomende soorten bodemdieren konden als een gemeenschap worden gekarakteriseerd. Vervolgens is onderzocht in welke mate deze groepen van elkaar verschilden in abiotische kenmerken.

Soortenrijkdom en biomassa

Najaar 1990 werden in totaal 39 soorten aangetroffen, waarvan vijf (meer dan) de helft van de stations; dertien soorten werden in minder dan 10 procent van de stations gevonden. Dit aantal was hoger dan in voorgaande studies (Ysebaert en Meire, 1991), maar dit komt zeker ook omdat de totale bemonsterde oppervlakte groter was.

De gemiddelde biomassa per soort was gering: slechts één soort, de draad- of drollenworm *Heteromastus filiformis* had een biomassa van meer dan 1 g ADW/m². De totale gemiddelde biomassa bedroeg 6,2 g ADW/m², waarbij tien soorten 80 procent van dat gemiddelde voor hun rekening namen. Naast *Heteromastus filiformis* waren dat de kokkel (*Cerastoderma edule*), het Nonnetje (*Macoma balthica*), de veelkleurige zeeduizendpoot (*Nereis diversicolor*), de zeepier (*Arenicola marina*), de platte slijkgaper (*Scrobicularia plana*), een kokerwormpje (*Pygospio elegans*), de strandgaper (*Mya arenaria*), het slijkgarnaaltje (*Corophium volutator*) en het kniksprietkreeftje (*Bathyporeia* sp.).

In bijna de helft van de stations was de biomassa laag (< 1 g ADW/m²). Slechts 15 procent van de stations had een biomassa boven de 10 g ADW/m².

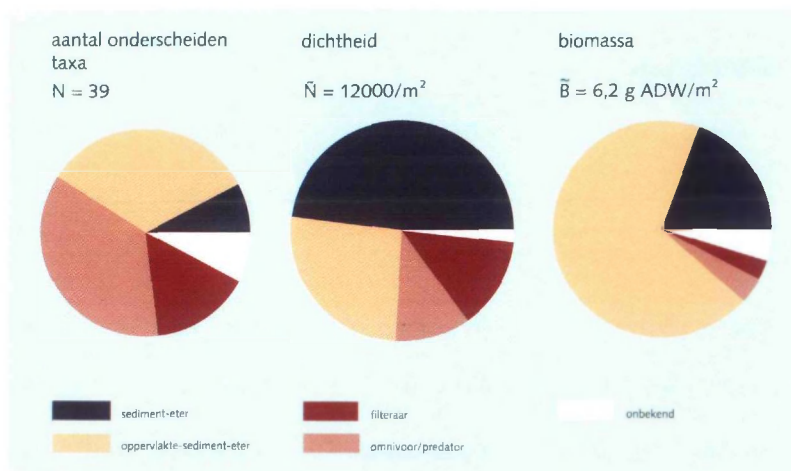
De depositfeeders, inclusief oppervlakte depositfeeders zoals *Macoma balthica* en *Pygospio elegans*, hadden verreweg het grootste aandeel in de bodemfauna (figuur 2.4.8). De dichtheid van filterfeeders zoals *Cerastoderma edule* was beperkt, evenals hun bijdrage aan de gemiddelde biomassa.

Gemeenschapsstructuur

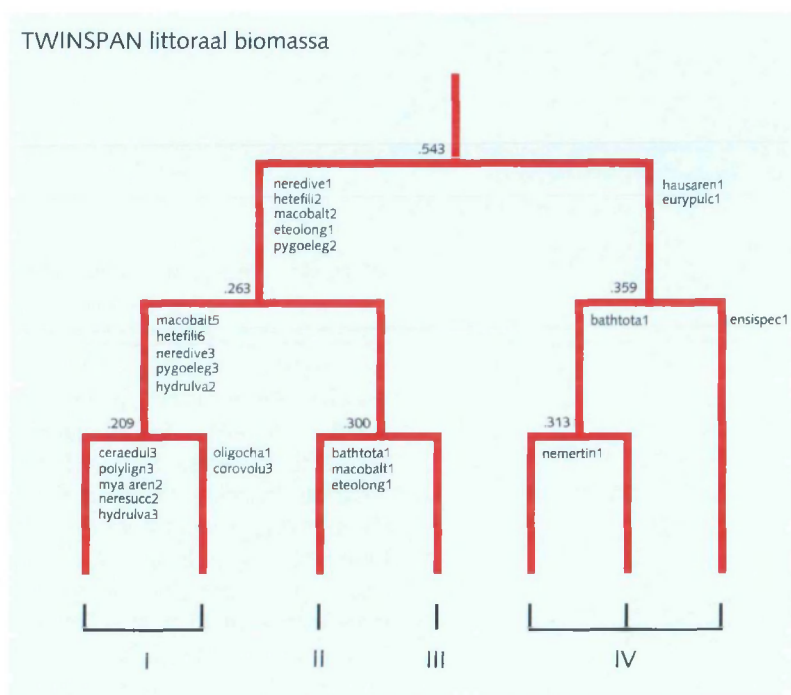
Analyse van dichtheids- en biomassa-data van alle locaties leverde vier duidelijke clusters op (figuur 2.4.9). Eén groep locaties (cluster IV) onderscheidde zich door de aanwezigheid van soorten als de kreeftjes *Haustorius arenarius* en *Eurydice pulchra*. Dit cluster werd gekarakteriseerd door een lage gemiddelde biomassa en een lage gemiddelde dichtheid. Op de andere locaties waren de dominante soorten: *Heteromastus filiformis*, *Nereis diversicolor*, *Macoma balthica*, *Eteone longa* en *Pygospio elegans*. Die locaties werden verdeeld in een cluster (I) met een hoge biomassa van deze soorten samen met het wadslakje (*Hydrobia ulvae*), en een cluster (II) met een lage biomassa van dezelfde soorten. Cluster I onderscheidde zich

Figuur 2.4.8

Aandeel van de verschillende voedseltypen in het aantal taxa, dichtheid en biomassa.

**Figuur 2.4.9**

Dendrogram van TWINSpan clusters, gebaseerd op biomassa-data, met de kensoorten.



daarnaast nog van cluster II door het meer frequent voorkomen van *Oligochaetes*, *Mya arenaria*, *Cyathura carinata*, *Polydora ligni* en *Nereis succinea*. In de locaties van cluster III werden weinig soorten gevonden.

TWINSpan-cluster	I	II	III	IV
gem. hoogte ($\pm$ SD) m tov NAP	+ 0.5 ($\pm$ 0.8)	0 ($\pm$ 0,9)	-1.0 ($\pm$ 1.0)	-0.6 ($\pm$ 1.2)
range in hoogte m tov NAP	-0.5 ~ 1.0	-1.5 ~ 1.0	-2.0 ~ 0	-2.0 ~ 0.6
mediaan ($\pm$ SD) [μ m]	119 ($\pm$ 31)	166 ($\pm$ 32)	103 ($\pm$ 38)	220 ($\pm$ 26)
slib < 50 μ m ($\pm$ SD) %	8.5 ($\pm$ 6.9)	3.0 ($\pm$ 1.9)	30 ($\pm$ 15)	1.6 ($\pm$ 0.9)
geomorfologische type % van de locaties	laag dynamisch slibarm (29) en slibrijk (70)	laag dynamisch (51) hoog dynamisch (42)	laag dynamisch (83)	hoog dynamisch (81)

Tabel 2.4.7

Range en gemiddelde (met Standaard Deviatie) van de hoogte, D50, het slibgehalte (< 53 μ m) en de verdeling van de geomorfologische eenheden per TWINSpan cluster.

De clusters verschilden aanzienlijk in abiotische condities (tabel 2.4.7). Cluster III was samengesteld uit locaties met een zeer slibrijk sediment. De aanwezigheid van de boormossel *Petricola pholadiformis* vormde een duidelijke aanwijzing dat deze locaties zich bevonden in klei- of veenbanken. De locaties van cluster IV hadden bijna allemaal een zandig sediment (hoge mediane korrelgrootte).

De laatste rij van tabel 2.4.7 bevat de informatie van de luchtfotokartering. De dynamische aard van de locaties van cluster IV werd bevestigd door het hoge percentage van het geomorfologische type met megaribbels en steile kanten. Cluster I daarentegen werd gedomineerd door locaties met een laagdynamisch, vlak voorkomen, in meerderheid met een slibrijke bodem.

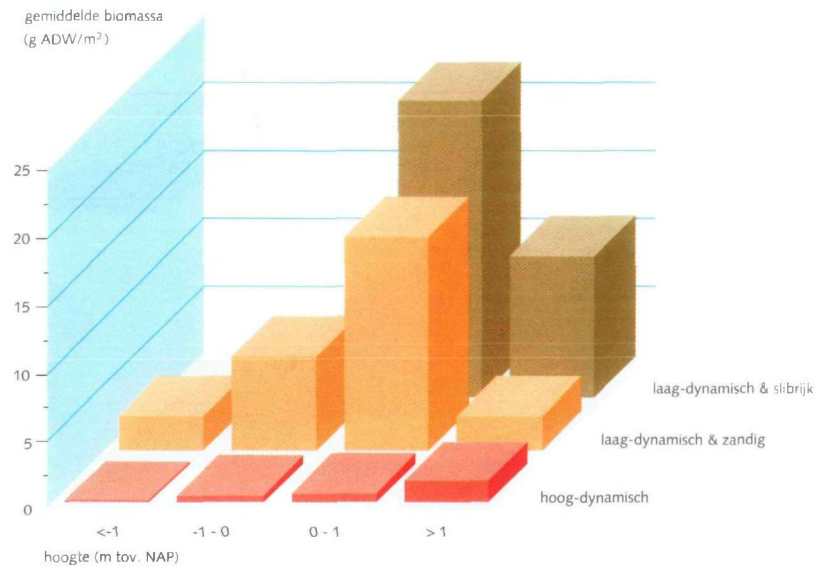
De dominantie van bepaalde geomorfologische eenheden in bepaalde clusters wijst op een verband tussen de morfologisch te onderscheiden ecotopen en de biomassa van de bodemdieren. De biomassawaarden, gevonden in hoog- of laagdynamische locaties, verschilden significant van elkaar (het hoogdynamische ecotoop: < 2 g ADW/m²; het laagdynamische ecotoop: 1 tot 50 g ADW/m²). Minder duidelijk is of binnen het laagdynamische ecotoop de slibrijke locaties verschilden van de slibarme en of de boven N.A.P. gelegen locaties verschilden van de onder N.A.P. gelegen locaties.

Figuur 2.4.10 suggereert een dergelijk onderscheid wel, maar de verschillen zijn niet significant. De gemiddelde biomassa waarde van locaties in het slibrijke ecotoop was 13 - 23 gADW/m², afhankelijk van de hoogte. In het slibarme ecotoop werd <5 - 16 gADW/m² gevonden. Toch is het mogelijk een verschil in biomassa-range aan te geven per ecotoop (tabel 2.4.8).

Het verleden voorspeld: biomassa kaarten van 1955 en 1990.

De biomassa-ranges per ecotoop zijn gebruikt om biomassakaarten te construeren voor de situatie van 1990 (figuur 2.4.11) en die van 1955 (figuur 2.4.12). Theoretisch kan iedere combinatie van morfologische

Figuur 2.4.10
Gemiddelde biomassa ($\pm$ SD) in drie
ecotopen, opgedeeld in hoogte-zones.



Tabel 2.4.8
Variatie in biomassa (gevonden in najaar
1990) per ecotoop in het oostelijk deel van
de Westerschelde. N = aantal locaties; B =
biomassa in g ADW/m²

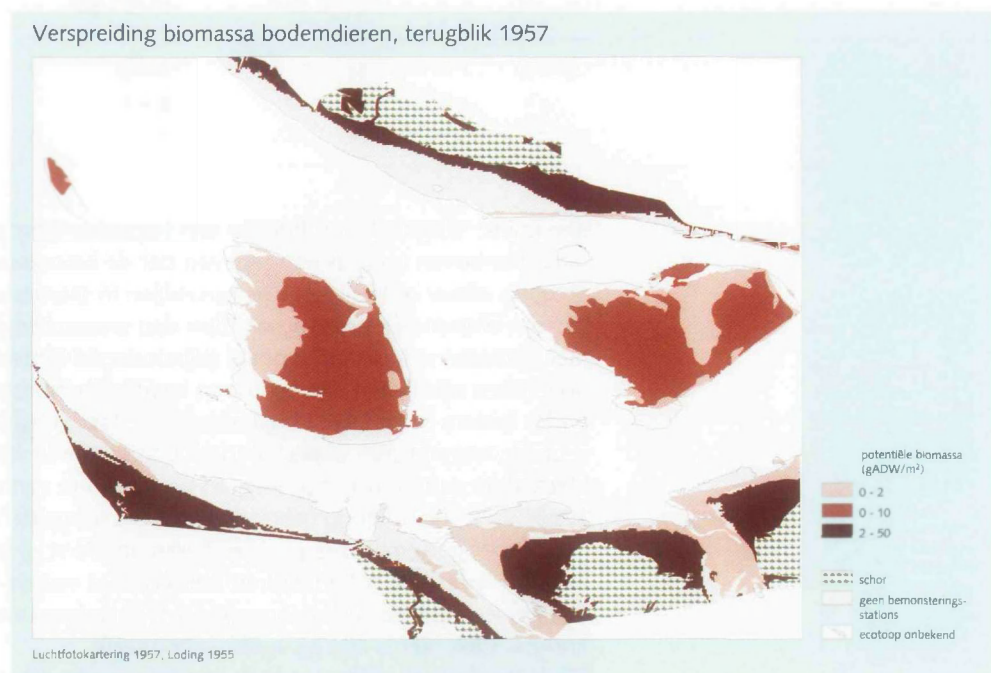
hoogte (m tov NAP)	geomorfologische eenheid (= ecotoop)		
	hoog dynamisch	laag dynamisch	
		slibrijk	slibarm
+2 ≈ 0	N = 17 B = 0 - 2	N = 31 B = 2 - 50	N = 11 B = 0 - 10
0 ≈ -2	N = 22 B = 0 - 2	N = 0 B = ?	N = 10 B = 0 - 10

dynamiek, slibgehalte en hoogte een bepaalde biomassa opleveren, maar hierboven is reeds aangegeven dat de biomassawaarden per ecotoop elkaar overlappen. De verschillen in biomassa tussen de locaties binnen één ecotoop worden dan waarschijnlijk door andere, niet gemeten variabelen bepaald (bijvoorbeeld bodembewegelijkheid). Bovendien zijn niet in alle ecotopen locaties bemonsterd. Dit komt onder andere omdat het laagdynamische, laaggelegen, slikrijke ecotoop maar in zeer beperkte mate voorkwam in 1990. Juist dit type bleek sterk achteruit te zijn gegaan ten opzichte van de situatie in 1955. Voor dat ecotoop is het daarom niet mogelijk 'terug te blikken'. Het eerder gesignaleerde probleem van het verschil in diepte/hoogte in het veld tijdens de fotovlucht en het moment van de loding, leverde een gebied op waar wel een ecotoop-type bekend was, maar geen hoogte. Ook hier is een terugblik onmogelijk. Ondanks deze handicaps is toch een verspreidingskaart van biomassa gemaakt voor 1955 (figuur 2.4.12). Duidelijk is te zien dat de westelijke platen van Valkenisse vroeger (potentieel) veel minder biomassa bevatten dan in 1990. De biomassa van de lagere delen van de slikken van Waarde en Baalhoek is niet goed aan te geven.



Figuur 2.4.11

Verspreiding van biomassa op de Slikken van Waarde, Bath, Baalhoek en Saeftinghe en de Platen van Valkenisse in 1990.



Figuur 2.4.12

Biomassa in potentie aanwezig op de Slikken van Waarde, Bath, Baalhoek en Saeftinghe en de Platen van Valkenisse in 1955.

2.4.6 In welke mate verarmt de Westerschelde?

Hebben de veranderingen in het getij en de morfologie geleid tot een vermindering van belangrijke estuariene ecotopen en van biodiversiteit?

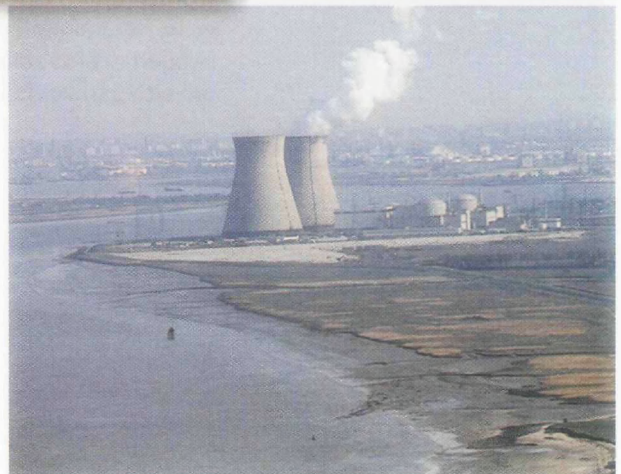
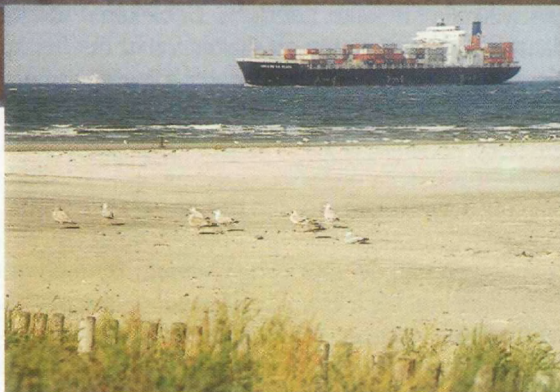
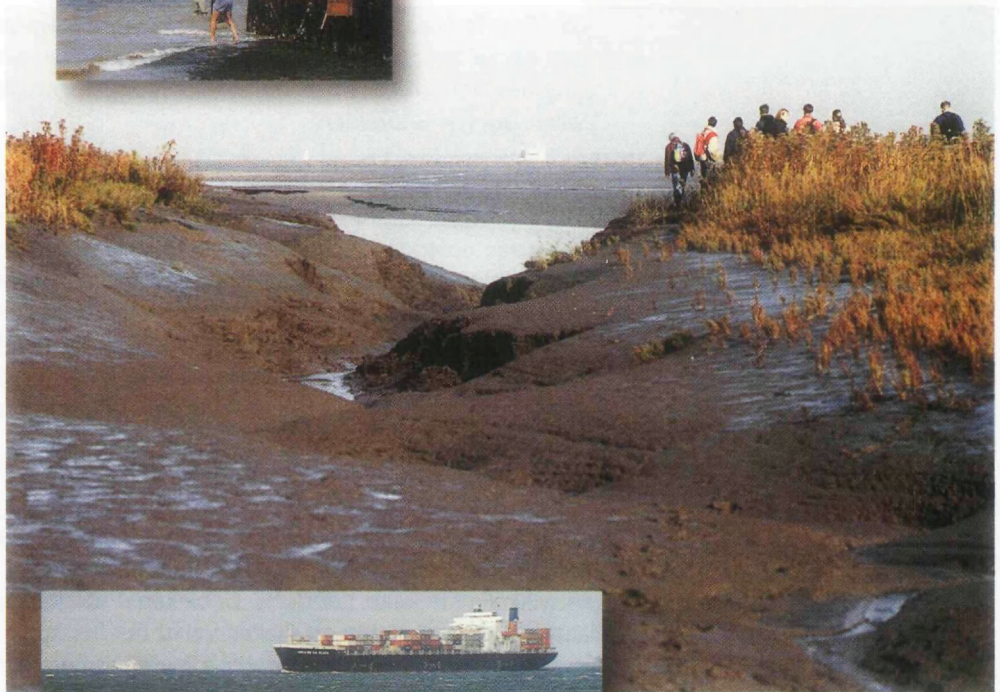
De chemische vervuiling en de zuurstofarmoede van water en bodem zullen ongetwijfeld van invloed zijn (geweest) op de biodiversiteit, vooral in het uiterste oostelijke deel, tegen de Vlaams/Nederlandse grens. In de nu volgende conclusies wordt die invloed niet meegenomen.

Van de in het westen gelegen, zoute schorren is weinig meer over. Ook nieuw (jong) schor wordt nog maar op enkele plekken aangetroffen. Wel zijn zich op enkele hooggelegen platen *Spartina*-pollen aan het uitbreiden.

Het areaal aan zoute schorren bedroeg in 1990 circa 160 ha. Dat is circa 6 procent van het totale schorareaal en 0,5 procent van het totale areaal aan ecotopen (geulen, platen, ondiep watergebied, slikken en schorren). In 1960 waren deze percentages 17, respectievelijk 2 procent. Na 1960 zijn vrijwel alle schorranden gaan eroderen. Deze ontwikkelingen betekenen een verarming, want variatie is juist een kenmerk van het estuarium: zoute, brakke en zoete schorren gekoppeld aan de zoutgradiënt en in verschillende stadia van successie.

In het intergetijdegebied is de ontwikkeling van laagdynamische slibrijke gebieden van belang, omdat dit ecotoop potentieel het rijkst is aan bodemdieren (stapelvoedsel voor vele soorten watervogels en vissen). Voor het oostelijk deel van de Westerschelde is deze ontwikkeling in kaart gebracht. Gebleken is dat het oppervlak laagdynamische platen en slikken vanaf het begin van de waarnemingen (1935) voortdurend is afgenomen. Het aandeel van de slikrijke ecotopen in het intergetijdegebied daalde van circa 65 procent in 1957 tot circa 40 procent in 1989.

Geconcludeerd kan worden dat de veranderingen in de oppervlakte van ecotopen (vooral in het oostelijk deel) een soort 'verstarring' te zien geven van de voor een estuarium kenmerkende natuurlijke ontwikkeling. De leefomstandigheden voor planten en dieren veranderen daarmee ook. De ontwikkelingen bij de hogere organismen (vogels en vissen) zijn complex en blijken niet alleen gestuurd te worden door fysische randvoorwaarden. Op basis van de algemene ecosysteemtheorie dat complexe systemen meer adaptief vermogen hebben, wordt aangenomen dat de ruimte voor hogere organismen om zich aan verdere verstarring aan te passen, is afgenomen.



Hoofdstuk III:

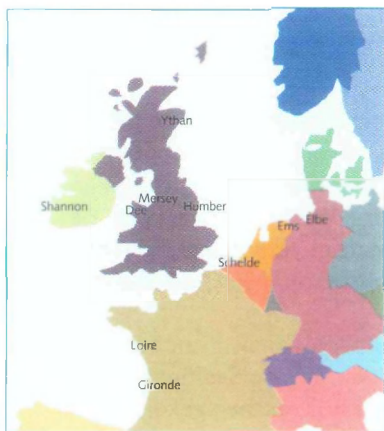
Het verband tussen de toestand van de Westerschelde en het maatschappelijk gebruik van het estuarium

De toestand van de Westerschelde is in de loop van de jaren veranderd. Dat is in het vorige hoofdstuk vastgesteld, in belangrijke mate aan de hand van waarnemingen in het veld. In dit hoofdstuk zijn het de menselijke ingrepen in het estuarium die centraal staan. Met het oog op de huidige en toekomstige beleidsontwikkeling is antwoord nodig op de volgende vragen uit de centrale probleemstelling in dit project (zie hoofdstuk 1):

1. Wat zijn de oorzaken van de veranderingen in de toestand van de Westerschelde? Meer specifiek: in welke mate hebben menselijke ingrepen aan de veranderingen bijgedragen?
2. Vormen de veranderingen een bedreiging voor het estuarium?

3.1 De ingrepen en hun effecten op het estuariene systeem

Onder het verzamelbegrip 'menselijke ingrepen' vallen activiteiten als inpolderingen, vaargeulverdieping, vaargeulonderhoud en zandwinning. Alvorens in te gaan op de vraag naar de invloed van deze activiteiten op de toestand van de Westerschelde, is een beter zicht nodig op de mate waarin mensen in het estuarium ingrijpen. Daartoe is het menselijk gebruik van de Westerschelde vergeleken met dat in andere estuaria in Noordwest-Europa (figuur 3.1.1). De ingrepen en hun effecten zijn onderling in tijd en ruimte tegen elkaar afgezet.



Figuur 3.1.1
De estuaria in Europa die als referentie zijn gekozen.

Een vergelijking met andere estuaria

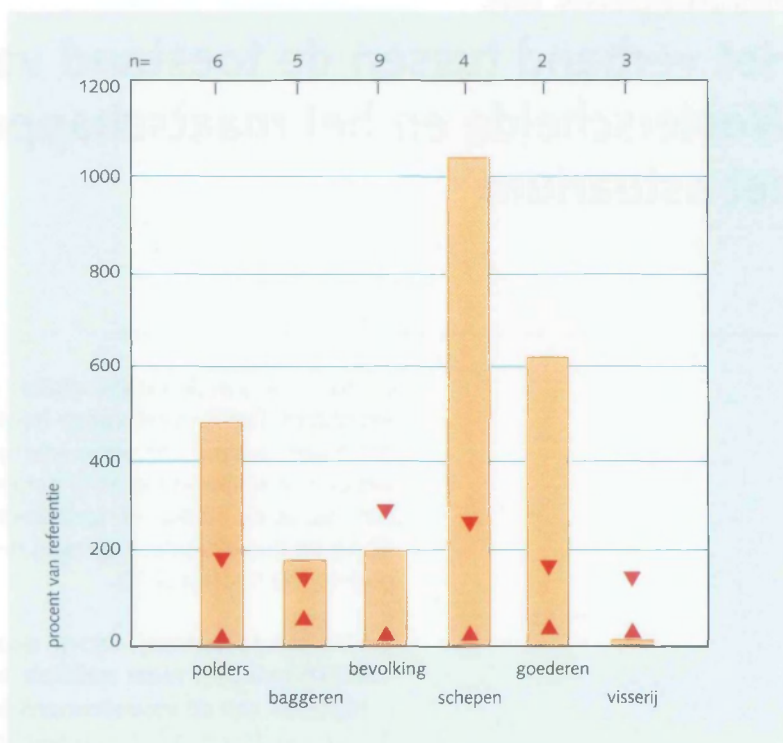
De Westerschelde wordt sterk beïnvloed door de wijze waarop mensen er voor verschillende doeleinden gebruik van maken. Dat blijkt uit een vergelijking met andere estuaria in Noordwest-Europa (figuur 3.1.2, Cadée, 1994). In vergelijking met de referenties is in de Westerschelde de mate van inpoldering, baggeromvang en scheepvaartintensiteit zeer hoog; de bevolkingsdichtheid is relatief hoog; visserij lijkt relatief onbelangrijk. Over de recreatie-intensiteit is wegens gebrek aan gegevens nog geen uitspraak mogelijk. Alle parameterwaarden, behalve die voor visserij, liggen boven de honderd procent. Voor inpolderingen, baggeromvang, scheepvaartintensiteit en goederenoverslag liggen ze zelfs boven de range van de referenties.

Tijd- en ruimteschalen van de ingrepen en hun effecten

Bij het bekijken van de effecten van ingrepen op het estuarium dient men zich te realiseren dat tijd en ruimteschalen sterk verschillen, zowel wat betreft de ingrepen als de opgetreden veranderingen. Inpolderingen zijn al eeuwen aan de gang en zijn langs het hele

Figuur 3.1.2

'Amoebe' voor menselijke beïnvloeding. Het gemiddelde van de referentie in figuur 3.1.2 is 100% op de Y-as, minimum en maximum zijn met zwarte driehoekjes weergegeven. De witte staven zijn de parameterwaarden voor het Schelde-estuarium, uitgedrukt in een percentage van het gemiddelde van de referenties. Boven de grafiek staat een n-waarde die aangeeft over hoeveel referenties het gemiddelde is berekend.



systeem uitgevoerd. De inpolderingen hebben het Schelde-estuarium zijn huidige vorm gegeven. Binnen deze opgelegde grenzen voltrekken zich de huidige natuurlijke ontwikkelingen en de ingrepen welke omstreeks 1960 aanzienlijk zijn geïntensiveerd: de vaargeulverdieping, het baggeren en storten en de zandwinning. Deze ingrepen manifesteren zich met name in het oostelijk deel. In dit deel van de Westerschelde zijn de morfologische veranderingen in hoge mate onnatuurlijk (par. 2.3.4). In het midden- en het westelijk deel is het minder goed mogelijk om de morfologische ontwikkelingen te koppelen aan de ingrepen; in dit deel van het estuarium is de beïnvloeding blijkbaar minder sterk in verhouding tot de natuurlijke morfologische veranderingen.

Inpolderen

Langs de Westerschelde zijn in de afgelopen eeuwen grote gebieden ingepolderd. Van het hele estuarium is in vergelijking met 1600 nog slechts de helft over. Na 1930 is nog zo'n 4000 ha ingepolderd en aan de Westerschelde onttrokken, waarvan 1450 ha zelfs na 1960. De belangrijkste inpolderingen vonden plaats in voormalige zijarmen van het estuarium: het Sloe, de Kaloot, de Braakman en Ossendrecht (zie intermezzo 'Poldermozaïek').

Door de inpolderingen is het landschappelijk aanzien van het estuarium veranderd. Weidse schor- en slikgebieden zijn, op Saeftinge na, verdwenen. Hiervoor in de plaats is cultuurlandschap gekomen.

Inpolderen leidde tot verlies aan ruimte in het estuarium. Het getij kan niet meer worden geborgen in de ingepolderde gebieden. Hierdoor is de getijdoordringing veranderd. De getijgolf plant zich sneller voort door het estuarium en het getijverschil en de hoogwaterstanden zijn

toegenomen. Het gebied waarbinnen de hoofdgeul zich vrij kan bewegen is kleiner geworden. In de afgelopen twee eeuwen is de hoofdgeul hierdoor steeds meer vastgelegd op de plaatsen waar de geul de dijk ontmoette. Als gevolg hiervan is de grootschalige morfologische dynamiek afgenomen. Door het uitbochten van de hoofdgeul tot aan de randen van het estuarium en de afname in grootschalige dynamiek, is voor de platen tijd en ruimte ontstaan om te groeien.

Door de inpolderingen zijn jonge en zoute schorren schaars geworden. Mede door het rechtekken van de dijken zijn er nauwelijks nog luwteplekken waar zich nieuwe slikken en jonge schorren kunnen vormen. Het natuurlijk broedbiotoop van enkele kustbroedvogels is gedeeltelijk vervangen door meer kunstmatige gebieden (natuurbouw Hooie Platen, sluiscomplex Terneuzen, dijkversterkingsgebieden). In het westelijke deel is het aantal plantenetende vogels gedaald als gevolg van het verdwijnen van de schorren aldaar.

Verdiepen en baggeren

Het verdiepen en vervolgens op diepte houden van de vaarweg vindt plaats op de drempels in de vaargeul en ad hoc in scherpe binnenbochten. Door het verdiepen van de drempels gaat meer water door de hoofdgeul stromen ten koste van de nevengeul(en). De stroomsnelheden nemen toe. Dat leidt tot erosie en verruiming van de geul tussen de drempels. Na enige tijd heeft de geul zich aangepast aan de grotere getijvolumina. Dit aanpassingsproces duurde na de vorige verdieping ongeveer vijftien jaar. Gedurende die tijd was veel onderhoudsbaggerwerk nodig. Per jaar werd zo'n 12 tot 14 miljoen m³ zand gebaggerd. Nadat het nieuwe evenwicht tussen het toegenomen getijvolume en het geulprofiel was ontstaan, nam het onderhoudsbaggerwerk af tot de huidige 8 miljoen m³ per jaar (figuur 3.1.4).

In het algemeen kan worden gesteld dat het verdiepen en baggeren de morfologische ontwikkelingen die in gang zijn gezet door de inpolderingen verder versterken. Door de inpolderingen is het gebied waar het water kan worden geborgen kleiner geworden, terwijl door het verdiepen de hoofdgeul groter is geworden. Beide veranderingen in de geometrie leiden ertoe dat de getijgolf zich sneller voortplant en dat de hoogwaterstanden en het getijverschil toenemen.

Figuur 3.1.4
Tijdsverloop van de baggerinspanning in de Westerschelde.



Door de 'zachte regulatie' is in het oostelijk deel van de Westerschelde het patroon van een meergeulensysteem minder duidelijk geworden. Dat hoofd- en nevengeul nog van functie wisselen, dat wil zeggen dat de nevengeul zich tot hoofdgeul ontwikkelt en omgekeerd, is hierdoor niet meer waarschijnlijk.

Ook de geulen die de hoofd- en nevengeul verbinden, de zogenaamde kortsluitgeulen, zijn minder actief geworden. Hiermee wordt het proces van verlanding versterkt. Platen groeien aaneen tot plaatcomplexen en nemen toe in hoogte.

Door de plaatgroei en de toegenomen afmetingen van de hoofdgeul is het areaal ondiep watergebied sterk verminderd. Doordat bij gebrek aan morfologische dynamiek de patronen gehandhaafd zullen blijven (morfologische 'verstarring') is deze vermindering in het oostelijk deel blijvend. Meer water door de hoofdgeul betekent ook dat deze verder

Poldermozaïek

Langs de Westerschelde is sinds de 11e eeuw 125.000 ha ingepolderd, een gebied dat vier keer zo groot is als het huidige buitendijkse oppervlak (zie figuur 3.1.3). De eerste inpolderingen betroffen voornamelijk relatief hoogliggend land en gemakkelijk af te

dammen kreken. Door de groei van technische mogelijkheden en kennis, en vooral door de aanleg van stenen taluds, konden ook lagere slik- en schordelen worden ingepolderd. Dat ging niet zonder slag of stoot en sommige bedijkte gebieden zijn meermalen overstroomd. Daardoor zit er vaak een verschil tussen het tijdstip van de eerste inpoldering en de definitieve bedijking. Vooral na 1600 zijn veel gebieden permanent ingepolderd. Het areaal aan ingepolderde gebieden steeg snel door bedijking van de 'Brede Watering bewesten Yerseke' in Zuid-Beveland in 1530 en de aanleg van grote polders langs de Braakman, het Hellegat en Saeftinge. De laatste grote inpoldering in de Westerschelde vond plaats bij Ossendrecht en dateert van 1976.

Gebied	Oppervlak
Walcheren	21435
Zuid-Beveland	34794
Zeeuws Vlaanderen west	33953
Zeeuws Vlaanderen oost	35540

Tabel 3.1.1

Totaal ingepolderd gebied sinds 1100 rond de Westerschelde (ha).

Periode	Sloe/Kaloot	Braakman	Hellegat	Saeftinge	Ossendrecht
1800-1850	96	2434	54	1639	-
1850-1900	518	1394	409	1061	1515
900-1950	481	835	132	316	620
1950-1995	200	1525	-	-	890
Totaal	1295	6188	595	3016	3025

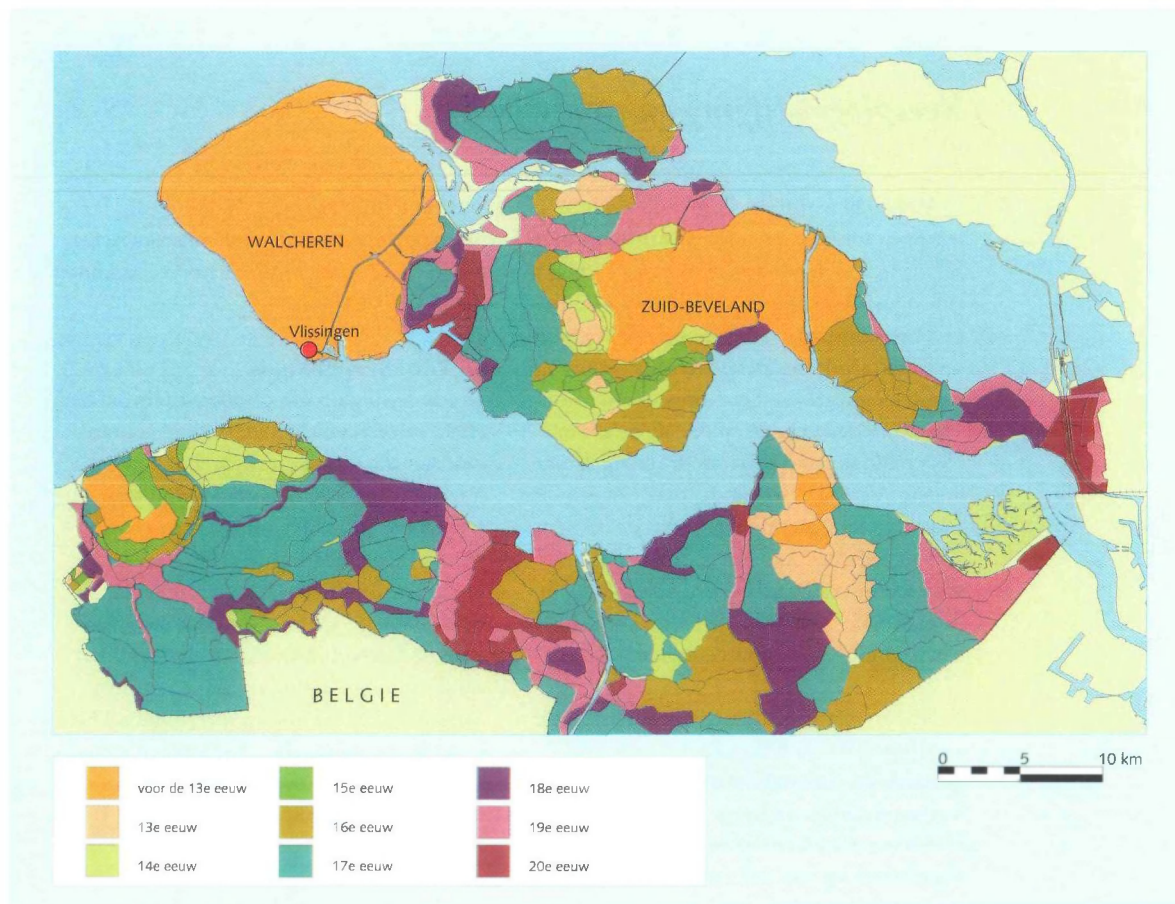
Tabel 3.1.2

Totaal ingepolderd gebied van enkele belangrijke gebieden rond de Westerschelde (ha). (bron: Mol, G., 1995).

wil uitbochten, waardoor de druk op de slikken en schorren, die ingeklemd liggen tussen de hoofdgeul en de dijk, groter wordt. Als de slikken en schorren niet verdedigd worden eroderen ze.

Storten

Enkele decennia geleden werd bij voorkeur gestort in de nevengeulen zoals de Schaar van de Noord en de Schaar van Waarde. Deze hebben echter een beperkte bergingscapaciteit waardoor het storten meer en meer is verschoven naar de hoofdgeulen. Sinds de tweede helft van de jaren zeventig wordt daar ongeveer 3/4 van het totaal gestort. In tegenstelling tot het baggeren lijkt het storten nauwelijks (direct) effect te hebben op het getij. Zo zijn de vele miljoenen kubieke meters zand die in de buitenbochten zijn gestort, vrijwel geheel door de getijstrooming naar andere delen van het estuarium getransporteerd (Storm, 1996). Stortingen zorgen wel voor een extra aanbod van



Figuur 3.1.3
Inpolderingen langs de Westerschelde in de afgelopen eeuwen.

sediment, waardoor natuurlijke sedimentatiegebieden, zoals bijvoorbeeld de kreken en het schor in het Land van Saeftinge, versneld kunnen worden opgevuld. In feite is dit ook gebeurd in de nevengeulen zoals de Schaar van de Noord en de Schaar van Waarde. Als gevolg van de zachte regulering namen de debieten in deze geulen af waardoor de geulen in verhouding tot het getijvolume te ruim werden. Zo ontstond ruimte om het sediment te bergen.

Ook is sediment terecht gekomen in de kortsluitgeulen en op de platen. Naarmate de platen hoger werden vormden ze rustige voedselrijke gebieden, die het verlies aan laag op de plaat gelegen voedselrijke gebieden opvangen. Er heeft zich dus een functieverhuizing voorgedaan van het lage (beneden NAP) naar het hoge deel van het intergetijdegebied.

Zandwinnen

Tot begin jaren negentig is vooral zand gewonnen in het gebied ten westen van Terneuzen. In totaal is sinds 1955 ca. 100 miljoen m³ zand aan het estuarium onttrokken. Door sedimentimport vanuit het

Zeespiegelstijging en zandwinning

Verwacht wordt dat de gemiddelde temperatuur de komende eeuw met circa 2°C zal toenemen. Door deze temperatuurstijging zullen gletsjers smelten. Tegelijkertijd zullen oceanen als gevolg van de hogere temperatuur uitzetten. Door toedoen van beide factoren zal de zeespiegelstand met ongeveer 0,55 m stijgen. De relatieve zeespiegelstijging is in Nederland nog iets hoger door daling van de bodem. Verwacht wordt dat over een eeuw de relatieve zeespiegelstijging tussen de 0,35 en 0,85 m bedraagt, met een gemiddelde verwachting van 0,60 m. Ter vergelijking: in de afgelopen eeuw is in Nederland een stijging van 0,15 tot 0,20 m waargenomen.

Bij een relatieve stijging van de zeespiegel (van bijvoorbeeld 60 cm/eeuw) zullen de gemiddelde hoogwaterstanden en gemiddelde laagwaterstanden in het gehele estuarium toenemen. Ook kan een toename van het getijverschil en van de loopsnelheid worden verwacht, als door de grotere gemiddelde diepte de weerstand die de getijgolf ondervindt afneemt. Dit effect zal vooral sterk zijn in de 'vloedkom' bovenstrooms van Antwerpen. Afhankelijk van de sedimentuitwisseling tussen de Westerschelde

en het mondingsgebied, die gezien de onzekerheden als een onafhankelijke factor wordt meegenomen, zijn meerdere varianten denkbaar.

Variant status quo

Als de stijging van de hoogwaters (en het effect van een efficiëntere vulling) gepaard gaat aan een even grote ophoging van het intergetijdegebied, dan zal de komberging niet toenemen. De getijvolumina in de geulen blijven bij benadering gelijk. Gezien de grotere geulprofielen zal een zandtekort ontstaan in de geulen. Hierdoor moet zowel voor de intergetijdegebieden als de geulen zand vanuit het mondingsgebied worden aangevoerd. Deze import is zeer globaal het produkt van oppervlak (350 km²) en relatieve zeespiegelstijging (6 mm/jaar), dus circa 2 miljoen m³ sediment per jaar (zonder zandwinning).

Variant geremde uitruiming

Als de Westerschelde (netto) geen sediment importeert, dan zal de gemiddelde diepte van het bekken toenemen met de grootte van de zeespiegelstijging. Hierdoor zal in eerste instantie de komberging boven het

mondingsgebied is de totale inhoud van het estuarium met slechts 15 tot 20 miljoen m³ verruimd, ofwel een toename van de gemiddelde diepte van 0,06 m. De effecten van de zandwinning op systeemniveau zijn hierdoor zeer beperkt. Doordat het geïmporteerde sediment in het westelijk deel is geborgen, het deel waar ook de zandwinning heeft plaatsgevonden, zijn hier geen effecten van zandwinning waarneembaar. Hieruit kan echter niet de conclusie worden getrokken dat zandwinning een onbelangrijke ingreep is. Op een termijn van een eeuw kan zandwinning een doorslaggevende rol gaan spelen in de morfologische ontwikkeling van het estuarium. Het is namelijk een ingreep die het estuarium steeds iets groter maakt en daarmee continu dezelfde richting op werkt. Dit geldt uiteraard alleen als de zandwinning de import vanuit het mondingsgebied overstijgt, wat het geval is geweest in de afgelopen drie decennia. Ook de relatieve zeespiegelstijging is een proces dat op korte en middellange termijn beperkte invloed lijkt te hebben, maar op lange termijn belangrijk kan worden. Ook door stijging van de zeespiegel neemt de inhoud van het estuarium toe. Dat versterkt dus de effecten van zandwinning.

intergetijdegebied groter worden. De getijgolf zal zich sneller voortplanten en daarmee zullen ook de getijvolumina toenemen. De geulen zullen zich aanpassen aan de grotere getijvolumina en een groter geulprofiel aan-nemen. Het eventuele sedimentoverschot dat daardoor ontstaat zal (deels) op platen en slikken worden afgezet. Als de sedimentatie in het intergetijdegebied significant is, wordt een deel van de toename van de komberging weer teniet gedaan. Daardoor wordt het effect van zeespiegelstijging enigszins gereduceerd. Op termijn ontstaat een estuarium met (steeds) ruimere geulen en een hoger intergetijdegebied.

Variant uitruiming

Als de herverdeling van sediment van de geulen naar het intergetijdegebied niet van die orde is dat de toename in getijvolumina wordt geremd, dan zal het estuarium gemiddeld steeds dieper worden. De Westerschelde zal uitruimen tot het moment dat een verdere stijging van de gemiddelde waterdiepte niet meer leidt tot een sterkere getijdoordringing.

Variant verlanding

Het estuarium importeert meer sediment dan nodig is ter compensatie van het effect van zeespiegelstijging en zandwinning samen. Intergetijdegebieden hogen op, de

komberging neemt af en de geulen passen zich aan de kleinere getijvolumina aan.

De Westerschelde zal bij gelijkblijvende zeespiegelstijging - en zeker bij het versnelde scenario - zand vanuit het mondingsgebied moeten importeren om het dynamisch evenwicht tussen getijdoordringing en geometrie te handhaven. De belangrijkste onzekere variabele hierin is de beschikbaarheid van sediment in de kustzone. Die wordt onder andere beïnvloed door:

- a) het vaargeulonderhoud in het mondingsgebied,
Het effect op de beschikbaarheid van sediment is waarschijnlijk negatief omdat in de verruimde geul zelf veel sediment zal bezinken ('sedimentval').
- b) het soort kustbeheer.
Strandsuppleties zorgen voor extra sediment als het wingebied buiten het mondingsgebied is gelegen en hebben dan een gunstig effect; harde kustverdedigingswerken zullen de beschikbaarheid van sediment verkleinen, omdat transportbanen erdoor worden onderbroken.

Door de zeespiegelstijging worden de geulen in het mondingsgebied ruimer. Aangenomen kan worden dat hierdoor de beschikbaarheid van sediment in het mondingsgebied voor import naar de Westerschelde in de toekomst eerder zal afnemen dan toenemen. Hoe groter de stijging hoe ruimer de geulen en hoe minder sediment dus beschikbaar zal zijn, terwijl de vraag naar sediment in de Westerschelde juist groeit. Verlanding van het estuarium is dus bij versnelde zeespiegelstijging weinig waarschijnlijk. In dat geval zal eerder sprake zijn van een status quo dan wel verruiming (zie intermezzo 'Zeespiegelstijging en zandwinning').



3.2 Vormen de veranderingen een bedreiging voor het estuarium?

Inleiding

In tegenstelling tot de andere grote wateren in de Delta, Haringvliet-Hollandsch Diep, Volkerak-Zoommeer, Grevelingen, Veerse Meer en Oosterschelde, zijn in de Westerschelde het getij en de vrije afvoer van zoet water nog intact. Dit maakt de Westerschelde tot een uniek en zeer waardevol watersysteem.

Ook in Europa zijn estuariene gebieden schaars. De Westerschelde draagt daarom fors bij aan de internationale biodiversiteit.

Vanuit deze invalshoek wordt in deze paragraaf nagegaan of de waargenomen ontwikkelingen een bedreiging vormen voor de Westerschelde.

Karakteristieke estuariene processen

Karakteristiek voor een estuarium zijn de veranderingsprocessen op allerlei ruimte- en tijdschalen. Op de geologische tijdschaal zijn dat de al eerder genoemde cycli van het ontstaan, uitbreiden en verlanden van estuaria, als een reactie op zeespiegelstijging en sedimentaanbod. Op een middelgrote ruimte- en tijdschaal zijn het uitbochten en weer kortsluiten van hoofdgeulen en het ontstaan, migreren en uitdoven van kortsluitgeulen van groot belang. Op deze wijze worden platen, slikken en schorren gevormd, opgehoogd en weer afgebroken. Deze cycli kunnen in een natuurlijk estuarium telkens opnieuw beginnen. De ruimtelijke structuur wordt dus gekenmerkt door een grote veranderlijkheid op korte termijn. Dit verklaart waarom juist zoveel opportunisten (pioniers) zowel uit het planten- als dierenrijk deel uitmaken van het estuariene ecosysteem. De veranderlijkheid op korte termijn zorgt voor een altijd diverse structuur aan ecotopen met veel gradiënten (zie ook intermezzo 'Veranderingen in estuaria').

Veranderingen in estuaria

Wolfe en Kjerfve (1986) noemen een aantal aspecten die van belang zijn om de veranderingen in estuaria te begrijpen:

- a) hiërarchie; processen op een bepaalde tijd-ruimte schaal scheppen randvoorwaarden voor processen op een tijd-ruimte schaal van een kleinere of lagere orde,
- b) stabiliteit; ecosystemen streven via interne zelfregulatie naar een evenwicht waardoor radicale wijzigingen worden voorkomen,
- c) dispersie van ruimtelijke patronen (of ingrepen); een verandering op een locatie wordt door advection- en diffusiemechanismen verspreid naar andere delen van het estuarium en
- d) successie; een geordend ontwikkelingsproces dat leidt tot een verhoogde stabiliteit, biomassa en gestructureerde interactie tussen systeem-componenten.

Kenmerken van een estuarien systeem

Drie zaken zijn kenmerkend voor een estuarium: *natuurlijkheid*, *zelfregulerend vermogen* en *completeheid*. Voor het duurzaam functioneren van een estuarium dienen deze systeemkenmerken zoveel mogelijk intact te blijven of te worden hersteld. Dan kan een estuarium zijn functie als bijvoorbeeld 'filter' of 'ecoreactor' waarmaken (zie intermezzo 'Functies van een estuarium').

Natuurlijkheid

Een natuurlijk estuarium wordt gestuurd door de fysische, chemische en biologische processen die van nature aanwezig zijn. Er is voldoende ruimte en de natuurlijke ontwikkelingen kunnen ongestoord verlopen, zodat plant- en diersoorten die in het gebied thuishoren zich te kunnen handhaven, ontwikkelen en herstellen.

Kenmerkend voor de natuurlijkheid van het schor is bijvoorbeeld het tegelijk plaatsvinden van erosie en aangroei, op verschillende tijd- en ruimteschalen. De schorren kennen dan ook verschillende ontwikkelingsstadia (van laaggelegen pionier-schor tot zelden overspoeld hoog schor). De kreken en poelen in de schorren vormen een ideale verblijfplaats voor allerlei soorten kreeftachtigen. Diverse vissoorten gebruiken het schor als kinderkamer.

Functies van een estuarium

Het estuarium als filter

Van nature voert een rivier met het zoete water nutriënten en slib aan. Tegenwoordig wordt slib vooral in verband gebracht met vervuiling. Zo worden bij Antwerpen grote hoeveelheden slib aan het estuarium onttrokken om vervuiling benedenstrooms tegen te gaan.

Slib is echter ook het materiaal waarmee de slikken en schorren worden 'gebouwd'. In de randgebieden kan het water tot rust komen en zakt het sediment uit filteren planten het slib uit het water.

Vooralsnog wordt aangenomen dat er voldoende fijn materiaal in het estuarium aanwezig is, dat zal sedimenteren zodra de omstandigheden (lage stroomsnelheden en zwakke golven) dit toelaten. De vorming van slibrijke gebieden bovenop de platen is hiervan een voorbeeld.

Het estuarium als ecoreactor

Estuaria worden gekenmerkt door de menging van zoet rivierwater met zeewater. De fysieke structuur en de getijdewerking maken een intensieve menging mogelijk. Daarbij ontstaat over de lengte-as van het estuarium een zoutgradiënt.

De Schelde is één van de grotere estuaria in Europa, waar de getijbeweging nog doordringt tot in de (zoete) rivier, en de zoet/zoutgradiënt nog volledig aanwezig is. De natuurlijke menging kan dus in principe ongehinderd plaatsvinden. Door de sterke menging treedt over de diepte geen stabiele gelaagdheid (stratificatie) op. Deze menging is voor het ecosysteem van grote betekenis, omdat hierdoor een dynamisch evenwicht ontstaat tussen de toevoer van organisch materiaal, voornamelijk vanuit de rivier, de afbraak van die bestanddelen die zich in het zoute milieu niet kunnen handhaven, en de opbouw van een voedselweb dat wel aan het zoute milieu is aangepast. Deze afbraak- en opbouwfuncties worden vervuld door organismen die zelf zijn aangepast aan de wisselende omstandigheden die zich in het estuariene milieu voordoen.

De ophoping van organisch materiaal in de mengzone trekt veel organismen aan die hier hun voedsel vinden. Dit is in feite de basis van de kinderkamer- en de doortrekfunctie van estuariene systemen, zowel voor vissen als voor vogels.

Zelfregulerend vermogen

Een estuarium met voldoende zelfregulerend vermogen is in staat natuurlijke of menselijke verstoringen zó op te vangen dat de stabiliteit van het estuariene ecosysteem op de lange termijn intact blijft. Er is een hiërarchie te onderkennen in invloedssfeer. Zo zal een verandering in de waterbeweging, bijvoorbeeld door zeespiegelstijging, leiden tot veranderingen in de morfologie en vervolgens in de ecologie. Andersom is de invloed beperkter. Het belangrijkste criterium voor aanpassingsmogelijkheden is ruimte. Ruimte voor geulmigraties of ruimte voor het ontstaan van elders verdwenen ecotopen. Naast ruimte dienen sedimenten en nutriënten vrij uitwisselbaar te zijn.

Compleetheid

In een compleet estuarium zijn alle voor het ecologisch functioneren belangrijke en karakteristieke ecotopen met hun levensgemeenschappen en biologische produktiviteit aanwezig, met de daarbij van nature optredende fluctuaties.

Beïnvloeding van estuariene processen en kenmerken

De ingrepen ten behoeve van het gebruik hebben, met name in het oostelijke deel, geleid tot processen en patronen die onder natuurlijke omstandigheden niet of in mindere mate zouden zijn opgetreden. De belangrijkste zijn de vermindering van het totale oppervlak en van de grootschalige morfologische dynamiek, en de versterkte getijdoordringing. Dit heeft geleid tot de volgende effecten.

Door gebrek aan ruimte en door de stroomlijning van het estuarium is de mogelijkheid tot slik- en schorvorming beperkt. De erosie van bestaande slikken en schorren kan daardoor niet door de natuur zelf worden opgevangen met aangroei elders. Dit heeft er toe geleid dat in het estuarium nauwelijks nog jong schor aanwezig is en dat schorren in de mariene zone vrijwel ontbreken. Met het verdwijnen van de grote schorgebieden is veel natuurlijk biotoop voor de kustbroedvogels verloren gegaan. Dit natuurlijk biotoop is gedeeltelijk vervangen door meer kunstmatige broedgebieden.

De sterke vermindering van het ondiep waterareaal ten gevolge van de morfologische 'verstarring' is blijvend en het ecotoop zal zich, bij het huidige vaarwegbeheer, niet of nauwelijks kunnen herstellen. Hetzelfde geldt voor de eroderende slikken langs de rand van de hoofdgeul.

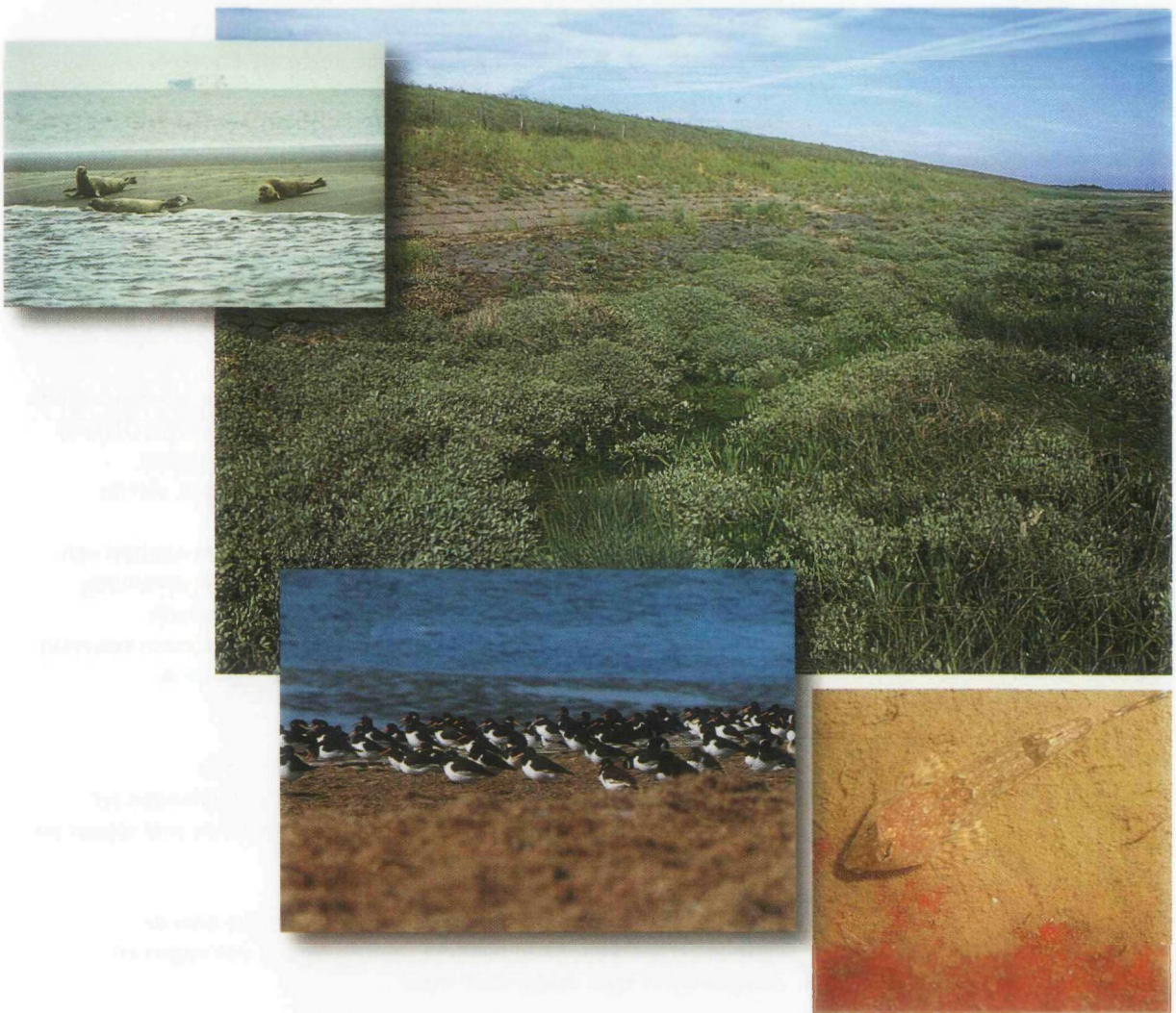
De vermindering van dynamiek in combinatie met extra aanbod van sediment heeft geleid tot groei van de platen waardoor verlanding optreedt. De laaggelegen voedselrijke zones zijn gedeeltelijk verdwenen en vervangen door nieuwe voedselrijke gebieden bovenop de plaat. Deze kunnen ontstaan door de sterke toename in plaathoogte.

In het vorige hoofdstuk is uiteengezet dat de versterkte getijdoordringing ertoe heeft geleid dat de hoogwaterstanden ter plaatse van de Nederlands-Belgische grens tweemaal zo snel stijgen als elders langs de Nederlandse kust.

Geconcludeerd wordt dat met name in het oostelijke deel de systeemkenmerken *natuurlijkheid, zelfregulerend vermogen en compleetheid* sterk onder druk staan.

Ondanks het feit dat processen en patronen sterk zijn veranderd en hiermee ook de leefomstandigheden, laten waarnemingen bij hogere organismen nog nauwelijks negatieve ontwikkelingen zien. De vraag is echter of dit op de langere termijn zo zal blijven of dat door de morfologische 'verstarring' het vermogen afneemt om verstoringen op te vangen. Dat kan uiteindelijk toch leiden tot verarming van het systeem. Onderzoek toont steeds meer aan dat dynamiek een belangrijke voorwaarde is voor een stabiel (duurzaam) ecosysteem op de lange termijn.

Stabiliteit is het resultaat van dynamiek op alle niveaus van de natuur: tussen ecosystemen en de fysische en chemische omgeving (land, zee en lucht) tussen en binnen ecosystemen zelf en tussen organismen (Denny, 1996)



Nawoord

De studie naar de fysische processen in de Westerschelde en de verwante biologische patronen, heeft duidelijk gemaakt dat in het oostelijk deel de grootschalige dynamiek is verstaard. De grote geulen verplaatsen zich niet of nauwelijks, zodat de voor een estuarium kenmerkende grootschalige veranderingen veel minder optreden. Processen verlopen in één richting: platen groeien, slikken verlagen en schorren verouderen. Een periode van afbraak wordt niet gevolgd door een periode van opbouw; zo ontstaan er geen jonge schorren en is de afname van het areaal aan ondiep water blijvend.

Een ander opvallend resultaat van de studie is het inzicht in de versnelde stijging van de hoogwaters in de Westerschelde. De gebieden waar water kan worden geborgen zijn door inpolderingen en sedimentatie afgenomen, terwijl anderzijds de geulen waar het water doorheen wordt getransporteerd groter zijn geworden.

De studie heeft dus bevestigd dat er iets aan de hand is met de Westerschelde. Maar vormen deze veranderingen nu een bedreiging voor het estuarium.

Dit is moeilijk vast te stellen. Er is geen wetenschappelijke theorie die kan voorspellen welke gevolgen de verstarring op de lange termijn heeft voor het leven in het estuarium. Vooralsnog hebben de lagere organismen (bodemdieren, bodemalgen) zich aangepast aan de veranderde omstandigheden. Ook de voor een estuarium kenmerkende vogels zijn nog aanwezig. Blijkbaar zijn zij nog in staat het benodigde voedsel te vinden. Van de vissen, die ondanks de slechte waterkwaliteit nog aanwezig zijn en de garnalen, die beiden voedsel en beschutting vinden in de ondiep water gebieden en schorkreken, is niet bekend wanneer het areaal de beperkende factor gaat worden.

Om toch tot een beoordeling te komen zijn de ecotopen als invalshoek genomen. Simpel gezegd: het estuarium is beschouwd als een verzameling ecotopen. Ecotopen zijn de gebieden waar de veranderingen in de fysica, de getijbeweging en hiermee samenhangende groot- en kleinschalige verplaatsing van sediment, worden vertaald naar veranderingen in de levensomstandigheden voor planten en dieren. Met name twee aspecten zijn in beschouwing genomen: natuurlijkheid en compleetheid. Natuurlijkheid heeft te maken met het aspect tijd, het estuarium als een mozaiek van ecotopen die voortdurend van plaats wisselen en van grootte veranderen. Het proces van verandering staat hier centraal. Compleetheid heeft te maken met het aspect ruimte; het estuarium als een mozaiek van ecotopen waarin alle ecotopen die in een estuarium als de Schelde behoren voor te komen, ook daadwerkelijk vertegenwoordigd zijn. De patronen staan hier centraal. Een compleet systeem bezit niet persé een grote natuurlijkheid. Andersom kan een systeem op onderdelen een grote natuurlijkheid bezitten, maar door beperkingen in de ruimte niet compleet zijn.

Wordt op deze wijze naar de veranderingen gekeken dan is het duidelijk dat het estuarium, gezien de verstarring, het ontbreken van jong schor en de achteruitgang van slikken en ondiep water gebieden zonder kans op herstel, onder druk staat.

Verder onderzoek is nodig. Niet alle vragen zijn beantwoord en er zijn weer nieuwe bijgekomen. Zoals: wat zijn de lange termijn gevolgen van de verstarring voor de natuur? Of: stijgen de extreme hoogwaters even snel als de hoogwaters onder gemiddelde omstandigheden, en wat is hier de oorzaak van?

Naast onderzoek blijft praktijkervaring belangrijk. Ingrepen of maatregelen kunnen het beste geleidelijk worden ingevoerd. Na invoering kunnen de veranderingen met een intensief meetprogramma worden gevolgd.

Trefwoordenregister

Trefwoorden Hoofdstuk II-B:

De Westerschelde in verandering; de gevolgde methoden en de onderbouwing van de onderzoeksresultaten.

Algemeen

Indicatoren voor veranderingen in de toestand van de Westerschelde	tabel 2.1.1	p. 27
---	-------------	-------

Getij

- debietraaien	figuur 2.2.5	p. 28-37 p. 31
- debietverdeling		p. 33
- debietverdeling over de eb- en vloedgeul	figuur 2.2.7	p. 33
- duur van de vloed versus duur van de eb	tabel 2.2.3	p. 31
- functiewisseling Middelgat - Gat van Ossensisse.	intermezzo	p. 34
- geometrie, invloed op het getij		p. 35
- getijasymmetrie	tabel 2.2.3	p. 31
- getijkarakteristieken oostelijk deel Westerschelde	figuur 2.2.3	p. 30
- getijvolumina		p. 31
- getijvolume, verandering in de loop van de tijd	figuur 2.2.6	p. 32
- getijvolume, verandering in de ratio eb- en vloedvolume	figuur 2.2.8	p. 35
- komberging		p. 34
- komberging, verandering in de tijd	tabel 2.2.4	p. 35
- looptijd getij	tabel 2.2.2	p. 30
- verlandingssnelheid estuarium		p. 36
- voortplantingssnelheid van de getijgolf	tabel 2.2.2	p. 30
	figuur 2.2.4	p. 30
- waterstanden: zeespiegel, hoog- en laagwater, getijverschil	tabel 2.2.1	p. 29
- waterstanden, toename hoogwaters Vlissingen versus zeespiegel,	figuur 2.2.1	p. 29
- waterstanden, toename hoogwaters Bath versus Vlissingen	figuur 2.2.2	p. 29

Morfologie

- areaalontwikkelingen (geulen, ondiep water, platen, slikken, schorren)		p. 38-58 p. 44-47
- areaalontwikkeling Westerschelde 1955 t/m 1993;	figuur 2.3.4	p. 45
- drempels, drempel van Hansweert	figuur 2.3.12	p. 56
- geomorfologische kaart	intermezzo	p. 52
	figuur 2.3.8	p. 53

- geologische ondergrond		
Schelde-estuarium	intermezzo	p. 46
- inhoudsveranderingen		p. 42
- inhoudsveranderingen Westerschelde		
sinds 1955	figuur 2.3.3	p. 43
- kwanticifering dynamiek	intermezzo	p. 51
- macrodynamiek		p. 49
- macrodynamiek, fixatie van geulen	figuur 2.3.6	p. 49
- mesodynamiek		p. 50
- mesodynamiek, veranderingen en		
NAP-lijn	figuur 2.3.7	p. 50
- microdynamiek		p. 51
- onnatuurlijkheid morfologische		
veranderingen		p. 57
- residuele zandtransporten Westerschelde	figuur 2.3.11	p. 55
- Saeftinge, ontwikkeling bodem	figuur 2.3.5	p. 46
- sedimenttransport		p. 53
- sedimenttransport, methoden		
bepaling resttransport	intermezzo	p. 55
- Selenapolder, ontwikkeling tot		
Sieperdaschor	intermezzo	p. 48
- uitwisseling sediment tussen		
Westerschelde en monding	figuur 2.3.1	p. 40
- zandbalans Westerschelde		p. 39
- zandbalans Westerschelde	intermezzo	p. 39
- zandbalans Westerschelde	figuur 2.3.2	p. 41
- zandtransport, patronen		p. 54
Ecologie		p. 59-83
- bodemdieren		p. 73
- dynamiek van platen en slikken	intermezzo	p. 72
- ecologische verarming Westerschelde		p. 83
- ecoseries en ecotopen	intermezzo	p. 60
- ecotopen, oostelijk deel	tabel 2.4.5	p. 70
- ecotopen, oppervlakten	tabel 2.4.1	p. 62
- ecotopen, dynamiek	figuur 2.4.3	p. 72
- relatie bodemdieren - bodemkenmerken		p. 77
- schorvegetatie, oostelijk deel		p. 71
- vangstdichtheid Garnaal,	figuur 2.4.2	p. 68
- vangstdichtheid Puitaal	figuur 2.4.1	p. 67
- visfauna, waarnemingen		p. 66
- vissen, doortrekfunctie		p. 69
- vissen, epibenthische soorten	tabel 2.4.4	p. 67
- vissen, kinderkamer functie		p. 68
- vissen, kraamkamer functie		p. 69
- vogelfauna, waargenomen veranderingen		p. 63
- vogels, bodemdier etende		p. 64
- vogels, kustbroedvogels		p. 65
- vogels, planten etende		p. 63
- vogels, vis etende		p. 65
- watervogels, oostelijk deel		p. 74

Referenties

- Arts, F.A. en P.L. Meininger, 1995a.
Kustbroedvogels langs de Westerschelde 1900-1993: een reconstructie. Rapport RIKZ-95.001. Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ, Middelburg.
- Arts, F.A. en P.L. Meininger, 1995b.
Watervogels in de Westerschelde 1900-1990: een reconstructie. Rapport RIKZ-95.002. Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ, Middelburg.
- Arts en Meininger, 1995.
Foeragerende sterns in het Westerschelde estuarium. RIKZ Werkdocument OS-95.835X. Rijkswaterstaat, RIKZ, Middelburg
- Asselman, N.E.M., 1991.
Morfologische ontwikkeling van het platengebied van Valkenisse in de periode 1972-1986. Stagerapport\werkdokument 92.808X. Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ, Middelburg.
- Black, K.P., 1989.
Sediment dynamics in the lower section of a mixed sand and shell-lagged tidal estuary, New Zealand. J. of Coastal Research, 5 (3), p 503-521.
- Bollebakker, P., 1996.
Duflow modellen van de Westerschelde voor 1960 en 1990. Werkdocument RIKZ/AB-96.846x. Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ, Middelburg.
- Buxc, T.H.M., en Tobias, F.C., 1989.
Een onderzoek naar de bodemmorfologie van het oostelijk deel van de Westerschelde 1985-1986. Afstudeerrapport Universiteit Utrecht.
- Cadée, N., 1994.
Typologie van estuariene systemen: geografische referenties voor het Schelde-estuarium. Rapport RIKZ 94.048. Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ, Middelburg.
- Cattrijsse, A., J. Mees en O. Hamerlynck, 1993.
The hyperbenthic Amphipoda and Isopoda of the Voordelta and the Westerschelde estuary. Cah. Biol. Mar., 34: 187-200.
- Cattrijsse, A., 1993.
Het belang van het Verdrongen Land van Saeftinge voor de vis- en schaaldierfauna van de Westerschelde. Zeeuws Landschap, 9, 2: 22-26

- Cattrijsse, A., 1994.
Schorkreken in het brakke deel van het Wester-schelde estuarium als habitat voor vissen en macrocrustacea. Dissertatie
Rijksuniversiteit van Gent, Academiejaar 1993-1994.
- Claessens, J., Meyvis, L., 1994.
Overzicht van de tijwaarnemingen in het Zeescheldebekken gedurende het decennium 1981-1990. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. Antwerpse Zeehavendienst.
- Coosen, J. & E. Stikvoort, 1994.
Bodemdieren litoraal Platen van Valkenisse, slikken van Waarde, Baalhoek and Saeftinge; september 1990. Werkdocument
RIKZ/AB-94.893x. Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.
- Daan, N., 1995.
Ecoprofiel-informatie met betrekking tot diverse vissoorten en garnaal. RIVO Rapport CO57/95.
- De Jong, D.J. & De Jonge, V.N., 1994.
Dynamiek van microphytobenthos in het Westerschelde-estuarium. Werkdocument RIKZ/OS 94.806x (herziene versie).
Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg/Haren.
- Denny, P., 1996.
Gaia's Kidneys: wetlands are our life-blood. Inaugurale rede
International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering (IHE), Delft.
- De Vries Klein, G., 1970.
Depositional and dispersal dynamics of intertidal sand bars. *J. of Sed. Petrology*, 40 (4), p. 1095-1127.
- Dillingh D., Heinen, P.F., 1994.
Zeespiegelrijzing, getijverandering en deltaveiligheid. Rapport RIKZ-94.026. Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ, den Haag.
- Engel, H., 1994.
Een internationale blik op het Schelde-estuarium. Brochure.
Rijkswaterstaat, Directie Zeeland, Middelburg.
- Goedheer, G.J., and Misdorp, R., 1985.
Spatial variability and variations in bedload transport direction in a subtidal channel as indicated by sonographs. *Earth Surface Processes and Landforms*, 10, p 375-386.
- Hamerlynck, O., K. Hostens, R.V. Arellano, J. Mees en P.A. Van Damme, 1993.
The mobile epibenthic fauna of soft bottoms in Dutch Delta (south west Netherlands): spatial structure. *Neth. Jr. of Aquat. Ecol.* 27 (2-4), pp. 343-358.

- Hill, M.O., 1979.
TWINSPAN: a Fortran program for arranging multivariate data in an ordered two way table by classification of the individuals and attributes. Section of Ecology and Systematics, Cornell University Ithaca, New York.
- Hostens, K., J. Mees, B. Beyst & A. Cattrijsse, 1996.
Het vis- en garnaalbestand in de Westerschelde: soortensamenstelling, ruimtelijke verspreiding en seizoensaliteit (periode 1988-1992). Universiteit van Gent.
- Houtekamer, N., 1994.
Saeftinge, schor onder druk? Rijkswaterstaat Directie Zeeland Rapport AX 94.018/Rijksinstituut voor Kust en Zee Rapport RIKZ 94.033, Middelburg.
- Houtekamer, N.L., 1991.
Inventarisatie erosieproblematiek van de schorren in de Westerschelde. Rapport GEOPRO 1991.024. Universiteit Utrecht, Fakulteit der Ruimtelijke Wetenschappen, Vakgroep Fysische Geografie.
- Huijs, S.W.E., 1996.
De ontwikkeling van de morfologie in de Westerschelde in relatie tot menselijke ingrepen. Rapport R 96-17. Universiteit Utrecht, Fakulteit der Ruimtelijke Wetenschappen, Vakgroep Fysische Geografie.
- Huijs, S.W.E., 1995.
Geomorfologische ontwikkeling van het intergetijdegebied in de Westerschelde. 1935-1989. Rapport R 95-3, Universiteit Utrecht, Fakulteit Ruimtelijke Wetenschappen, Vakgroep Fysische Geografie.
- Huijs, S.W.E. en Storm, C.,
1996. Verlanding van de Westerschelde. Verschillende wijzen om het begrip verlanding te kwantificeren. Werkdocument RIKZ/AB-97.813x, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee\RIKZ.
- Kjerfve, B., 1978.
Bathymetry as an indicator of net circulation in well mixed estuaries. Limnol. Oceanogr 23 (4), p 816-821.
- Leemans, J. & B. Verspaandonk, 1980.
Saeftinge, vegetatie kaart 1:10.000, 1972. Stichting Het Zeeuws Landschap, Heinkesand.
- McLaren, P. and Bowles, D., 1985.
The effects of sediment transport on grain-size distributions. J. Sed. Petrology, 55, p 457-470.
- McLaren, P., and Powys, R.I.L., 1994.
Patterns of sediment transport in the Westerschelde between Baarland and Rupelmonde. GeoSea Consulting, Cambridge.

- Mees, J., A. Dewicke, O. Hamerlynck.
Seasonal composition and spatial distribution of hyperbentic communities along estuarine gradients in the Westerschelde. *Neth. J. Aquat. Ecol.*, 27: 359-376.
- Mol, G., 1995.
De Westerschelde: een resultaat van menselijke ingrepen. Rapport RIKZ-95.030, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ, Middelburg.
- Peters, J.J., et Sterling, A., 1976.
Hydrodynamiques et transports de sediments de l'estuaire de l'Escaut. In: L'estuaire de l'Escaut. Nihoul, C.L., et Wollast, R. (eds.). Rapport Final Project Mer, Volume 10. Bruxelles, Belgique.
- Pieters T., 1993.
Het Schelde-estuarium, beheren of beheersen? Rapport DGW-93.032. Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ, Middelburg.
- Pieters, T., Storm, C., Walhout, T., Ysebaert, T., 1991.
Het Schelde-estuarium, méér dan een vaarweg. Nota GWWS-91.081. Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ en Directie Zeeland, Middelburg.
- Ruessink, G., 1991.
De bodemmorfologie in de geulen van het oostelijk deel van de Westerschelde. Stagerapport\werkdokument 92.808X. Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ, Middelburg.
- Runhaar, J. & F. Klijn, 1993.
Aanzet tot een aquatische ecoserie-indeling. CLM-Rapport 98, Centrum voor Milieukunde, Leiden: 1-63 + bijlagen.
- Sas, P., 1993.
intertidaal voorkomen, groei en consumptie van schol *Pleuronectes platessa* rond de Plaat van Valkenisse in het Westerschelde estuarium. Universiteit Gent.
- Sisttermans, P., 1996.
Verandering van de morfodynamiek van de Westerschelde. Een kwantitatieve analyse. Notitie NWL-96.51. Rijkswaterstaat, Directie Zeeland.
- Storm, 1996.
Residuele zandtransporten in de Westerschelde. Werkdocument OS-96.837x, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ, Middelburg.
- Storm, C., Bollebakker, P., de Jong, J. en Mol, G., 1994.
Nauwkeurigheid zandbalans Westerschelde 1965-1990 en aanbevelingen ter optimalisatie. Rapport RIKZ-94.008. Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ, Middelburg.

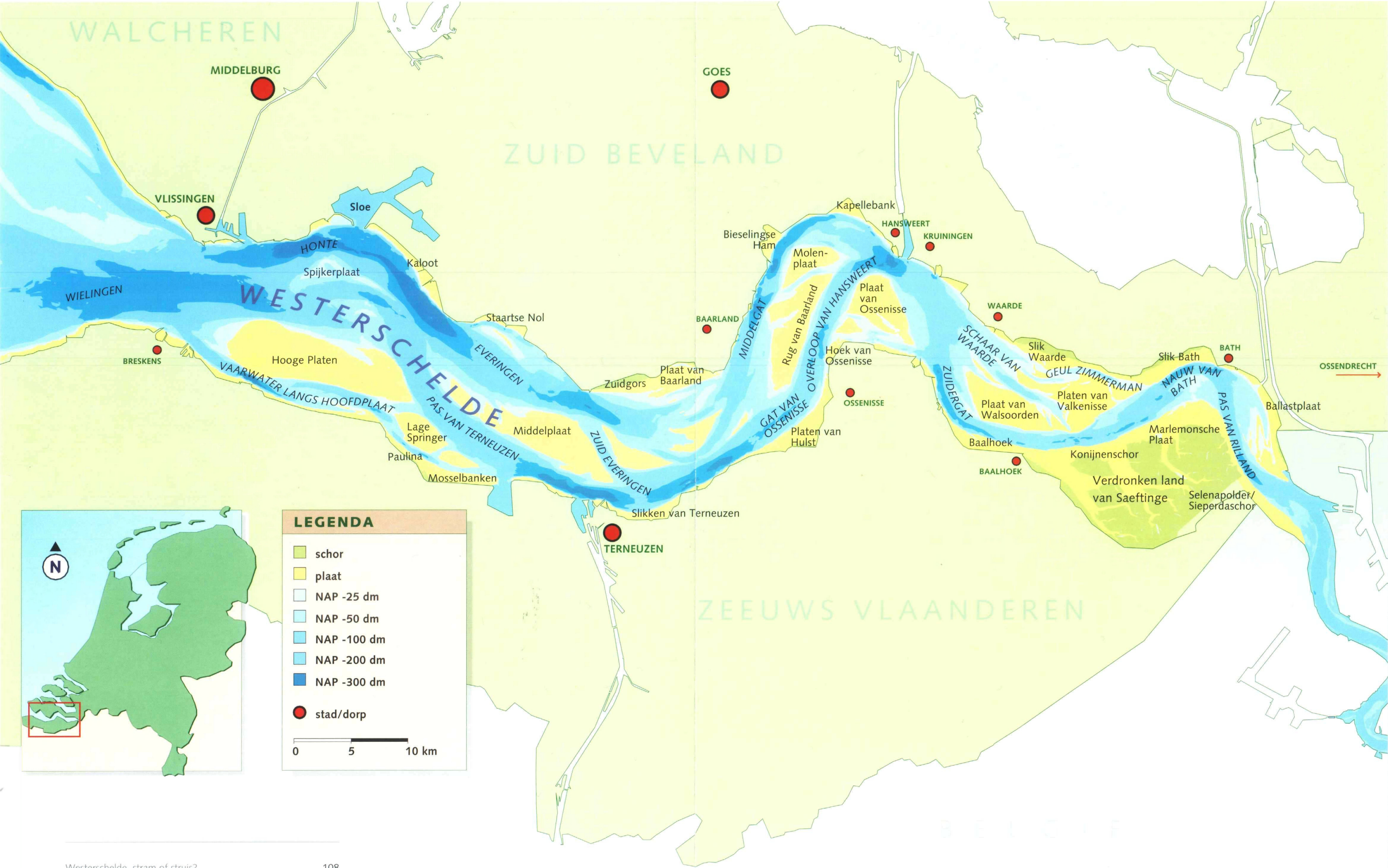
- Stuart, J.J., P.L. Meininger & P. Meire, 1989.
Watervogels van de Westerschelde. Rijksuniversiteit Gent /
Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren, Rapport GWAO-89.1010,
Gent/Middelburg.
- Tackx, M., X. Irigoien, N. Daro, J. Castel, L. Zhu, X. Zhang & J. Nijs,
1995.
Copepod feeding in the Westerschelde and the Gironde.
Hydrobiol., 311: 71-83.
- Tank, F.T.G., 1996.
Het gedrag van drempels in de Westerschelde. Parameterisatie.
IMAU Rapport R 96-08. Universiteit Utrecht, Fakulteit der
Ruimtelijke Wetenschappen, Vakgroep Fysische Geografie.
- Tank, F.T.G., 1995.
Het gedrag van drempels in de Westerschelde. Een verkennende
studie. IMAU Rapport R 95-18. Universiteit Utrecht, Fakulteit der
Ruimtelijke Wetenschappen, Vakgroep Fysische Geografie.
- Uit den Bogaard, L.A., 1995.
Resultaten zandbalans Westerschelde; 1955-1993. IMAU Rapport
R95-08. Universiteit Utrecht, Fakulteit der Ruimtelijke
Wetenschappen, Vakgroep Fysische Geografie.
- Van Beek, F.A., Boddeke, R., 1990.
Verspreiding en talrijkheid van garnalen (*Crangon crangon* L.) in
het Schelde estuarium. RIVO Rapport DEMVIS 90-101.
- Van Beek, F.A., Rink, G.J., 1987.
Aantalsfluctuaties en verspreiding van enige niet commerciële
vissoorten in het Schelde estuarium. RIVO ZE 87-103.
- Van Berchum, A.M., J. Coosen en A.J.M. Meijer, 1995.
Natuurvriendelijke waterkeringen langs de Westerschelde.
Handreiking voor integraal waterbeheer. Rapport RIKZ-95.054.
Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ, Middelburg.
- Van Damme, P.A., K. Hostens en F. Ollevier, 1994.
Fish species of the lower Zeeschelde (Belgium): a comparison with
historical checklists. Belg. J. Zool., Vol 124 (1994), no. 2, p. 93-
103.
- Van der Male, C., 1996.
De morfologische veranderingen op de Zeeschelde 1961-1992.
Werkdocument RIKZ/AB 96.837x. Rijkswaterstaat, Rijksinstituut
voor Kust en Zee/RIKZ, Middelburg.
- Van der Male, C., 1993.
Euleriaanse reststromen op de Westerschelde berekend met
DETWES. Werkdocument GWWS 93.839x. Rijkswaterstaat,
Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ, Middelburg.

- Van der Spek, A., 1994.
Large scale evolution of Holocene tidal basins in the Netherlands.
Universiteit Utrecht. Proefschrift.
- Van Kleef, A.W., 1994.
Verklaring voor de veranderingen in de grootschalige zandbalans
in het gebied rond het Middelgat, Westerschelde. NWL 95.02A,
Rijkswaterstaat, Directie Zeeland.
- Van Schaik, A.W.J., D.J. de Jong & A.M. van der Pluijm, 1988.
Vegetatie buitendijkse gebieden Westerschelde. Rijkswaterstaat,
Dienst Getijdewateren, Rapport GWAO-88.1003, Middelburg.
- Van Wershoven, T.C., 1995.
Potenties en maatregelen voor terugkeer van trekvis in het
Scheldestroomgebied. Werkdocument RIKZ/AB-95.840X /
Verslagen Milieukunde nr. 104. Katholieke Universiteit Nijmegen &
Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ,
Middelburg/Nijmegen.
- Vroon, J., Storm, C., Uit den Bogaard, L.A. en Coosen, J., 1996.
Habitatarealen in de Westerschelde: veranderingen tussen 1960 en
1990 en een prognose voor de toestand na de komende
verdieping. Werkdocument AB-96.815X, Rijkswaterstaat,
Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ, Middelburg.
- Wartel, S., 1977.
Composition, transport and origin of sediments in the Schelde
estuary. *Geologie en Mijnbouw*, Vol 56, 1977.
- Waterloopkundig laboratorium/WL, 1996.
Kwaliteitstoets Oostwest; Westerschelde. Rapportage Expert
Commissie. Documentnr. VR1247.96/Z1021. Waterloopkundig
Laboratorium Delft.
- Wolfe, D.A. and Kjerfve, B., 1986.
Estuarine variability: an overview. In: Wolfe, D.A. (ed). *Estuarine
variability*. Academic Press, Inc.
- 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. *Zoologische Verhandelingen* 126: 1-242. Leiden.
- Wolfert, H.P., 1996.
Rijkswateren-Ecotopen-Stelsels; uitgangspunten en plan van
aanpak. RIZA Nota nr.: 96.050.
- Wright, L.D., Coleman, J.M., and Thorn, B.G., 1975.
Sediment transport and deposition in a macro tidal river channel:
Ord River, Western Australia. In: Cronin, L.E.(ed.). *Estuarine
research*. Volume II. Academic Press, New York, p. 309-322.

Ysebaert, T. & P.M. Meire, 1991.

Het macrozoobenthos van de Westerschelde en de Beneden
Zeeschelde. Rijksuniversiteit Gent. Rapport W.W.E. 12, Gent.

Geografische overzichtskaart van de Westerschelde



Colofon

Tekst en redactie

Jacques Vroon
Kees Storm
Jon Coosen

Tekstbewerking

Bijnsdorp Communicatie Projecten, Hilversum

Vormgeving

Joost Eykman

Fotografie

Jan van den Broeke
Meetkundige Dienst
Eurosense

Drukwerk

Grafisch Bedrijf Pitman, Goes

Informatie

Schelde Informatie Centrum (SIC),
Postbus 8039, 4330 EA Middelburg
telefoon: 0118 67 22 38

Project Oostwest

Velen hebben de afgelopen jaren een bijdrage aan het project geleverd:

RIKZ: Tom Pieters, Peter Bollebakker (thans directie Zeeland), Jon Coosen (thans directie Zeeland), Karel Hendrikse (thans directie Zeeland), Dick de Jong, Ad Langerak, Dirk van Maldegem, Kees van der Male, Peter Meininger, Gerard Mol, Gert-Jan Rotmensen, Aad Smaal, Henk Smit (thans IKC Natuurbeheer), Ed Stikvoort, Kees Storm (thans directie Zeeland), Jacques Vroon.

Directie Zeeland: Onno van Kleef, Loes de Jong, Leen Dekker, Nelle Houtekamer, Jos de Jong, Renske Postma (thans RIZA), Meetdienst Zeeland;

Universiteit Utrecht: Jan-Rik van den Berg, Leo UitdenBogaard (thans RIKZ), Saskia Huijs (thans directie Zeeland), Claire Jeuken, Instituut voor Natuurbehoud: Patrick Meire, Tom Ysebaert