

Ontwikkelingen in de kennis van de morfodynamica en ecologie van de Westerschelde

Rapport RIKZ/2005.034



Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Rijkswaterstaat

蘇州府志



99576

Ontwikkelingen in de kennis van de morfodynamica en ecologie van de Westerschelde

B.J. Kater (eindredactie)

Rapport RIKZ/2005.034



December 2005

Colofon

Uitgegeven door

Rijkswaterstaat Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg

In opdracht van

Rijkswaterstaat Zeeland, Middelburg

Aanbevolen citatie

Kater B.J., 2005. Ontwikkelingen in de kennis van de morfodynamica en ecologie van de Westerschelde. Rapport RIKZ/2005.034. Rijkswaterstaat Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.

Informatie

Rijkswaterstaat Rijksinstituut voor Kust en Zee
Postbus 8039, 4330 EA Middelburg
Tel. 0118-672200, fax 0118-651046

Uitgevoerd door

Belinda Kater (eindredactie), Jelmer Cleveringa, Jaap Graveland, Harriëtte Holzhauer, Dick de Jong, Gert-Jan Liek, Peter Meininger, Edwin Parée, Imre Schep, Fred Twisk, Eric van Zanten

Tekstuele redactie

Lilian Withagen, Ineke de Groot

Interne kwaliteitsborging

Herman Mulder, John de Ronde, Gert-Jan Rotmensen, Jaap de Vlas, Ies de Vries

Externe kwaliteitsborging

Martin Baptist (Technische Universiteit Delft), Erika Van Den Bergh (Instituut voor Natuurbehoud Brussel), Peter Bollebakker (RWS Zeeland), Stefan Van Damme (Universiteit van Antwerpen), Mike Elliot (University of Hull), Almer de Swaaf (RWS RIZA), Harm Verbeek (ProSes), Wim Wolff (Universiteit van Groningen)

Figuren en kaarten

Jelmer Cleveringa, Harriëtte Holzhauer, Belinda Kater, Gert-Jan Liek, Peter Meininger, Jan Pieters, Fred Twisk, Eric van Zanten

Foto's omslag

Bruinvis, Gewone Zeehand © Martijn de Jonge, Scholeksters, Rosse Grutto's © Pim Wolf, Zandzuiger © Anita Eijlers/Schelde InformatieCentrum, Donderpad © Joris Geurts van Kessel, Zeeduizendpoot © AquaSense/Grontmij, Verdrongen Land van Saeftinghe, scheepvaart op de Westerschelde, Hooge Platen © Rijkswaterstaat

Grafische realisatie

Vormgeving: Mariël Lam BNO, Empel
Drukwerk: LnO, Zierikzee

Disclaimer

Het Rijksinstituut voor Kust en Zee van Rijkswaterstaat (RWS-RIKZ), en degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, hebben de in deze publicatie opgenomen gegevens zorgvuldig verzameld naar de laatste stand van wetenschap en techniek. Desondanks kunnen er onjuistheden in deze publicatie voorkomen. Het Rijk sluit, mede ten behoeve van degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die uit het gebruik van de hierin opgenomen gegevens mocht voortvloeien.

Trefwoorden

Westerschelde, systeemkennis, kennisontwikkeling, morfodynamica, ecologie, morfologie, hydrodynamica, zandbalans, bodemdieren, vissen, vogels, zeezoogdieren, beoordelingscriteria, langetermijnvisie Schelde-estuarium, Europese richtlijnen.

Downloaden rapporten:

www.scheldenet.nl

kies dossier zeekennis



Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Zeeland Middelburg
---------------	------------------------------------

Titel	Ontwikkelingen in de kennis van de morfodynamica en ecologie en van de Westerschelde.
Rapportnummer	RIKZ/2005.034

Samenvatting	De Westerschelde geeft toegang tot de wereldhaven Antwerpen en is daarom van grote economische betekenis. Ook de ecologische betekenis van de Westerschelde is groot, het gebied wordt beschermd in het kader van de Vogel- en Habitatrichtlijn en de Kaderrichtlijn Water. Rijkswaterstaat heeft als beheerder van de Westerschelde de verantwoordelijkheid het beleid dat samen met Vlaanderen is neergelegd in de Langetermijnvisie Schelde-estuarium 2030 gestalte te geven. Door de invoering van de genoemde Europese richtlijnen zijn, bij planning van ingrepen in het systeem, de eisen aan onderbouwing, effectvoorspelling, mitigatie of compensatie hoger geworden. Om in te kunnen spelen op de toekomstige beheersvragen worden steeds hogere eisen gesteld aan de beschikbare kennis van het watersysteem en de nauwkeurigheid van voorspellingsmethoden. Dit eindrapport geeft een overzicht van de kennis die in de afgelopen vijf jaar is ontwikkeld. Het rapport laat zien dat de kennis over de Westerschelde sterk is toegenomen op het gebied van waterbeweging, sedimenttransporten, morfologie en ecologie en de samenhang daartussen. Er is inzicht verkregen in de werking van het Westerscheldesysteem en de mogelijkheden en moeilijkheden van modellering zijn in kaart gebracht. Met de opgedane kennis kunnen ingreep effect relaties beter geanalyseerd en voorspeld worden. Toch zijn er nog altijd beheers- en beleidsvragen die niet (volledig) beantwoord kunnen worden omdat delen van kennis en inzicht of methodieken om de vraag te kunnen beantwoorden ontbreken. De uitdaging is om de systeemkennis en voorspelmethodek zodanig verder te ontwikkelen dat beantwoording in de toekomst steeds beter en nauwkeuriger kan plaatsvinden.
Summary	The Westerschelde is the entrance to Antwerp Main Port and hence of great economic significance. The Westerschelde has an ecologic significance as well; the area is protected under the Birds Directive, Habitat Directive and the Water Framework Directive. As the body managing the Westerschelde, Rijkswaterstaat is responsible for the implementation of policy as laid down jointly with Vlaanderen in the Long-Term Vision for the Schelde Estuary 2030. Introduction of aforementioned European Directives has made requirements more strict in terms of substantiation, effect forecasting, mitigation or compensation during the planning stages of system alterations. To ensure appropriate responses to future area management issues, both available water system expertise and forecasting method accuracy have been upgraded. This final report describes the expertise developed in the past five years. The report is evidence of greatly enhanced expertise about the Westerschelde in terms of water movement, sediment transports, morphology and ecology, and their interrelations. There now exists better insight into the workings of the Westerschelde system, with modelling options and obstacles being defined. The expertise gained will allow better analysis and forecasting of alteration-effect relations. Yet questions concerning area management and policy remain, which cannot be answered (completely) in the absence of elements of expertise and insight or methods that are required to answer such questions. The challenge is to develop system expertise and forecasting methods to such a degree that in future the answers will be of an increasingly higher quality and accuracy.

Versie	Elgenaar (= 1 ^{ste} auteur)	Datum	Opmerking	Beoordeeld	Goedgekeurd
1	B.J. Kater	9-12-'05	Definitief	W. Groenewoud	B. Dauwe
Project ID	ZEEKENNIS 15192				
Vertrouwelijk	☐ JA, tot (datum)	☒ NEE			
Status	☐ Startversie	☐ Concept	☒ Definitief		



Heremietkreeft © Joris Geurts van Kessel

Samenvatting	9
1 Inleiding	15
1.1 Doelstelling	15
1.2 De opbouw van het rapport	17
1.3 Beleidskaders, wet- en regelgeving	18
1.3.1 Langetermijnvisie en Ontwikkelingsschets 2010	18
1.3.2 Kaderrichtlijn water	18
1.3.3 Vogel- en Habitatrichtlijn	19
1.4 Beoordelingscriteria	20
1.5 Onderzoeksopzet	21
1.5.1 Methoden	21
1.5.2 Relaties	22
1.6 Literatuur	25
2 Morfodynamica	27
2.1 De morfologische ontwikkeling van de Westerschelde	27
2.1.1 De ontwikkeling van het geulenstelsel	27
Intermezzo: Het ontstaan en de ontwikkeling van de Westerschelde	28
2.1.2 De ontwikkeling van het intergetijdengebied	32
2.1.3 Toegenomen kennis	33
2.1.4 Literatuur	33
2.2 De zandbalans voor de Westerschelde en de Westerschelde monding	34
2.2.1 Tot stand komen van de zandbalans	34
2.2.2 Beschrijving zandbalans Westerschelde tot de monding	35
2.2.3 Zandbalans voor de Westerschelde inclusief monding	39
2.2.4 Nauwkeurighedsanalyse	40
2.2.5 Toegenomen kennis	41
2.2.6 Literatuur	41
2.3 De waterbeweging en effecten van menselijk ingrijpen	42
2.3.1 Waterbeweging in de Westerschelde	42
2.3.2 Oorzaken van veranderingen in de waterbeweging	44

2.3.3	Toegenomen kennis	46
2.3.4	Literatuur	48
2.4	Morfodynamische modellen Westerschelde	49
2.4.1	(Denk)model morfodynamische relaties	49
2.4.2	Verbetering van het waterbewegings- model SCALWEST	50
2.4.3	Ontwikkeling, kalibratie en verificatie van het morfologisch model	51
2.4.4	Toegenomen kennis	54
2.4.5	Literatuur	55
3	Ecologie	57
3.1	Bodemdieren	57
	Intermezzo: Beelden van het historisch voorkomen van bodemdiervoorkomen	58
3.1.1	Het voorkomen van bodemdieren in de Westerschelde vanaf 1990	60
3.1.2	Simuleren en voorspellen van bodemdieren	61
3.1.3	Toegenomen kennis	65
3.1.4	Literatuur	65
3.2	Vissen	67
3.2.1	De kinderkamerfunctie van de Westerschelde	67
3.2.2	De kinderkamer en habitateisen	68
3.2.3	Volwassen vissen en habitateisen	69
3.2.4	Toegenomen kennis	69
3.2.5	Literatuur	69
	Intermezzo: Historische beschrijving van de ontwikkelingen van vogelaantallen	70
3.3	Vogels	71
3.3.1	Bestaande relaties tussen vogels en abiotiek	71
3.3.2	Veldonderzoek	73
3.3.3	Statistische modellen	73
3.3.4	Procesgeoriënteerde modellen	74
3.3.5	Toegenomen kennis	75
3.3.6	Literatuur	76

3.4	Zeezoogdieren	77
3.4.1	Historische ontwikkelingen in de aantallen zeezoogdieren	77
3.4.2	De geschiktheid van het habitat in de Westerschelde	80
3.4.3	De rol van het voedsel	80
3.4.4	De ontwikkeling van de populatieomvang	82
3.4.5	Toegenomen kennis	82
3.4.6	Literatuur	83
4	Synthese	85
4.1	Wat hebben we geleerd na 'Stram en struis'?	85
4.2	Twee aandachtspunten	88
4.2.1	Problematiek rond tijd- en ruimteschalen	88
4.2.2	De beperking van de habitatbenadering	91
4.3	Hoe verder?	93
4.4	Literatuur	96
	Begrippenlijst	99



Scheepvaart op de Westerschelde © Rijkswaterstaat

Samenvatting

De Westerschelde geeft toegang tot de wereldhaven Antwerpen en is daarom van grote economische betekenis. Ook de ecologische betekenis van de Westerschelde is groot. Het gebied wordt beschermd in het kader van diverse Europese richtlijnen. Er zijn veel en uiteenlopende factoren die bepalen welke en hoeveel planten en dieren voorkomen in de Westerschelde. Om te kunnen komen tot duurzaam beheer moet de beheerder rekening houden met al deze factoren. Dat betekent dat over al deze factoren voldoende kennis aanwezig moet zijn om beheerskeuzes te maken. Bij plannen voor grote ingrepen in het estuarium, stellen de Europese richtlijnen hoge eisen aan onderbouwing, effectvoorspelling, effectverlagende maatregelen en compensatie. Om aan deze eisen te kunnen voldoen zijn gedegen systeemkennis, inzicht en voorspelmethodieken nodig.

Het doel van het project ZEEKENNIS was om kennis te leveren op het gebied van morfodynamica en ecologie, die nodig is om de beheers- en beleidsvragen op het gebied van Veiligheid, Toegankelijkheid en Natuurlijkheid te kunnen beantwoorden. Veiligheid tegen overstroming, toegankelijkheid van de havens en de ecologische toestand (natuurlijkheid) vormen de pijlers onder de gezamenlijke langetermijnvisie van Vlaanderen en Nederland voor het Schelde-estuarium. Dit eindrapport vat de ontwikkelde kennis, inzichten en methodieken samen.

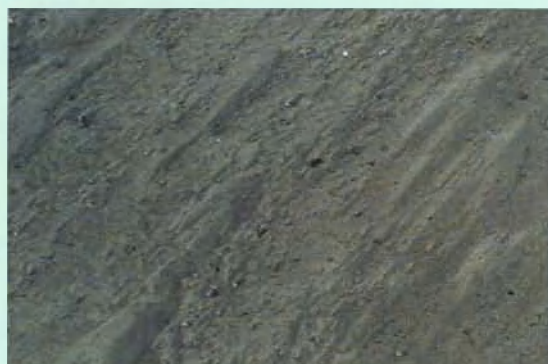
Morfologische geschiedenis Westerschelde: Rond het jaar 1000 ontstond de Westerschelde uit een verbinding van de zeearm de Honte met de rivier de Schelde. Uit die tijd zijn geen kaarten beschikbaar, dus een duidelijk beeld van het gebied is er niet. Aannemelijk is dat de Westerschelde toen erg smal was. In de loop der jaren veranderde de Westerschelde: de monding verbreedde; er ontstonden eilanden voor de kust die weer verdwenen; de Braakman vergrootte en stormvloedendepiepten het gebied. De mens beïnvloedde het systeem ook ingrijpend: vanaf de 12e eeuw is sprake van permanente bedijking langs het estuarium; men polderde gebieden in, zette in de tachtigjarige oorlog delen van het gebied onder water en polderde die vervolgens weer in. Vanaf 1800 worden min of meer systematisch dieptekaarten gemaakt. Vanaf die tijd is het dan ook mogelijk om de morfodynamische processen te bestuderen, het samenspel tussen waterbeweging, sediment en morfologie.

Zandbalans: Een zandbalans is het bijhouden van veranderingen in de hoeveelheid zand in een

bepaald gebied in een bepaalde tijd. Veranderingen in zandhoeveelheden ontstaan door erosie, sedimentatie en door baggeren, storten en zandwinnen. Met het vergelijken van zandbalansen over verschillende jaren kan worden vastgesteld hoeveel zand zich verplaatst in de Westerschelde en de monding en in welke richting. Daarnaast maakt de zandbalans duidelijk hoe zandtransporten gestuurd worden: door natuurlijke processen of door menselijke ingrepen. De zandbalansen van de Westerschelde tonen aan dat de Westerschelde is omgeslagen van een importerend naar een exporterend systeem. Dat wil zeggen dat er tegenwoordig zand uit de Westerschelde en het mondingsgebied verdwijnt. Het gevolg van verlies van zand voor de Westerschelde kan zijn dat ondiep-watergebieden en intergetijdengebieden - belangrijke gebieden voor bodemdieren, vissen, vogels en zeezoogdieren - zand verliezen, lager worden en uiteindelijk verdwijnen.

Waterbeweging: Bekend is dat veranderingen in de waterbeweging leiden tot veranderingen in

het sedimenttransport en daarmee tot wijzigingen in de morfologie. Ook is bekend dat ingrepen in de morfologie op hun beurt de waterbeweging veranderen. Wat ontbrak, was het samenbrengen van de theorie over de getijbeweging en de theorie over de waterbeweging met de ontwikkelingen die in de Westerschelde plaatsvonden. Hierbij gaat het niet alleen over natuurlijke ontwikkelingen, maar ook over ontwikkelingen die het gevolg zijn van ingrepen van de mens in het systeem. Deze leemte is nu opgevuld. Zo is gekeken naar effecten van baggeren op de drempels en zandwinning in de Westerschelde op de voortplantingssnelheid van de getijgolf, het getijvolume, de hoogwaterstanden, de getijslag, de ebdebieten, de maximale stroomsnelheden, laagwaterstanden, de vloeddebieten en het verschil in duur van de eb- en vloedperiode. Door alle kennis op een rij te zetten en verbanden te zoeken is inzicht verkregen in diverse processen.



Bodem intergetijdengebied © Fred Twisk

Morfodynamische modellen: Om een model te kunnen maken dat de effecten van ingrepen op de ecologie kan voorspellen, zijn uitkomsten van waterbewegingsmodellen nodig. Het bestaande waterbewegingsmodel SCALWEST berekende de stroomsnelheden op de platen, een ecologisch relevant gebied, niet goed. Daarom is het model vernieuwd. In dit verbeterde model wordt de ruwheid van de bodem in het intergetijdengebied anders berekend. Helaas, op ongeveer 20% van de platen vertoonden de berekende stroomsnelheden ook nu nog afwijkingen van de gemeten

stroomsnelheden. Bovendien beschrijft het model de waterstanden op de Schelde minder goed en berekent de waterstanden bij stormen te laag. Om toch te komen tot betrouwbare berekeningen zijn er nog andere alternatieven om de bodemruwheid in het model op te nemen. Een mogelijkheid is bijvoorbeeld rekening houden met de aanwezigheid van megaribbels op de platen.

Naast de waterbewegingsmodellen zijn ook morfologische modellen nodig om input te leveren voor ecologische voorspelmodellen, daarom is een morfologisch model ontwikkeld voor de Westerschelde.

Het model berekent zelf de baggerinspanning en gebruikt reële stortlocaties. Ook neemt het model zandwinning, moeilijk erodeerbare lagen en oeververdedigingen mee. Het morfologische deel is op bruikbaarheid getest. Het is bekend dat er na de tweede verruiming een dalende trend in baggerhoeveelheden te zien is. Het model reproduceerde deze trend en bleek ook de totale jaarlijkse baggerhoeveelheid redelijk goed te berekenen. Het ontwikkelde model kan toegepast worden om verschillende baggerscenario's te onderzoeken. In de praktijk blijken sedimentatie-erosiepatronen op bodemkaarten kwalitatief het beste beeld te geven van morfologische veranderingen. Het model kan dit nog niet zo gedetailleerd. Het overschat structureel de mate van sedimentatie en erosie. Om effecten op de grootschalige zandhuishouding te kunnen voorspellen moet het daarom verder gekalibreerd worden. Wat betreft zandimport en -export moet het model ook verder verbeterd en gekalibreerd worden. Dit geldt tevens voor de voorspelling van effecten op platen.

Bodemdieren: Sinds 1990 wordt twee maal per jaar in grote delen van de Westerschelde met een standaardmethode onderzocht welke bodemdieren aanwezig zijn en hoe groot hun biomassa is. Uit deze gegevens blijkt dat de zoutgradiënt bepalend is voor zowel het voorkomen van bodemdieren als van hun biomassa. Daarnaast blijkt dat dichtheid en biomassa hoger zijn in hoger gelegen zones dan in lager gelegen zones. De gegevens over de



Wedueroos © Joris Geurts van Kessel



Grondel © Joris Geurts van Kessel

verspreiding van de bodemdieren van de laatste vijftien jaar zijn gebruikt om voorspelmodellen te ontwikkelen. Voor twintig soorten bodemdieren is de kans van voorkomen bepaald bij zoutgehalte, diepte, stroomsnelheid en sedimentsamenstelling. Bij het testen van de twintig voorspelmodellen bleek, dat de voorspellingen zeer goed overeenkwamen met de gegevens uit de monitoring. Om te komen tot simuleren van de dichtheid van bodemdieren zijn tien dichtheidsmodellen ontwikkeld, waarmee analyses zijn uitgevoerd met diverse variabelen. Met de beschikbare gegevens bleek het niet mogelijk de biomassa van bodemdieren te voorspellen, terwijl juist de biomassa belangrijk is voor de voedselhoeveelheid voor vogels.

Vissen: Sinds 1970 wordt de omvang van de visbestanden van de Waddenzee, estuaria en de kustzone bepaald. Op basis hiervan kon het belang van deze gebieden als kinderkamer aangetoond worden. In de Westerschelde blijken ongeveer 50 soorten jonge vis te worden aangetroffen. Het gebied is een belangrijk opgroeigebied voor Tong, Harnasmannetje, Zeedonderpad, Bot, Zeebaars, Horsmakreel en Pollak. De dichtheid van jonge Tong is in het voorjaar nergens zo hoog als in de Westerschelde. Strikt genomen is de Westerschelde voor vier soorten kinderkamergebied: Schol, Tong, Griet en Steenbolk. In welke mate de kinderkamerfunctie van de Westerschelde samenhangt met morfologie en structuur van het estuarium is op basis van de waarnemingen niet te beantwoorden. Er is nog geen antwoord op

vragen als 'heeft deze soort vis alleen ondiep water nodig, of is ook enige mate van beschutting van belang?'



Bonte Strandloper © Pim Wolf

Vogels: De Westerschelde is voor verschillende vogelsoorten aangewezen als Vogelrichtlijngebied. Om de effecten van menselijk ingrijpen in het systeem op de vogelstand te kunnen voorspellen, is het noodzakelijk de samenhang tussen vogels en kenmerken van het gebied te kennen. Met name Bergeenden en diverse soorten steltlopers zijn voor hun voedselvoorziening afhankelijk van bodemdieren die zich tijdens laagwater op en in slikken en platen bevinden. De eenvoudigste manier om effecten van ingrepen op de waterbeweging, sedimenttransporten en morfologie van de Westerschelde op een vogel te modelleren is uit te gaan van een relatie tussen ingrepen en voedselgebied.

Literatuuronderzoek bracht aan het licht dat er nauwelijks onderzoek is gedaan naar het verband tussen vogelvoorkomen, sedimentsamenstelling en droogvalduur. Daarom zijn gegevens verzameld over het vogelvoorkomen in verschillende delen van het intergetijdengebied. Uit die gegevens werd, met behulp van statistische analyse, het verband afgeleid tussen het aantal minuten dat vogels voedsel zoeken en de eigenschappen van de telgebieden. Analyse liet een verband zien tussen het aantal minuten dat vogels voedsel zoeken en stroomsnelheid, droogvalduur en zoutgehalte. Bij validatie bleken de meeste modellen echter niet in staat de waargenomen aantallen vogels buiten de onderzoeksvakken te kunnen reproduceren. Een andere manier van modelleren is modellen ontwikkelen die gebaseerd zijn op processen, de werkelijke gang van zaken in de natuur. Voor de Scholekster was een procesmodel voorhanden, dat aangepast werd aan de Westerschelde. Dit model geeft een juiste simulatie van de ontwikkeling van Scholeksters in het gebied, hoewel het nog verbeterd kan worden.



Gewone Zeehond © Martijn de Jonge

Zeezoogdieren : De Gewone Zeehond en de Bruinvissen zijn zeezoogdieren die regelmatig in de Westerschelde worden waargenomen. Deze zeezoogdieren stellen eisen aan de omgeving waarin ze leven. De onderzoeksvraag was of er habitatkenmerken zijn, die door ingrepen in de Westerschelde zodanig worden beïnvloed, dat de zeezoogdieren daar effect van ondervinden.

Gewone Zeehonden zijn voor hun voorkomen afhankelijk van platen met steile randen die grenzen aan diep water. Ze gebruiken de platen om te rusten, jongen te werpen, te zogen en te verharen. Hoe hoger de plaat is, hoe langer de duur van de rustperiode is bij opkomend tij. Op basis van deze gegevens zijn geschiktheidskaarten gemaakt voor de Gewone Zeehond voor het jaar 1931 (vóór de populatieafname inzette) en van 2001. Uit vergelijkingen met tellingen werd duidelijk dat de zeehonden inderdaad op de 'geschikte' plaatsen voorkomen. Ook werd duidelijk dat het aantal 'geschikte plaatsen' tussen 1931 en 2001 niet is afgenomen; menselijke ingrepen hebben dus geen invloed gehad op het aantal ligplaatsen van de Gewone Zeehond in de Westerschelde. Bij een toenemende zeehondenpopulatie kan verstoring een beperking van de aantallen gaan vormen. Naast deze kennis is vast komen te staan, dat een andere mogelijke beperkende factor voor de populatieontwikkeling van de Gewone Zeehond de verontreinigingen zijn. De meest beperkende factoren voor het aantal Bruinvissen zijn waarschijnlijk de toegenomen scheepvaartintensiteit en een niet optimaal voedselaanbod.

Beoordelingscriteria: Rijkswaterstaat heeft als beheerder beoordelingscriteria nodig aan de hand waarvan de toestand van de Westerschelde beoordeeld kan worden ten aanzien van toegankelijkheid, veiligheid en natuurlijkheid en andere functies. Voor het afleiden van de criteria zijn inventarisaties van de ecologische toestand en het gebruik van de Westerschelde uitgevoerd. Daarnaast vond een analyse plaats van beleidsdoelen en de wijze waarop deze zijn verwoord. Uit deze inventarisaties werd geconcludeerd dat Europese richtlijnen dwingender zijn dan nationale beleidskaders. De beleidsdoelen met betrekking tot natuurlijkheid blijken erg divers en vaak alleen kwalitatief omschreven te zijn. Dat maakt het afleiden van beoordelingscriteria voor natuurlijkheid moeilijker dan het afleiden van criteria voor veiligheid en toegankelijkheid. Tot slot zijn selectiecriteria voor natuur en water bestudeerd die elders zijn ontwikkeld of gebruikt. Hieruit kwam naar voren

dat bij beoordelingscriteria voor natuurlijkheid de indeling in processen, ecotopen en soorten goed bruikbaar is. Duidelijk werd, dat voor soorten de meeste concrete doelen zijn geformuleerd, voor ecotopen al minder en voor processen nog minder. De criteria voor processen bleken bovendien voor het grootste deel 'responscriteria' te zijn, criteria die zijn gebaseerd op de gevolgen van de processen. Aan de hand van de inventarisaties is een set beoordelingscriteria samengesteld.

Bovenstaande samenvattingen laten zien dat de kennis over de Westerschelde sterk is toegenomen op het gebied van waterbeweging, sedimenttransporten, morfologie en ecologie en de samenhang daartussen. Er is inzicht verkregen in de werking van het Westerscheldesysteem en de mogelijkheden en moeilijkheden bij modellering zijn in kaart gebracht. Toch zijn er nog altijd beheers- en beleidsvragen die niet (volledig) beantwoord kunnen worden omdat de kennis en het inzicht ontbreekt, of omdat methodieken om de vraag te kunnen beantwoorden ontbreken. De uitdaging is om de systeembekendheid en voorspelmethodiek zodanig verder te ontwikkelen dat beantwoording in de toekomst steeds beter en nauwkeuriger kan plaatsvinden.



Verdrongen Land van Saeflinghe © Rijkswaterstaat

1 Inleiding

De Westerschelde vormt de toegang tot de wereldhaven van Antwerpen. Om de toegankelijkheid van de Scheldehavens te waarborgen zijn de drempels in de vaargeul verdiept en om deze diepte in stand te houden wordt regelmatig in het systeem gebaggerd en gestort. Langs grote delen van de vaargeul is steenbestorting aangebracht om te voorkomen dat de geulen de dijken ondermijnen of onwenselijke afslag van schorren veroorzaken. Naast deze vaarweg-functie heeft de Westerschelde als belangrijkste gebruiksfuncties zandwinning, visserij en recreatie.

De Westerschelde heeft een grote ecologische betekenis, het gebied is bijvoorbeeld een belangrijk doortrek- en overwinteringsgebied voor steltlopers en eenden die voedsel zoeken in het intergetijdengebied. Het Verdrongen Land van Saeftinghe is het grootste brakwaterschor in Noordwest-Europa. Dankzij de hoge natuurwaarden is het gebied aangewezen als Vogelrichtlijngebied en aangemeld als Habitatrichtlijn gebied.

Baggeren, storten en zandwinning beïnvloeden de waterbeweging en morfologie en daarmee de leefruimte van planten en dieren. Er zijn dan ook weinig watersystemen in West-Europa, waar de noodzaak om economie en ecologie goed samen te laten gaan zo sterk is als in het Schelde-estuarium.

1.1 Doelstelling

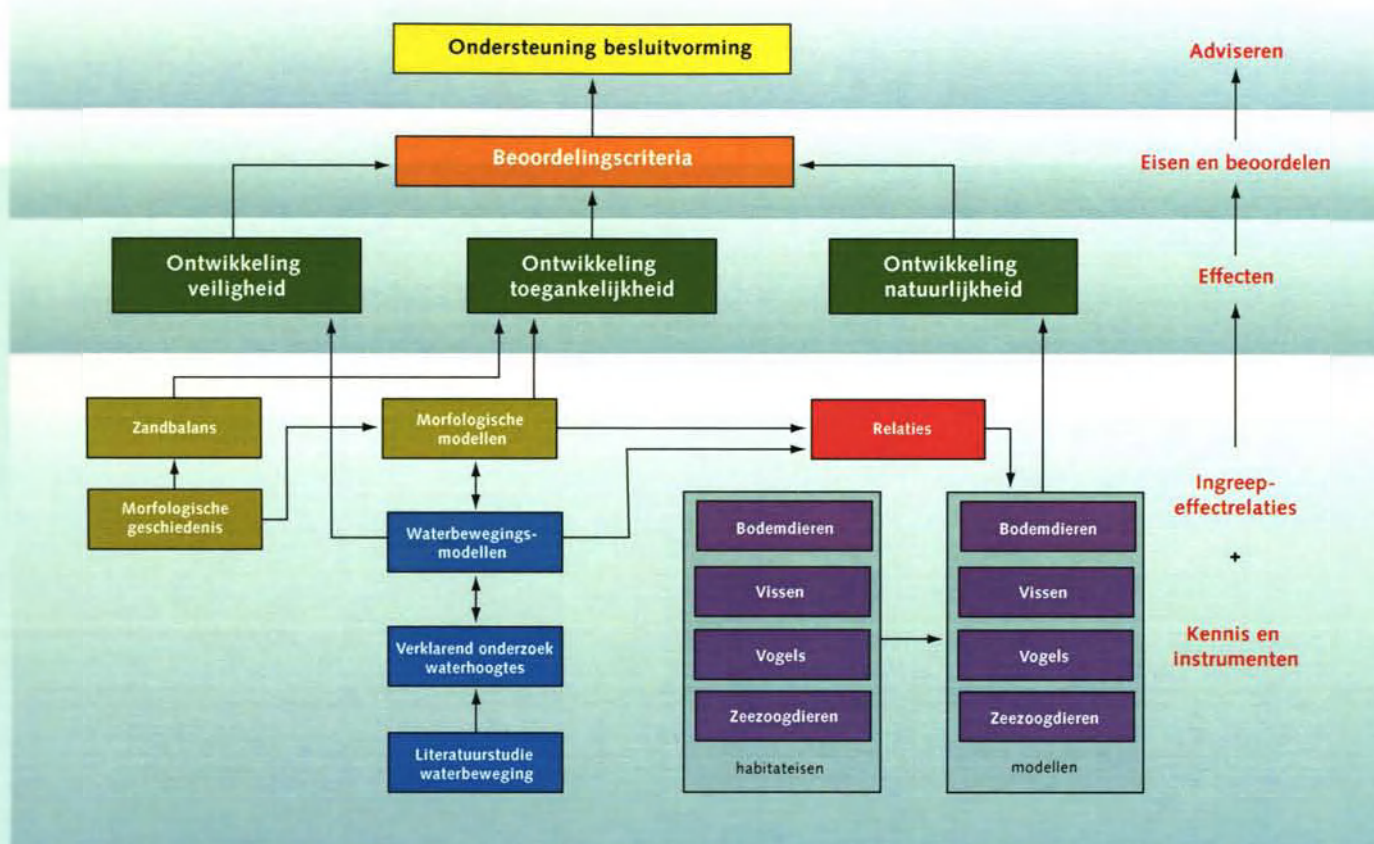
Rijkswaterstaat heeft als beheerder van de Westerschelde de verantwoordelijkheid het beleid dat is neergelegd in de Langetermijnvisie Schelde-estuarium 2030 gestalte te geven. Dit beleid is omschreven als het waarborgen en afstemmen van de functies veiligheid (tegen overstromingen), toegankelijkheid (van de havens) en natuurlijkheid (het estuarium en de daarvan afhankelijke planten en dieren). De Vogel- en Habitatrichtlijn en de Kaderrichtlijn Water bepalen hierbij de juridische ruimte. Door de invoering van deze Europese richtlijnen zijn, bij planning van ingrepen in het systeem, de eisen aan onderbouwing, effectvoorspelling, mitigatie of compensatie hoger geworden. Om aan deze eisen te kunnen voldoen is een toename van systeemkennis en een verbetering van voorspellingsmethodieken nodig.

In 1997 werd de studie OOSTWEST afgerond met het rapport 'Westerschelde, stram of struis'. De bezorgdheid dat menselijke ingrepen een negatieve invloed zouden hebben op het estuarien systeem was aanleiding voor deze studie. Het doel was het geven van een beschrijving van de toestand van de Westerschelde op dat moment.

Na OOSTWEST zijn twee parallelle sporen ingezet, om te komen tot het vergroten van het inzicht in het fysisch en ecologisch functioneren van de Westerschelde. Het doel is het kunnen voldoen aan de eisen die het beleid en het juridisch kader stellen. De beide sporen zijn:

- het monitoringsprogramma MOVE om de gevolgen van de tweede verdieping (1997/1998) te kunnen evalueren;
- het kennisontwikkelingsproject ZEEKENNIS.

In de studie OOSTWEST zijn de ecologische effecten van veranderingen in het fysisch systeem ingeschat via expertkennis. De opzet van ZEEKENNIS is om kwantitatieve kennisregels af te leiden, waardoor de ingreep-effect relaties concreter en beter onderbouwd te beschrijven zijn. Onderzoek op het gebied van hydrodynamica, morfologie en ecologie



Figuur 1: Samenhang onderzoeksgebieden ZEEKENNIS

van de Westerschelde staat hierin centraal. De ontwikkelde kennis moet ingezet kunnen worden bij het beantwoorden van beleids- en beheersvragen. Enkele voorbeelden van vragen die beantwoord moeten worden zijn: wat zijn de gevolgen van morfologische ingrepen op de waterstanden en stromingen in de Westerschelde (veiligheid), wat is een optimale stortstrategie (toegankelijkheid), op welke manier kan zandwinning een rol spelen in de bagger- en stortstrategie (toegankelijkheid), welke kennis moet verder worden ontwikkeld en welke mogelijkheden zijn er om met gebruik van modellen morfologische en ecologische ontwikkelingen van de Westerschelde te voorspellen (natuurlijkheid)?

Bij de start van het project ZEEKENNIS zijn de beleids- en beheersvragen die toen speelden geïnventariseerd. Met de implementatie van de Vogel- en Habitatrichtlijn en de Kaderrichtlijn Water, de MER Vaargeulverruiming en de mogelijke natuurcompensatieprojecten zijn deze oude beleids- en beheersvragen in een ander licht komen te staan. In dit rapport worden geen beleids- en beheers-

vragen beantwoord, maar zij dienen vooral als kapstok voor de te ontwikkelen kennis. In de synthese wordt aangegeven in welk beleids- of beheerskader de opgedane kennis toegepast kan worden ter beantwoording van vragen.

1.2 De opbouw van het rapport

De ontwikkelde kennis is neergelegd in een aantal hoofdrapporten, vaak met vele onderliggende rapporten. Figuur 1 geeft de belangrijkste onderzoeksthema's en hun onderlinge relatie weer. In hoofdstuk 2 en 3 wordt deze kennis samengevat.

Dit eindrapport 'Ontwikkelingen in kennis van morfodynamica en ecologie van de Westerschelde' geeft een weergave van de onderzoeken die in het kader van het project ZEEKENNIS zijn gedaan. Doel van het rapport is de kennis die in het kader van het project is ontwikkeld toegankelijk te maken voor beheers- en beleidsmakers. De hoofdstukken hebben daarom niet het karakter van een wetenschappelijke verhandeling, maar zijn bedoeld als samenvatting. De onderliggende rapporten zijn uiteraard wel op wetenschappelijke leest geschoeid, en voor (wetenschappelijke) controle en beoordeling van de gegevens wordt naar deze rapporten verwezen. In dit rapport worden geen beleids- en beheersvragen beantwoord.

De ontwikkelde kennis en inzichten moeten als eerste gebruikt worden voor het MER Verruiming Vaargeul, er is naar gestreefd dit rapport voor deze toepassing optimaal toegankelijk te maken. Veel van de hier gepresenteerde kennis is ook opgenomen in de kennisinventarisatie ten behoeve van het MER Vaargeul Verruiming.

Een korte inleiding per hoofdstuk/paragraaf geeft aan welke onderwerpen behandeld worden. Meestal is ook Figuur 1 - onderzoeksgebieden van ZEEKENNIS - in de inleiding opgenomen, om aan te geven welke plaats het betreffende onderwerp binnen het project inneemt. Vervolgens wordt de opgedane kennis in samengevatte vorm gepresenteerd, en aansluitend wordt aangegeven welke kennis is opgedaan. De hoofdstukken/paragrafen

eindigen met een overzicht van literatuur gebruikt voor het schrijven van het hoofdstuk of de paragraaf. De rapporten gemaakt in het kader van het project ZEEKENNIS worden hierbij **dikgedrukt** weergegeven. De hoofdrapporten zijn daarbij naast dik ook **rood** gedrukt. De rapporten zijn te downloaden op www.scheldenet.nl, kies dossier Zeekennis.

De in de intermezzo's geplaatste teksten bevatten geen kennis die in het project is ontwikkeld, maar dienen ter illustratie en ondersteuning van het hoofdstuk waarin zij zijn geplaatst.

Aan het eind van het rapport is een verklarende woordenlijst opgenomen.

De laatste bladzijde van dit rapport is een uitklapbare kaart waarop de ligging van platen, geulen, plaatsen en dergelijke weergegeven wordt.

1.3 Beleidskaders, wet- en regelgeving

Voor het Schelde-estuarium zijn er – naast het veiligheidsbeleid en het beleid voor toegankelijkheid – twee belangrijke kaders die beoordelingscriteria en randvoorwaarden opleveren voor het beheer: de Langetermijnvisie Schelde-estuarium 2030 (LTV 2030) met de daarop gebaseerde Ontwikkelingsschets 2010, en Europese richtlijnen (Kaderrichtlijn Water, Vogelrichtlijn en Habitatrichtlijn). De LTV 2030 is relevant omdat Nederland en Vlaanderen het als basis beschouwen voor hun gemeenschappelijke beleid voor het estuarium. De Vogel- en Habitatrichtlijn en de Kaderrichtlijn Water zijn relevant omdat ze juridisch bindende bepalingen bevatten over doelstellingen voor een natuurlijk systeem en de wijze waarop voorgenomen ingrepen of effecten dienen te worden getoetst.

1.3.1 Langetermijnvisie en Ontwikkelingsschets 2010

Om een beleids- en beheersmatig antwoord te vinden op de toenemende economische wensen en de wens om het natuurlijk systeem van het estuarium te beschermen, met behoud van veiligheid, hebben Nederland en Vlaanderen gezamenlijk de Langetermijnvisie Schelde-estuarium 2030 opgesteld. Die visie vormt de richtlijn voor beleid en beheer in de komende jaren. Voor de drie hoofdpijlers van de visie Veiligheid, Toegankelijkheid en Natuurlijkheid zijn streefbeelden uitgewerkt voor de situatie in 2030. De visie noemt de volgende fysieke systeemkenmerken van het estuarium die in stand moeten worden gehouden:

- een open en natuurlijk mondingsgebied;
- een systeem van hoofd- en nevengeulen met

tussenliggende platen en ondiep watergebieden in de Westerschelde (meergeulenstelsel);

- een riviersysteem met een meanderend karakter in de Zeeschelde en
- een grote diversiteit aan habitats, met name schorren, slikken, platen en ondiep water in zout, brak en zoet gebied, gecombineerd met natuurlijke oevers.

De concrete vertaling naar het beleid en beheer voor de middellange termijn (2010) staat beschreven in de Ontwikkelingsschets 2010. ZEEKENNIS levert kennis en inzicht om de beleids- en beheersvragen die voortkomen uit de Ontwikkelingsschets 2010 te kunnen beantwoorden.

1.3.2 Kaderrichtlijn Water

De Kaderrichtlijn Water (KRW) beoogt de bescherming en verbetering van aquatische ecosystemen en duurzaam gebruik van water. Hiertoe wordt een kader geboden voor het vaststellen van doelen, monitoren van de kwaliteit en nemen van maatregelen, om voor ieder water de Goede Ecologische Toestand (GET) te bereiken. Om aan de doelstelling voor 2015 te voldoen moet een waterlichaam aan alle normen van de goede chemische en de goede ecologische toestand voldoen. De Westerschelde is in dit kader ingedeeld als sterk veranderd overgangswater. Voor sterk veranderde wateren geldt een aangepaste doelstelling, het Goed Ecologisch Potentieel (GEP), die rekening houdt met de gevolgen die de morfodynamische ingrepen uit het verleden op de ecologische toestand hebben.

De goede ecologische toestand is onderverdeeld in een goede biologische toestand en eisen ten aanzien van morfodynamica en algemene fysisch-chemische waterkwaliteit. De biologische kwaliteits-elementen omvatten samenstelling en abundantie van fytoplankton, macrofyten, bodemdieren en vis. De relatie tussen kennis ontwikkeld in ZEEKENNIS en de kennis nodig voor de KRW ligt bij een aantal fysisch-chemische parameters, bij de kwantiteit en kwaliteit van de habitat voor bodemdieren en bij vis.



Bontbekplevier © Pim Wolf

1.3.3 Vogel- en Habitatrichtlijn

In de Vogel- en Habitatrichtlijn (VHR) staat de bescherming van specifiek in de richtlijnen genoemde soorten en habitats centraal. De Westerschelde is aangewezen (Vogelrichtlijn) of aangemeld (Habitatrichtlijn) voor een twintigtal vogels, een aantal typen jong schor en voor de habitat 'estuarium'. Via instandhoudingsdoelen verplicht Nederland zich om voor de betreffende soorten en habitats de - in de doelen omschreven - 'staat van instandhouding' te garanderen. Deze formulering betekent, dat voor de soort of habitat een niveau dient te worden bereikt dat duurzaam is. Dat impliceert dat de fysische, chemische en biologische processen in de Westerschelde zodanig moeten zijn, dat die duurzaamheid gegarandeerd is. De instandhoudingsdoelen kunnen betekenen dat bepaalde maatregelen noodzakelijk zijn om de omschreven doelen te bereiken. Dat kunnen actieve herstelmaatregelen zijn, maar ook maatregelen om de effecten van een bepaalde vorm

van gebruik te verminderen. Daarnaast vormen de instandhoudingsdoelen de toetsingscriteria voor ingrepen. Als bij het uitvoeren van een ingreep significante effecten op de instandhoudingsdoelen worden verwacht, zijn compensatiemaatregelen noodzakelijk.

ZEEKENNIS levert kennis die bijdraagt aan de verbetering van het systeeminzicht en voorspellingsmethodieken, zodat betere effectvoorspellingen en betere besluitvorming rond locatiekeuzes en type inrichting van herstel- of compensatiemaatregelen mogelijk zijn.

1.4 Beoordelingscriteria

Beleidskaders en –doelstellingen zijn meestal te algemeen geformuleerd. Om na te gaan waar een beheerder echt aan moet voldoen is een analyse gemaakt van de meest relevante beleidskaders en beleidsdoelstellingen. Vervolgens werden beoordelingscriteria afgeleid. Beoordelingscriteria zijn graadmeters die de toestand van het natuurlijke systeem en van de gebruiksfuncties samenvatten in voor het beheer en beleid relevante termen.

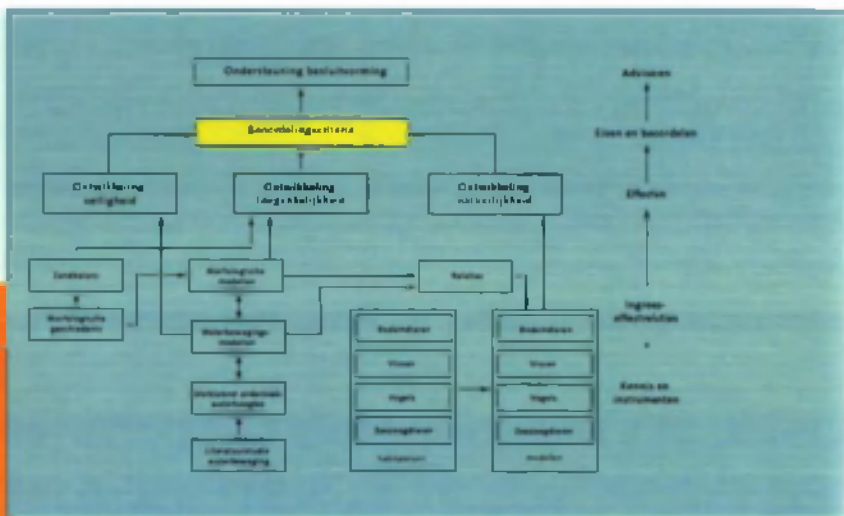
Het onderzoek naar beoordelingscriteria richtte zich op de drie door het beleid als prioritair aangemerkte aspecten van de Westerschelde: veiligheid tegen overstroming, toegankelijkheid van de Scheldhavens en natuurlijkheid van het systeem. Voor het afleiden van beoordelingscriteria zijn inventarisaties uitgevoerd van de ecologische toestand van de Westerschelde en van het gebruik van het systeem. Daarnaast vond analyse van de beleidsdoelen plaats en de wijze waarop deze zijn verwoord. Tot slot zijn beoordelingskaders en selectiecriteria voor natuur en water bestudeerd die in andere kaders zijn ontwikkeld en/of gebruikt (Ander beheer spuisluizen Haringvliet en Afsluitdijk, Vliegveid in zee).

Uit de analyse van de beleidskaders werd geconcludeerd dat de Europese richtlijnen veel dwingender zijn dan de nationale beleidskaders zoals, bijvoorbeeld het zandwinbeleid en de Structuurnota Kust

& Zeevisserij. Verder bleek dat beleidsdoelen met betrekking tot veiligheid en toegankelijkheid eenduidig zijn en zich daardoor relatief goed laten vertalen in een overzichtelijke set beoordelingscriteria. Beleidsdoelen voor natuurlijkheid daarentegen, zijn meer divers en vaak alleen kwalitatief omschreven. Het afleiden van beoordelingscriteria voor de functie natuurlijkheid vergt daardoor een veel grotere inspanning dan voor veiligheid en toegankelijkheid. Tenslotte werd geconcludeerd dat, binnen de beleidsdoelen voor natuurlijkheid, de mate waarin de doelen concreet zijn geformuleerd afneemt in de volgorde: soorten, habitats, processen.

Bij bestudering van elders gebruikte beoordelingskaders bleek dat de indeling in processen, patronen en soorten, goed bruikbaar is bij beoordelingscriteria voor natuurlijkheid. Ook bleek, dat beoordelingscriteria voor soorten en patronen domineren en dat er veel minder beoordelingscriteria voor processen zijn. Toch is herstel van processen een hoofddoel van het waterbeleid, en zeker ook van het beleid voor de Westerschelde.

De gebruikte beoordelingscriteria bij processen bestonden doorgaans uit zogenaamde responscriteria, dat wil zeggen dat de criteria zijn gebaseerd op de gevolgen van de processen. Een voorbeeld is het aantal kortsluitgeulen: de huidige criteria betreffen het behoud van de bestaande kortsluitgeulen, maar voor het beheer zijn juist criteria relevant voor



het vermogen van het systeem om kortsluitgeulen te laten ontstaan. Er werd ook geconcludeerd, dat criteria voor sturende fysische processen niet bruikbaar zijn voor beoordeling, als ze vanuit het systeem zelf worden afgeleid en dus niet vanuit het beleid. Immers, in dat geval zijn er geen beleidsdoelen voor deze criteria.

Als laatste bleek dat goed moet worden nagedacht over de mate van detaillering van het te ontwikkelen beoordelingskader. Een gedetailleerd beoordelingskader kan onhanteerbaar worden en tot verlies aan draagvlak leiden bij belanghebbenden.

Aan de hand van de inventarisaties van de toestand van de Westerschelde, het beleid en de andere beoordelingskaders wordt een voorstel voor een set beoordelingscriteria gegeven.

1.5 Onderzoeksoptzet

1.5.1 Methoden

Voor het beheer van het estuarium is het van belang te kunnen voorspellen welke veranderingen zullen optreden in het voorkomen, de dichtheid en de biomassa van belangrijke soorten, na een grootschalige ingreep van de mens in het systeem. Zulke voorspellingen moeten kunnen worden gemaakt voor zowel lokale ingrepen als voor systeembrede ingrepen. Voor het doen van dergelijke voorspelling en/of het vaststellen van ingreep-effect relaties zijn diverse methoden voorhanden.

Expert judgement

Expert judgement is een veel gebruikte methode voor met name complexe problemen. Bij het aanpakken van een probleem via expert judgement gaan diverse deskundigen met elkaar in overleg om hun (wetenschappelijk gegronde) visie op het

probleem te geven. Door de diverse visies met elkaar te confronteren en in verband te brengen kan tot een oplossing van het probleem worden gekomen. Expert judgement is toegepast in OOSTWEST, de voorloper van ZEEKENNIS.

Analyse van de historische data

Veel informatie kan verkregen worden door monitoringsgegevens te analyseren en naast ingrepen te leggen. Nadeel van de methode is echter dat met monitoring de gelijktijdig optredende effecten van diverse maatregelen en ontwikkelingen worden gemeten.

Vergelijken met andere estuaria

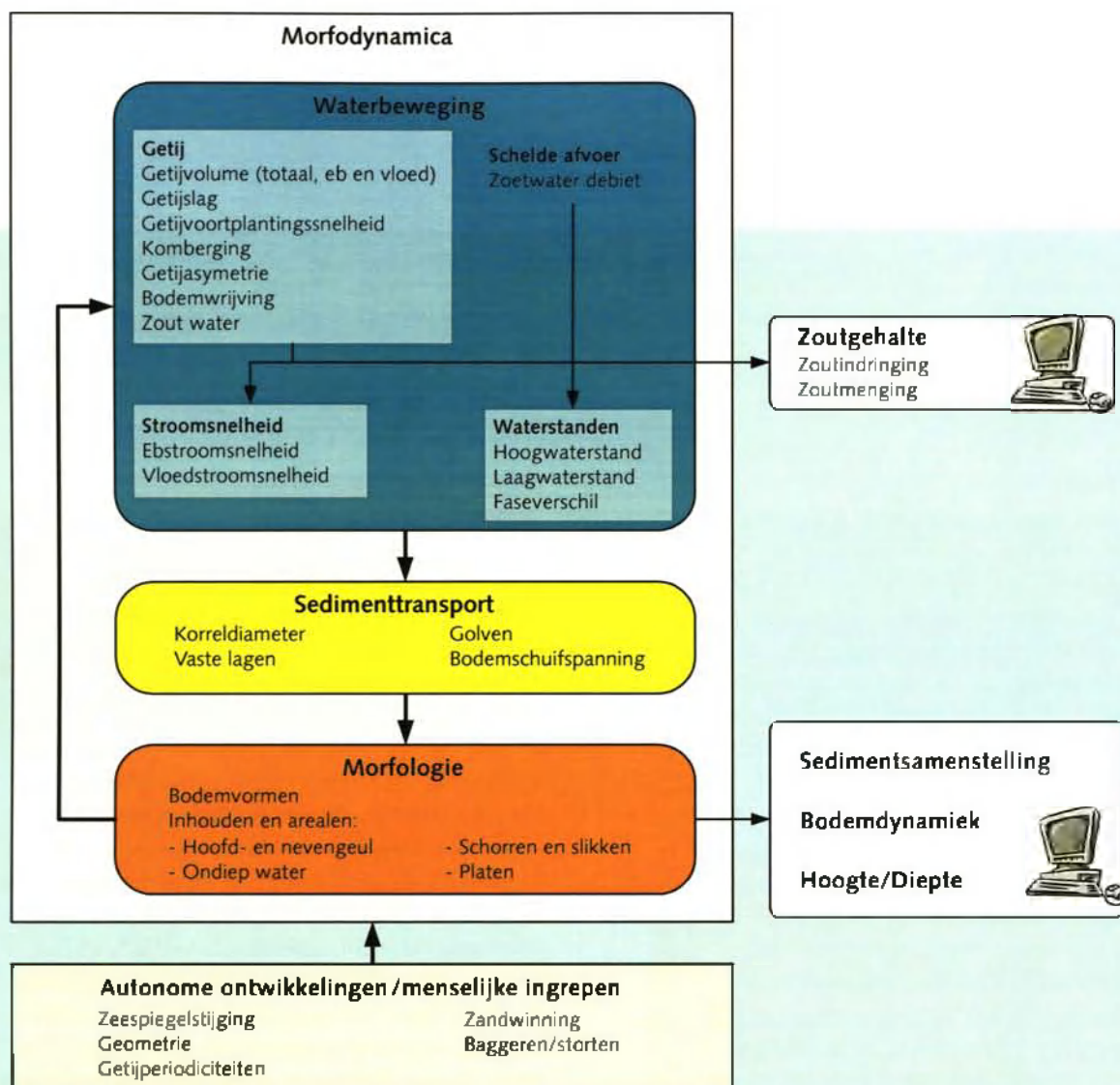
Het principe van deze aanpak is simpel. Kies wereldwijd een aantal estuaria uit die bijvoorbeeld een richting laten zien waarin de Westerschelde zich na verruiming ontwikkelt. Zoek vervolgens voor die estuaria informatie die nodig is om een uitspraak over de Westerschelde te kunnen doen. Het gevonden resultaat geeft informatie over het effect van een verruiming van de Westerschelde. In de praktijk levert dit problemen op, omdat zo'n range van estuaria niet of moeilijk te vinden is voor de gematigde klimaatzone en omdat de databeschikbaarheid in veel gevallen sterk wisselend blijkt te zijn. Toch heeft deze aanpak in potentie mogelijkheden, met name op het gebied van hypotheseontwikkeling met betrekking tot het gedrag van estuaria in generieke zin.

Analyse van effecten op de ecosysteemfuncties

Door het ontrafelen van ecologische functies wordt systeemkennis verworven. Met deze kennis kunnen ingreep-effect relaties worden vastgesteld.

Modelketens

Modellen zijn de geëigende instrumenten om voorspellingen te doen. In het ideale geval gaat het om een keten van op elkaar afgestemde modellen. Om te kunnen komen tot een bruikbaar ecologisch voorspelmodel in de modelketen is het nodig te bepalen welke variabelen als input voor dat model gebruikt worden en welke variabelen het model zelf moet kunnen voortbrengen om eventueel door te geven naar het volgende model.



Figuur 2: Morfologisch relatieschema

De opzet van ZEEKENNIS is om kwantitatieve kennisregels af te leiden, waardoor de ingreep-effect relaties concreter en beter onderbouwd te beschrijven zijn. Daarom is binnen ZEEKENNIS gekozen voor het uitwerken van modelketens.

1.5.2 Relaties

Morfodynamica

Morfodynamica is het samenspel tussen de waterbeweging, het sedimenttransport en de morfologie. Figuur 2 laat zien hoe de diverse parameters binnen het niveau van de morfodynamica in grote lijnen met elkaar samenhangen.

De waterbeweging in de Westerschelde wordt aan-

gestuurd door getij afkomstig uit de Noordzee en een relatief kleine zoet waterafvoer uit de Schelde.

Dit samenstromen zorgt ervoor dat er een bepaald zoutgehalte ontstaat in de Westerschelde. Het mengingsproces wordt voornamelijk bepaald door de geometrie van de Westerschelde.

Het getij in de Westerschelde plant zich als een golf voort door het estuarium en bepaalt de hoog- en laagwaterstanden. Het verschil tussen hoog en laagwater is de getijslag. De snelheid waarmee de golf zich voortplant is de getijvoortplantingssnelheid. Het ondieper worden van het estuarium vormt het getij, waardoor het getij de bodem als het ware begint te 'voelen'. Ook dragen wrijving en het weerkaatsen van de getijgolf tegen de randen van het estuarium bij aan de vervorming van

het getij. Dit resulteert in een asymmetrisch getij. Hierdoor is de vloedperiode korter dan de ebperiode en kan de getijslag, het verschil tussen hoog- en laagwater, toenemen.

Ter hoogte van Vlissingen stroomt circa 1 miljard m³ water de Westerschelde in en weer uit. De som van het eb- en vloedvolume wordt het getijvolume genoemd. Het water dat de Westerschelde in- en uitstroomt wordt geborgen in het intergetijdengebied en in de geulen. De totale hoeveelheid water die in de Westerschelde tussen laag- en hoogwater kan worden geborgen wordt de komberging genoemd.

De stroomsnelheid is afhankelijk van de debietverdeling van het water over de verschillende geulen en deze is afhankelijk van de getijasymmetrie. De stroomsnelheid is ook afhankelijk van bodemvormen. De aanwezigheid van bijvoorbeeld megaribbels zorgt voor meer wrijvingseffecten dan een gladde bodem.

De snelheidsverschillen in de verschillende geulen zijn van groot belang voor het sedimenttransport. De sedimentsamenstelling bestaat voornamelijk uit zand en slib. Golfslag en de aanwezigheid van eventuele vaste lagen zoals bijvoorbeeld geulwandverdijging beïnvloeden het sedimenttransport.

Door erosie- en sedimentatieprocessen verandert de morfologie van de bodem en kunnen de inhouden en arealen van de hoofd- en nevengeulen veranderen maar ook de inhouden en arealen ondiep water, platen, slikken en schorren. Deze veranderingen in de bodem en geometrie van de Westerschelde hebben weer een sterke invloed op de waterbeweging zelf. Hierdoor ontstaat een morfodynamische cyclus.

De parameters uiterst rechts in Figuur 2, vormen een belangrijke input voor ecologische modellering.

Relatie ecologie en morfodynamica

Vanuit de kennis van de habitats van diverse diergroepen en -soorten worden meerdere verbanden met verschillende morfodynamische parameters verondersteld. Om effecten van menselijk ingrijpen

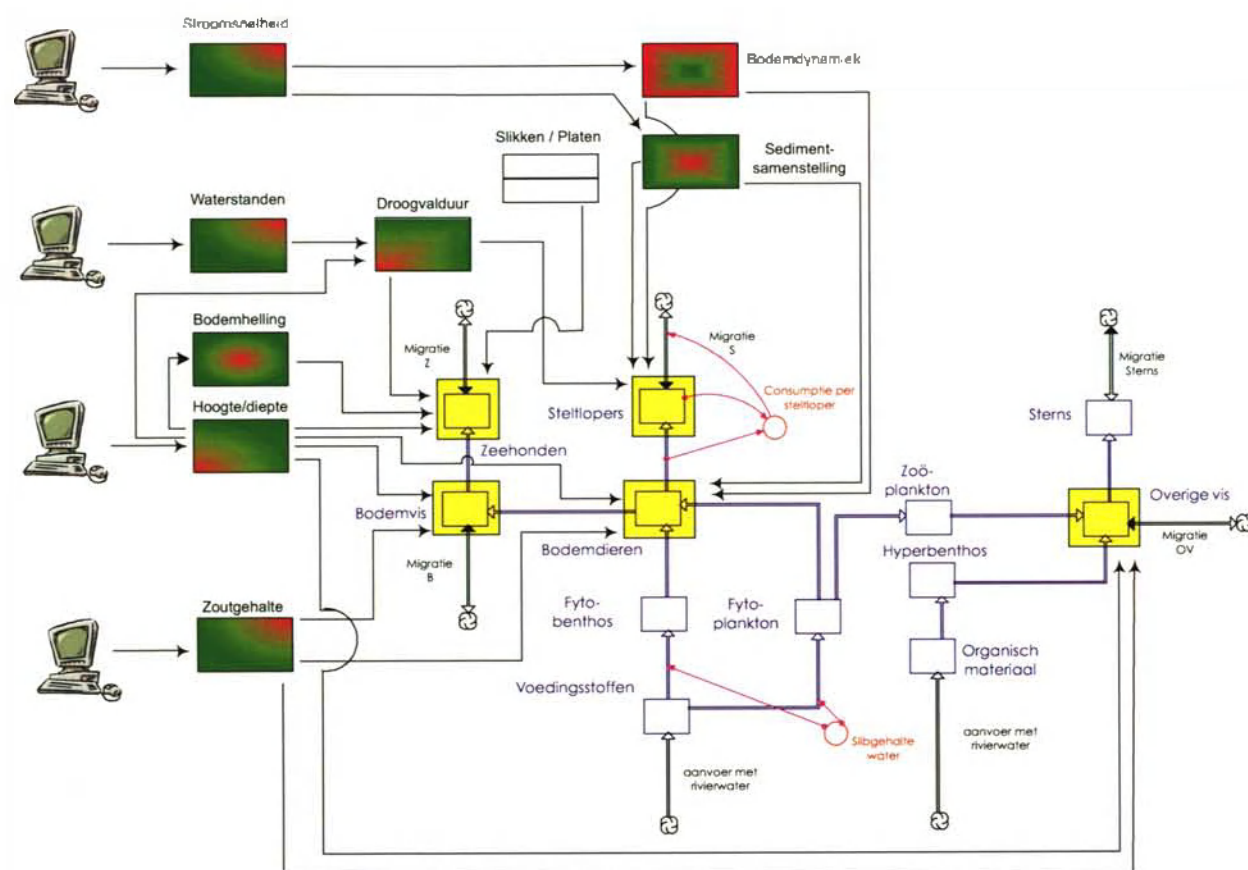
in het systeem op de ecologie te kunnen vaststellen via morfologische parameters, moet eerst bekend zijn wat de effecten van menselijk ingrijpen op die parameters is. Effecten op morfologische parameters zijn bijvoorbeeld te berekenen met morfodynamische modellen.

Binnen ZEEKENNIS is de aandacht uitgegaan naar de volgende parameters:

- Waterstanden
- Stroomsnelheden
- Zoutgehalte
- Hoogte/diepte
- Sedimentsamenstelling
- Bodemdynamiek
- Arealen (ondiep water, intergetijdengebied, enz.)

Voor organismen zijn de gemiddelde waarden van deze parameters natuurlijk van belang, maar daarnaast zijn ook extremen bepalend. Zo kan het gemiddelde zoutgehalte op een plaats gunstig zijn voor een organisme, maar wanneer er teveel fluctuatie optreedt door bijvoorbeeld zoetwatergolven, kan het organisme zich toch niet handhaven. Naast het effect van morfodynamica op ecologie is er levens sprake van terugkoppeling. Deze terugkoppelingen kunnen heel relevant zijn, bijvoorbeeld in het geval van aanwezigheid van fyto-benthosmatten die de platen erosiebestendig maken en waardoor versnelde opslibbing in de zomer plaatsvindt. Deze studie richt zich vooral op de effecten van morfodynamica op ecologie, de terugkoppelingsmechanismen komen (nog) niet aan bod.

De parameters zijn terug te vinden in Figuur 2. De eerste 6 parameters zijn ook direct terug te vinden in het schema van Figuur 3. Omdat slikken en platen belangrijk zijn voor vogels, komen deze expliciet terug in de figuur.



Figuur 3: Ecologisch relatieschema

Ecologie

Organismen stellen eisen aan hun habitat en de habitat wordt bepaald door vele abiotische factoren. Uit de vele abiotische factoren die gebruikt kunnen worden om de habitat te karakteriseren is een keuze gemaakt. Hierbij is enerzijds rekening gehouden met de beperkingen van morfodynamische modellen en anderzijds met de invloed die de factoren hebben op het voorkomen van organismen.

In Figuur 3 zijn de soortgroepen waaraan in ZEE-KENNIS is gewerkt, geplaatst in een sterk vereenvoudigd relatieschema.

Verklaring van de gebruikte symbolen in het ecologisch relatieschema:

Blauwe pijlen geven aan hoe de voedselstroom gaat, wat wordt er geconsumeerd.

Zwarte pijlen geven aan met welke habitatfactoren voor de betreffende soortgroepen een verband gelegd is.

Computers staan voor morfodynamische modellen.

Groen rode rechthoeken staan voor modeluitkomsten van morfodynamische modellen. Deze modellen leveren gegevens over de diverse abiotische factoren, welke als input voor ecologie worden gebruikt.

Gele rechthoeken staan voor het 'vertalen' van de morfodynamische patronen naar patronen van meer of minder geschikte leefgebieden voor een soort.

Pijlen naar wolkjes (☁) symboliseren processen die de grenzen van de Westerschelde overschrijden.

Rode pijlen hebben betrekking op interne mechanismen.

1.6 Literatuur

Baptist MJ, 2005. Biogeomorphology. In: Schwartz M (Ed). *Encyclopaedia of Coastal Science*.

Graveland J, Dauwe B & Kornman B, 2002. **Waardering voor de Westerschelde. Voorstel voor beoordelingscriteria gebaseerd op inventarisaties van de ecologische toestand, gebruik, beleid en beoordelingsmethode. Rapport RIKZ/2002.053.** Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.

Graveland J, 2005. Fysische en ecologische kennis en modellen voor de Westerschelde: wat is beleidsmatig nodig en wat is beschikbaar voor de m.e.r. Verruiming Vaargeul? Rapport RIKZ/2005.018. Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.

KRW, 2000. Richtlijn 2000/60/EG van het Europees Parlement en de Raad. 23 oktober 2000; tot vastlegging van een kader voor communautaire maatregelen betreffende het waterbeleid.

LTV, 2001. Langetermijnvisie Schelde-estuarium met toelichting (LTV 2030). Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat Directie Zeeland en Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap.

Peletier H & Jansen GM, 2004. De levende natuur als ecosysteemvormer in kustgebieden. Rapport RIKZ/2004.005. Rijksinstituut voor Kust en Zee, Haren.

SMER, 2004. Strategisch milieueffectenrapport Ontwikkelingsschets 2010 Schelde-estuarium (SMER). Hoofdrapport, Projectdirectie Ontwikkelingsschets Schelde-estuarium (PROSES), Bergen-op-Zoom.

STOWA, 2004. Referenties en conceptmaatlaten voor overgangs- en kustwateren voor de Kader-richtlijn Water. Rapport 2004.44.

Vroon J, Storm C & Coosen J, 1997. Westerschelde, stram of struis?: eindrapport van het Project Oostwest, een studie naar de beïnvloeding van fysische en verwante biologische patronen in een estuarium. Rapport RIKZ-97.023. Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.



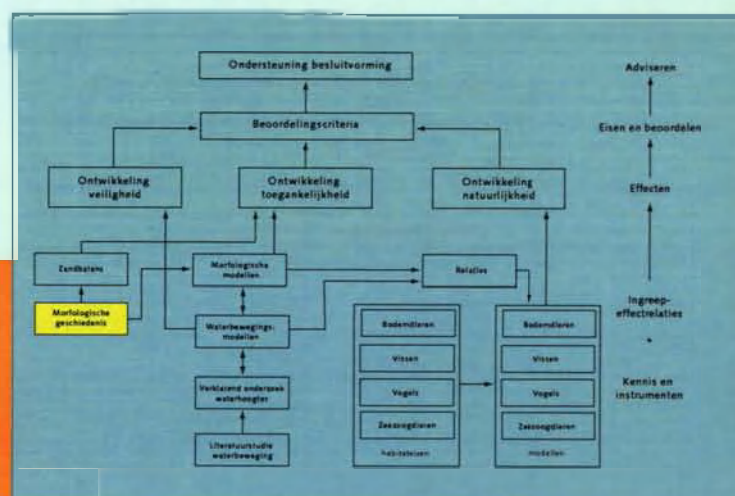
Hooge Platen © Rijkswaterstaat

2 Morfodynamica

Dit hoofdstuk beschrijft de kennis, inzichten en toepassingsmogelijkheden die zijn ontwikkeld op het gebied van de morfodynamica, een samenspel van waterbeweging, sedimenttransport en morfologie. De ingrepen in het Schelde-estuarium vinden grotendeels direct plaats binnen de morfodynamica en de effecten zijn daarin dan ook op korte termijn merkbaar.

De eerste paragraaf gaat in op de morfologische ontwikkeling van het systeem en besteedt aandacht aan de ontwikkeling van de vorm, het geulenstelsel, de waterbeweging en het intergetijdengebied. De tweede paragraaf beschrijft de kennis over de zandbalans zowel van de Westerschelde als van de monding. De derde paragraaf gaat in op de waterbeweging en de effecten van ingrepen. De laatste paragraaf beschrijft de morfodynamische modellen.

2.1 De morfologische ontwikkeling van de Westerschelde

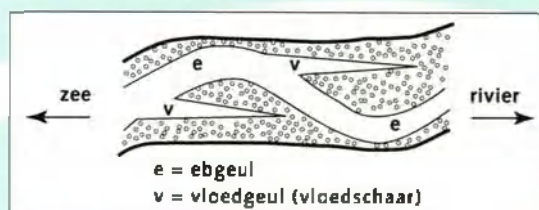


2.1.1 De ontwikkeling van het geulenstelsel

Het geulenpatroon

Gedurende de afgelopen 200 jaar veranderde het geulenpatroon in het estuarium als gevolg van uitbochtelingen en afsnijdingen van ebgeulen. Uitbochtelingen ontstaan door het optreden van erosie van de buitenbocht en sedimentatie in de binnenbocht tijdens eb. De bochten worden hierdoor ruimer en verplaatsen zich in de ebrichting. Elke grote bocht van de belangrijkste ebgeul van de Westerschelde gaat gepaard met een vloedgeul. Deze vloedgeulen ontstaan omdat het water als het ware 'uit de bocht vliegt' (Figuur 4). De vloedgeulen lopen bijna recht en worden richting bovenloop van

het estuarium ondieper en smaller. De vloedgeul eindigt in een drempel op de plaats waar het water weer samenvloeit met de hoofdstroom. Kennis over de ontwikkeling van het geulenstelsel draagt bij aan het beoordelingscriterium 'meergeulenstelsel', bijvoorbeeld om na te gaan hoe de verhouding tussen het areaal intergetijdengebied en geulen zou 'moeten' zijn. *Vervolg op pagina 30>>*



Figuur 4: Geschematiseerd patroon van eb- en vloedgeulen, zoals dat in de Westerschelde voorkomt.

Intermezzo

Het ontstaan en de ontwikkeling van het Westerscheldegebied

De Westerschelde ontstond rond het jaar 1000 uit een verbinding van de zeearm de Honte met de rivier de Schelde. Omdat er in die tijd vrijwel geen dijken waren, is de ontwikkeling van de waterstromen in het gebied van de Westerschelde en de Oosterschelde onlosmakelijk verbonden met die van het land. Het is niet mogelijk een scherp beeld van het Westerscheldegebied rond het jaar 1000 te geven omdat er geen kaarten uit die tijd bestaan, het is echter aannemelijk dat de Westerschelde of Honte toen vrij smal was. De afstand tussen wat nu Zeeuwsch-Vlaanderen en Zuid-Beveland is, was zeker niet meer dan enkele honderden meters. Het getijdenlandschap in de monding liep in westelijke richting verder door dan nu, en zowel de kust van Cadzand als het zuidwestelijke deel van Walcheren liepen over in kleinere eilanden.

Pas vanaf de 12^e eeuw is er sprake van min of meer permanente bedijking langs het estuarium. In de periode 1000 tot 1250 was de Westerschelde vanaf Biervliet-Borssele in oostelijke richting vrij smal met overwegend zijtakken in noordwestelijke richting. In de monding lagen diverse eilanden waaronder Schoneveldt, Wulpen en Koezand; zij verhinderden dat vanuit zee veel water het estuarium kon binnenstromen. De zuidwestkust van Walcheren en Cadzand-Breskens lagen toen verder westwaarts dan nu.



Het Westerschelde gebied rond 1550

Tussen ongeveer 1250 en 1500 veranderde het westelijke deel van het Westerscheldegebied ingrijpend. Eilandjes in de monding stonden op het punt te verdwijnen en de kustlijnen aan Zeeuwse en Vlaamse zijde drongen terug. Door de vergroting van de Braakman nam de komberging toe, waardoor, vermoedelijk in combinatie met een geleidelijke stijging van het zeeniveau, de Westerschelde tussen Vlissingen en Ossenisse verdiepte en verbreedde. Het deel oostelijk van Ossenisse behield daarentegen grotendeels zijn smalle karakter.

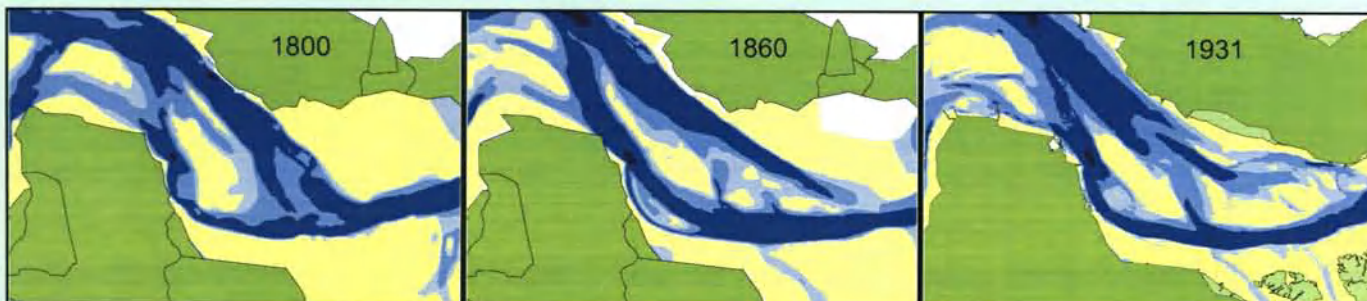
In 1550 was er nog sprake van een schiereiland ter hoogte van Ellewoutsdijk/Terneuzen. Het Sloe en de Braakman waren nog erg grote gebieden en er lag een groot 'overloop' gebied in het oostelijk deel van Zuid-Beveland.

In de periode 1500 tot 1750 veranderde het Westerscheldegebied opnieuw ingrijpend. Stormvloed en verdiepten de Westerschelde. Het waren echter vooral de militaire inundaties tijdens de tachtigjarige oorlog aan het einde van de 16^e eeuw, die stromen verlegden en een wijziging in erosie- en sedimentatiepatronen teweegbrachten. Aan de oostelijke kant van Zeeuwsch-Vlaanderen kwam naar schatting 19.000 ha land onder water te staan, waarop bij vloed ruim een halve meter zeewater werd geborgen. In de 17^e en 18^e eeuw werd op grote schaal herdijkt. Ook aan de zijde van het Sloe en aan de zuidoostkant van Zuid-Beveland werd land herwonnen. Door de inpolderingen kwam het proces van verzanding in de Westerschelde op gang.



Dieptekaart 1800 van Beautemps Baupré, afkomstig van het Zeeuws Maritiem muZEEum

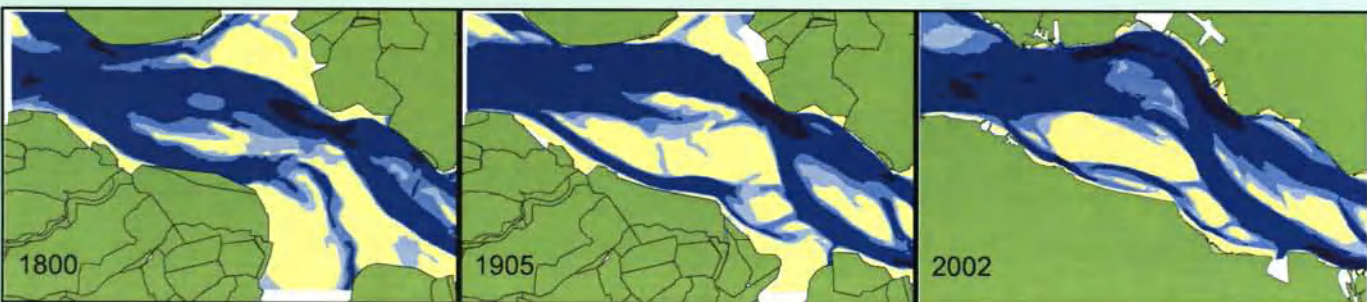
Vanaf 1800 worden min of meer systematisch diepte kaarten ten behoeve van de scheepvaart en onderzoek vervaardigd. Vanaf dan zijn daarom voldoende gegevens bekend om de morfodynamische processen te onderzoeken. De eerste betrouwbare diepte kaart dateert van rond 1800. In deze periode was het Sloe erg smal en was het verdrinken gebied in de hals van Zuid-Beveland, dat verloren ging in de Tachtigjarige oorlog, weer grotendeels ingepolderd. Er waren uitgebreide slikken- en schorregebieden in de Westerschelde. Later zou een gedeelte worden ingepolderd en een gedeelte eroderen, maar het huidige geulen- en platenpatroon van de Westerschelde was in het begin van 1800 in aanleg al te herkennen. Het belangrijkste verschil tussen toen en nu is dat de Westerschelde toen nog in contact stond met de Oosterschelde via het Sloe en het Kreekrak. Rond 1800 waren de meeste gebieden die in de oorlog onder water waren gezet weer ingepolderd. De Braakman, Saeftinghe, Hellegat en het Sloe stonden nog onder invloed van het getij. Ook de Kreekrak, de oude doorgang van de Schelde via de Oosterschelde naar zee, was nog open.



Figuur 5: De ontwikkeling van het Zuidergat en de Schaar van Waarde tussen 1860 en 1931



Figuur 6: De ontwikkeling van het Middelgat en de Overloop van Hansweert tussen 1860 en 2002



Figuur 7: De ontwikkeling rond het Sloe tussen 1800 en 2002

>>Vervolg van pagina 27

Figuur 5, Figuur 6 en Figuur 7 geven de ontwikkeling van de ligging van de eb- en vloedgeulen vanaf 1800 in het oostelijk deel, middendeel en westelijk deel we. De monding van de Westerschelde veranderde de afgelopen twee eeuwen van een systeem met drie stroomvoerende geulen die respectievelijk het Sloe, de Westerschelde en de Braakman voedden, tot een systeem met een hoofdgeul en een restgeul. In 2002 ging de Sloegeul op in de Westerscheldegeul en verzandde de Braakmangeul. Het Hooie Platen

complex heeft zich ontwikkeld in de 20e eeuw.

De geulen zijn aan de onderzijde en aan de zijanten direct of op geringe diepte begrensd door moeilijk erodeerbare lagen, dit zijn lagen klei of veen over verklitte schelpenlagen. Deze erosiebestendige lagen zijn voor de Westerschelde in kaart gebracht. De aanwezigheid ervan is van grote invloed op de bewegingsvrijheid van de geulen en het is belangrijk om in de morfologische modellen rekening te houden met deze lagen.



Biezelingse Ham © Belinda Kater

De volumeverandering van de geulen

Gedurende de periode 1800-2002 verdiepten de geulen van de Westerschelde zowel door autonome ontwikkelingen als door menselijk ingrijpen. Het volume van de geulen (volume beneden laagwater voor het gebied begrensd door de huidige dijken) nam toe van ongeveer 1800 Mm^3 in 1800 tot bijna 2200 Mm^3 in 2002. De volumetoename van de geulen tussen 1800 en 2002 is min of meer lineair in de tijd en bedraagt circa 20%. Dit geldt voor de Westerschelde als geheel. Wanneer deelgebieden worden beschouwd valt op dat het oostelijke deel een grillig gedrag vertoonde. De geul van het meest oostelijke deel, direct grenzend aan de Zeeschelde, verdiepte na 1800 om pas weer in 1931 op het niveau van 1800 terug te keren. Daarna volgde een snelle verdieping. In het meer westelijke, naastliggend deel volgde na 1955 een snelle verontdieping. In het westelijke deel van de Westerschelde nam het volume licht toe vanaf 1800.



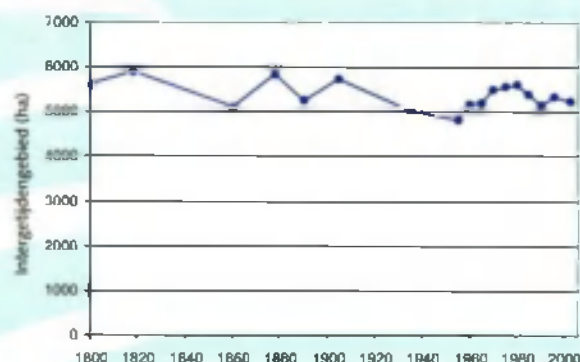
Hooge Platen © Belinda Kater

2.1.2 De ontwikkeling van het Intergetijdengebied

Het slikken- en platenpatroon van de Westerschelde was in de 19^e eeuw zeer dynamisch. Vergeleken met de huidige situatie waren de platen kleiner, meer doorsneden door geulen en minder statisch. Pas halverwege de 20^e eeuw ontstonden de grote plaatcomplexen Hooge Platen, Middelpaat en Platen van Ossensisse en Valkenisse uit meerdere kleine voorlopers, die langzaam aan elkaar vast groeiden. De slikken werden op de meeste plaatsen geleidelijk smaller. De nog resterende slikken liggen voor het grootste deel op veen en andere erosie bestendige lagen in de ondergrond. Dit uit zich onder meer in het op veel plaatsen voorkomen van zeer steile hellingen.

Figuur 8 toont het areaal intergetijdengebied binnen de huidige bedijking aan de hand van gereconstrueerde dieptekaarten. Het areaal binnen deze huidige bedijking schommelde in de afgelopen 200 jaar tussen 5000 en 6000 ha. Het totale areaal

aan intergetijdengebied is sinds 1960 wel achteruit gegaan door onder andere inpolderingen. Ook verouderen de schorren (jong schor komt nauwelijks meer voor in de Westerschelde) en zijn er verschuivingen in de kwaliteit van het intergetijdengebied (van laag naar hoogdynamisch).



Figuur 8: Het areaal intergetijdengebied voor de Westerschelde voor het gebied begrensd door de huidige dijken

In het oostelijke deel van de Westerschelde nam het areaal intergetijdengebied sinds 1800 af. Het areaal intergetijdengebied in het middengebied bleef, na een initieel verlies, aan het begin van de 19^e eeuw constant. Daarna zorgde de ontwikkeling van het complex van de Molenplaat en de Rug van Baarland voor een toename in de tweede helft van de 20^e eeuw. In het westelijk deel verplaatste de voorloper van het Hooge Platencomplex zich in westelijke richting.

2.1.3 Toegenomen kennis

Gedurende de afgelopen 200 jaar veranderde het geulenpatroon in het estuarium als gevolg van uitbochtigen en afsnijdingen van ebgeulen. De bewegingsvrijheid van de geulen wordt beperkt door de aanwezigheid van moeilijk erodeerbare lagen. Gedurende de periode 1800-2002 nam de inhoud van de geulen gelijkmatig toe; aan het einde van de 20^e eeuw was deze 20% groter dan rond 1800. Binnen de begrenzing van de huidige dijken nam het areaal aan intergetijdengebied gedurende de laatste 200 jaar niet noemenswaardig toe of af, maar dit geldt niet voor het gehele Westerscheldegebied. De platen zijn zich in de loop der tijd steeds meer als grote complexen gaan vormen.

2.1.4 Literatuur

Goldbach O, 2003. Twee eeuwen Westerschelde. Een morfologisch referentiekader. Studentenverslag Universiteit van Utrecht.

Graveland J, 2005. Fysische en ecologische kennis en modellen voor de Westerschelde: wat is beleidsmatig nodig en wat is beschikbaar voor de m.e.r. Verruiming Vaargeul? Rapport RIKZ/2005.018. Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.

Grujters SHLL, Schokker J & Veldkamp JG, 2004. Kartering moeilijk erodeerbare lagen in het Schelde-estuarium. Rapport 03-213-B1208. NITG, Utrecht.

Kraker de A, 2002. Duizend jaar Honte of Westerschelde. Een poging tot reconstructie van de Westerschelde in grote lijnen, 1000 tot 2000. In: Kraker, A de (Ed). De Westerschelde, een water zonder weerga. Drukkerij Duerinck, Kloosterzande.

Kraker de A, 2004. Reconstructie van het stroomgebied van de Westerschelde tussen 1550 en 2000 aan de hand van kaarten en de bedijkingsgeschiedenis. Vrije Universiteit, Amsterdam.

Veen J van, 1950. Eb- en vloedchaarsystemen in de Nederlandse getijwateren. Tijdschrift Koninklijk Nederlands Aardrijkskundig Genootschap, 2^e reeks, 67: 303- 325.

2.2 De zandbalans voor de Westerschelde en de Westerscheldemonding

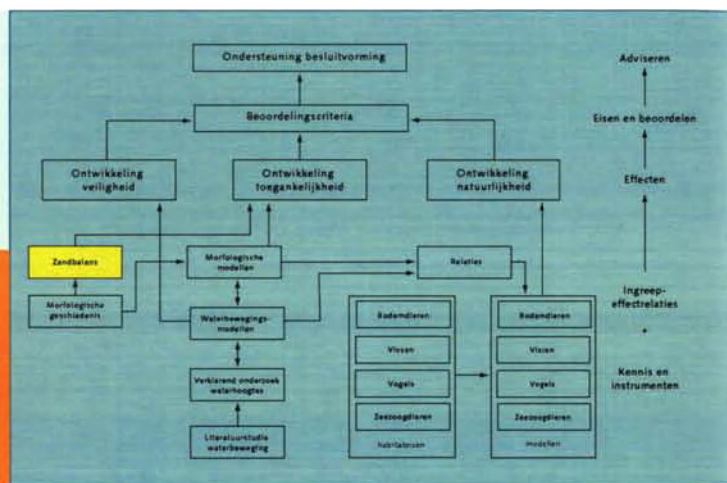
Het morfologisch beheer van het Schelde-estuarium is gebaseerd op 'integraal zandbeheer'. Integraal zandbeheer streeft naar een zo optimaal mogelijke zandinhoud en zandverdeling in de Westerschelde ten behoeve van een gezond en compleet estuarien ecosysteem. Dat houdt in dat bij kunstmatige zandverplaatsingen bij baggeren en storten en bij onttrekkingen van zand bij zandwinning rekening moet worden gehouden met het zandtransport dat gestuurd wordt door autonome processen.

Naast dit beleid bepaalden Nederland en Vlaanderen in de Langetermijnvisie Schelde-estuarium 2030 dat het meergeulenstelsel een voorwaarde is om de gebruiksfuncties toegankelijkheid, veiligheid en natuurlijkheid optimaal te kunnen bedienen.

Het cellenconcept stelt een duidelijke grens aan de hoeveelheid bagger die in het estuarium gestort kan worden waarbij het meergeulenstelsel nog behouden blijft.

Om het integraal zandbeheer te kunnen vormgeven moet er voldoende inzicht zijn in de zandtransporten in Westerschelde en monding, en inzicht in de wijze waarop ingrepen en natuurlijke processen deze sturen. Daartoe is de zandbalans voor de periode 1955 tot 2002 opgemaakt. Deze balans geeft aan hoe de zandhuishouding in de afgelopen decennia veranderd is.

De kennis over de zandbalans van de Westerschelde draagt bij aan de beoordelingscriteria



(zie 1.4). De volgende beoordelingscriteria spelen een rol: sedimentexport uit systeem, storten in nevengeulen, storten in monding en hoeveelheid onderhoudsbaggerwerk.

2.2.1 Totstandkomen van de zandbalans

Om tot de zandbalans van de Westerschelde te komen moet een aantal stappen worden doorlopen. Als eerste moeten van de te analyseren tijdreeks ladinggegevens en ingreepgegevens verzameld en bewerkt worden. Vervolgens worden voor de Westerschelde en haar monding balansvakken gedefinieerd.

Het verschil tussen de uit de ladinggegevens bepaalde jaarlijkse volumeveranderingen en de netto menselijke ingrepen (som van baggeren, storten en zand winnen) zijn de gecorrigeerde volumeveranderingen. Deze vormen per balansvak de zandhuishouding. Als voor alle balansvakken de zandhuishouding bekend is, kan de grootte en richting van de zanduitwisseling tussen de afzonderlijke balansvakken bepaald worden: de uiteindelijke zandbalans. Dit is alleen mogelijk door aan te nemen dat de zanduitwisseling op één van de twee buitenste open randen van het studiegebied 0 is. In deze studie is dan ook, conform alle eerder uitgevoerde zandbalansstudies, de aanname gedaan dat het zandtransport over de grens



Baggeren nabij Doel © Anita Eijlers/Schelde InformatieCentrum

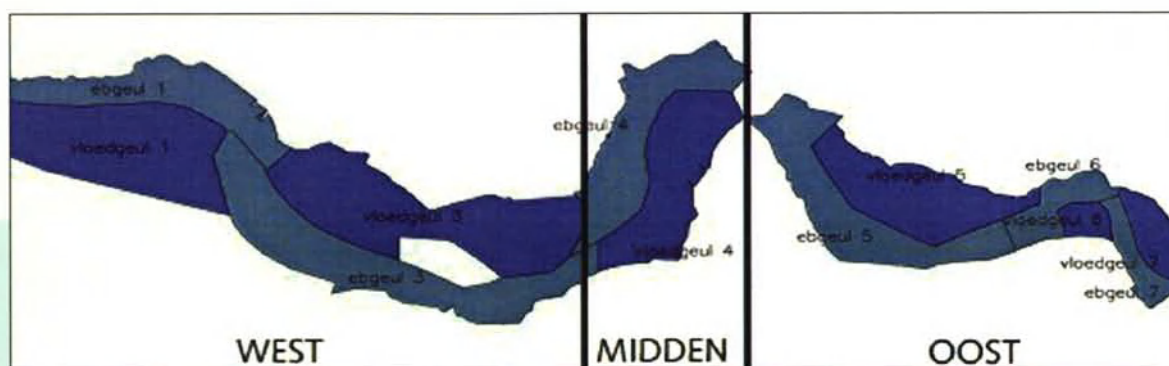
Nederland - België gelijk is aan 0. Daarnaast wordt aangenomen dat er per jaar $0,3 \text{ Mm}^3$ zand wordt getransporteerd in zuidelijke richting naar het Verdrongen Land van Saeftinghe. De rest van het studiegebied wordt begrensd door dijken en duinen, in die richting vindt nauwelijks of geen zanduitwisseling plaats. De sedimentuitwisseling per jaar op de zeewaarts gelegen rand van een macrocel is gelijk aan de som van de sedimentuitwisseling per jaar op de landwaarts gelegen rand en de gecorrigeerde volumeverandering in het vak.

De verkregen balans is een ééndimensionale balans en geeft informatie over de uitwisseling tussen de balansvakken. Wat zich binnen een balansvak afspeelt kan niet worden bepaald zonder aanvullende informatie uit twee- of driedimensionale modellen.

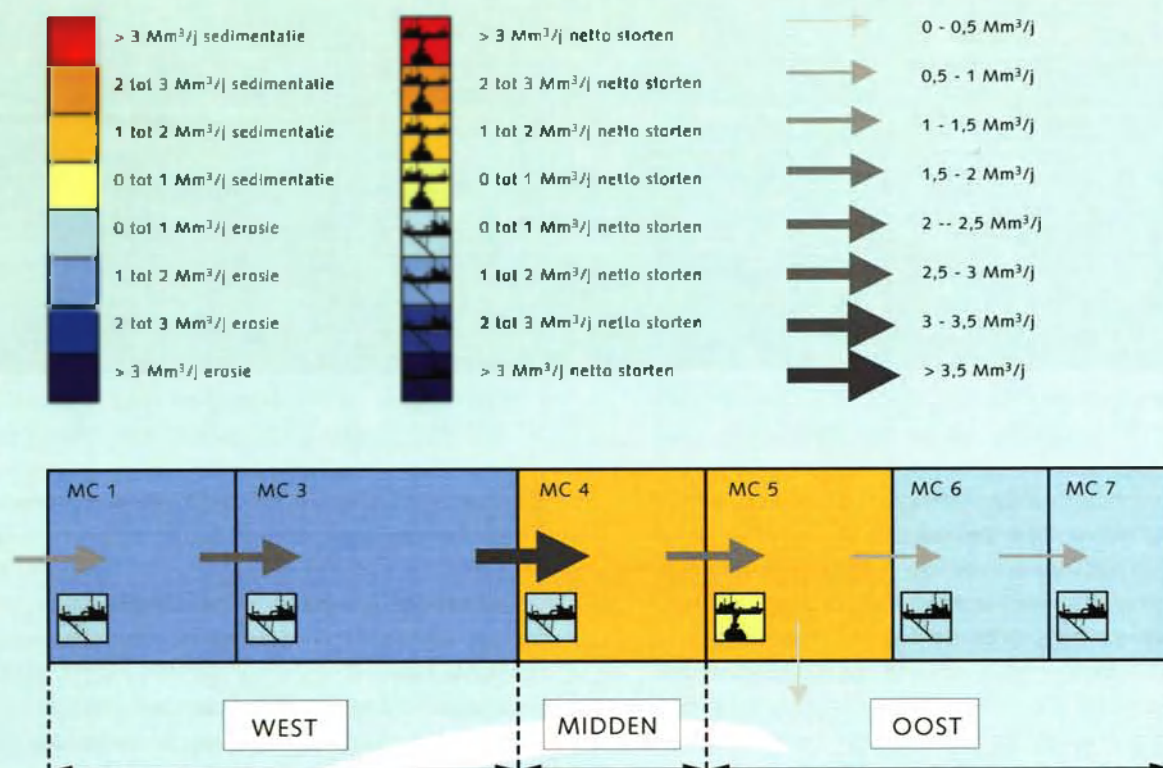
2.2.2 Beschrijving zandbalans Westerschelde tot de monding

Voor de Westerschelde komen de balansvakken overeen met de eb- en vloedgeulen van de macrocellen (zie Figuur 9).

Er zijn zandbalansen gemaakt voor een aantal karakteristieke perioden. Per periode zijn gemiddelde waarden berekend, waardoor kortdurende fluctuaties in de zandtransporten zijn uitgemiddeld. Verder is de zandbalans per periode schematisch weergegeven. Het meest linker balansvak (Macrocel 1, afgekort MC1) uit dit schema ligt in het westen van de Westerschelde en grenst aan het mondingsgebied. De linker pijl in dat balansvak komt overeen met de import of export van de Westerschelde. De rechterkant van Macrocel 7 (MC 7) vormt de grens met België. Hiervoor is de aanname gedaan dat er geen transport over de grens richting België plaatsvindt. De pijl naar onderen in macrocel 5 (MC 5) geeft het aange-



Figuur 9: Balansvakken in de Westerschelde. De geulen in macrocellen 1 en 3 vormen het westelijke deel van de Westerschelde, de macro-cel 4 het midden deel en de macrocellen 5, 6 en 7 het oostelijke deel. NB Gebied 2 is een mesocellen gebied ten zuiden van de Hooge Platen. In de zandbalans wordt dit mesocellengebied wel meegenomen in de bepaling van de totale import/export



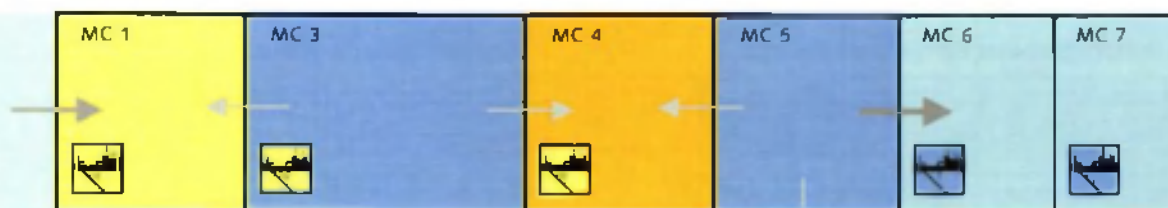
Figuur 10: Schematische weergave van de zandbalans van de Westerschelde voor de periode 1960-1970, de kleuren in de macrocellen staan voor de totale volumeverandering

nomen transport naar het Verdrongen Land van Saefinghe weer (per jaar $0,3 \text{ Mm}^3$). Bij Figuur 10 is een legenda opgenomen, welke ook voor de andere balansen geldig is.

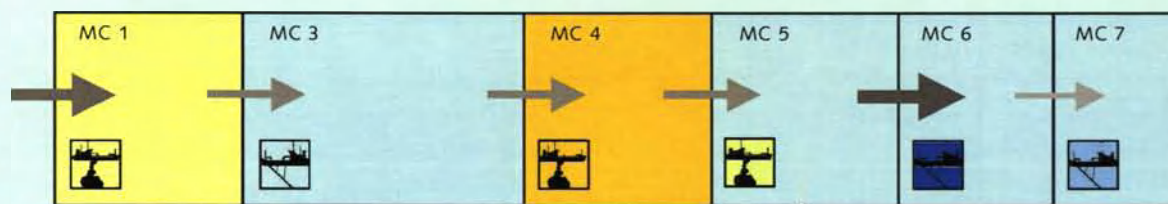
Periode 1960-1970

Figuur 10 laat de zandbalans voor de Westerschelde zien in de periode 1960 t/m 1970, globaal de periode vóór de eerste verruiming van de Westerschelde, tevens de periode van na de laatste inpol-

deringen. De meest landwaarts gelegen cellen 6 en 7 verliezen sediment door het netto baggeren van de vaargeul. Hierdoor verruimen deze cellen als geheel en er ontstaat import vanuit de zeewaarts gelegen cellen. Cel 5 sedimenteert in deze periode als gevolg van de netto stortingen in deze cel en de import van zand vanuit cel 4. Ondanks het netto baggeren van cel 4 vindt sedimentatie in deze cel plaats, veroorzaakt door de import van sediment vanuit de zeewaarts gelegen cel 3. De meest zee-



Figuur 11: Schematische weergave van de zandbalans van de Westerschelde voor de periode 1971-1980



Figuur 12: Schematische weergave van de zandbalans van de Westerschelde voor de periode 1981-1989

waarts gelegen cellen 1 en 3, vertonen beide erosie en zetten ook beide het grootste deel van deze erosie af in de direct landwaarts gelegen cellen. In zijn geheel vertoont de Westerschelde van 1960 t/m 1970 een gemiddelde natuurlijke import van $1,4 \text{ Mm}^3/\text{j}$ en is er op elke grens tussen de macrocellen sprake van een landwaarts gericht transport.

Periode 1971-1980

Deze periode bevat globaal de periode tijdens de eerste verdieping. Figuur 11 geeft de balans schematisch weer. Macrocellen 6 en 7 blijven netto eroderen, gestuurd door het baggeren van de vaargeul. Daardoor blijft in cel 6 import bestaan van sediment vanuit de zeewaarts gelegen cel 5. In cel 5 wordt in deze periode netto niet ingegrepen en de cel als geheel vervuimt. Het zand dat hierbij vrijkomt wordt grotendeels getransporteerd naar de landwaarts gelegen cel 6, maar een klein deel komt in de zeewaarts gelegen cel 4 terecht.

In cel 4 vindt in deze periode sedimentatie plaats, het zand is afkomstig uit beide naastgelegen cellen. Cel 3 blijft, net als in de voorgaande periode, eroderen en transporteert dat zand naar beide naastgelegen cellen. Echter, cel 1 sedimenteert, ondanks het baggeren. Het sediment dat hiervoor nodig is wordt zowel uit cel 3 als uit het mondingsgebied geïmporteerd. In deze periode importeert de Westerschelde gemiddeld $0,9 \text{ Mm}^3/\text{j}$ vanuit het mondingsgebied.

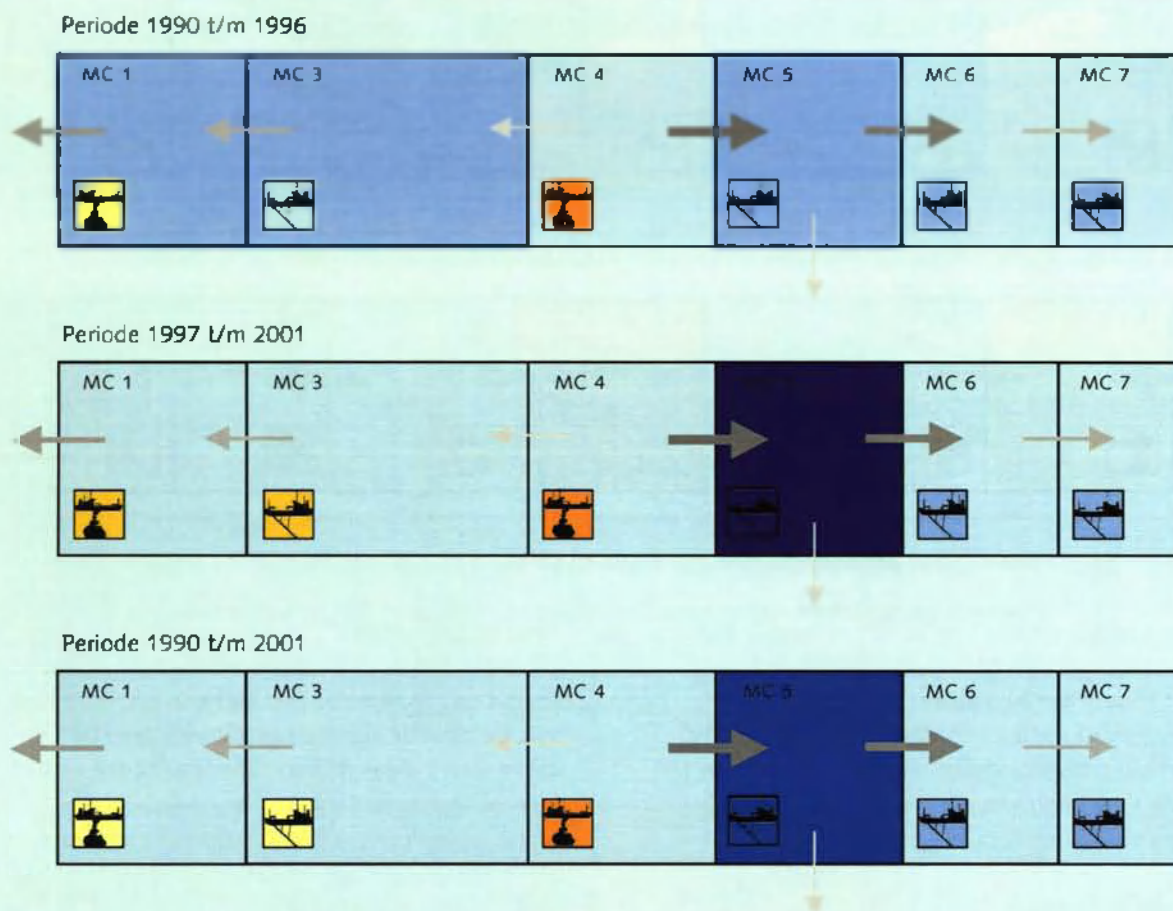
Periode 1981-1989

Dit is de periode na de eerste verdieping, waarin import en zandwinning met elkaar in evenwicht zijn. De door de ingrepen gestuurde erosie van cellen 6 en 7 die in de voorgaande perioden was ingezet, stabiliseert zich in deze periode. Netto wordt ongeveer dezelfde hoeveelheid gebaggerd. De erosie veroorzaakt import van sediment vanuit de zeewaarts gelegen cellen.

Cel 4 blijft in deze periode sedimenteren als gevolg van zowel de netto stortingen als de import van zand vanuit de zeewaarts gelegen cellen. De natuurlijke erosie in cel 3 gaat door en het zand wordt nu, in tegenstelling tot voorgaande periodes, voornamelijk afgezet in de landwaarts gelegen cel 4. De netto volumeveranderingen blijven in deze periode in cel 1 zo goed als stabiel. Figuur 12 geeft dit schematisch weer. De netto ingrepen (in dit geval zandwinning) in de Westerschelde als totaal in de periode 1981 t/m 1989 worden nagenoeg gecompenseerd door de import van sediment vanuit het mondingsgebied met een gemiddelde grootte van $2,9 \text{ Mm}^3/\text{j}$.

Periode 1990-2001

Dit is de periode waarin voor de Westerschelde export is geconstateerd. In deze periode vertonen de volumes en transporten in cel 6 en 7 dezelfde ontwikkeling als in de voorgaande periode.

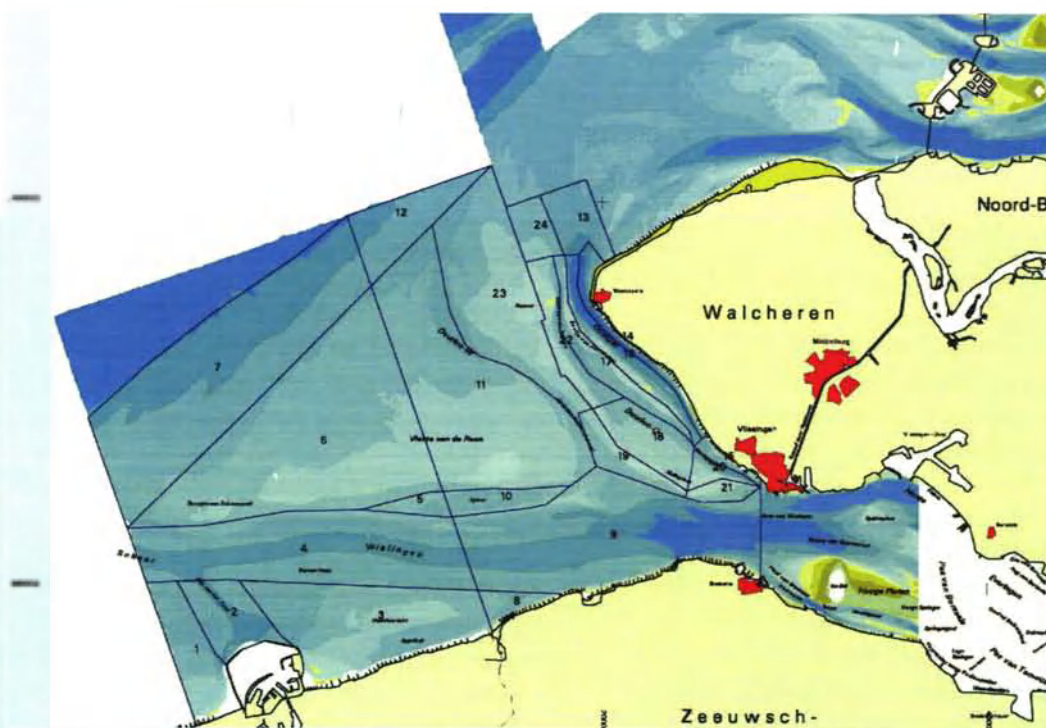


Figuur 13: Schematische weergave van de zandbalans van de Westerschelde voor de periode 1990-1996 (a), 1997-2001 (b) en 1990-2001 (c)

In cel 5 wordt vanaf 1990 netto gebaggerd. Vanaf 1997 (de periode tijdens en na de tweede verzuiming) neemt het totale sedimentvolume zeer sterk af, daarnaast wordt er netto veel meer gebaggerd (Figuur 13a). De netto verzuiming van deze cel, die het gevolg is van het baggeren, resulteert in een verhoogde import van sediment vanuit de zeewaarts gelegen cel 4 ten opzichte van de voorgaande periode. Tegelijkertijd halveert de export van sediment naar de landwaarts gelegen cel 6. Cel 4 gaat in deze periode verzuimen en het geërodeerde sediment wordt in de periode t/m 1996 voornamelijk afgezet in de landwaarts gelegen cel 5. In de periode 1997 tot en met 2001, de periode na de tweede verzuiming, wordt het geërodeerde sediment alleen nog getransporteerd naar cel

5 (Figuur 13b). Cel 3 blijft in de gehele periode eroderen en het zand wordt voor het grootste deel getransporteerd naar de zeewaarts gelegen cel 1. In de voorgaande periode waren de inhouds van cel 1 redelijk stabiel, vanaf het begin van de jaren 90 vertoont de cel de tendens tot erosie. Na 1997 nemen de netto storthoeveelheden in de cel toe, maar blijven de inhoudsontwikkelingen bepaald door erosie. Het geërodeerde sediment wordt in deze gehele periode getransporteerd naar het mondingsgebied.

Vanaf 1990 (Figuur 13c) vertoont de gehele Westerschelde een tendens tot erosie die enigszins beïnvloed wordt door het baggeren. In deze periode exporteert de Westerschelde, in tegenstelling tot alle voorgaande beschouwde perioden. De



Figuur 14: Balansvlakken in de monding van de Westerschelde

export bedraagt gemiddeld 1,5 Mm³/j. In de periode voor de verruiming (1990-1996) lijkt de export gemiddeld 1,2 Mm³/j kleiner te zijn dan in de periode tijdens en na de verruiming (1997-2001), waarin de export gemiddeld 1,9 Mm³/j bedraagt.

Periode 2001-2030

Voor deze periode zijn in het kader van de strategische milieueffectrapportage Vaargeul Verruiming (SMER) berekeningen gedaan met morfologische modellen (SOBEK, ESTMORF). De berekeningen laten zien dat de Westerschelde, bij voortzetting van het huidige bagger-, stort- en zandwinbeleid, blijft exporteren in dezelfde orde van grootte.

2.2.3 Zandbalans voor de Westerschelde inclusief monding

Voor de zandbalans van de Westerschelde inclusief de monding zijn de volumeveranderingen en de ingreepgegevens van de balansvakken bepaald (Figuur 14). Er zijn binnen het mondingsgebied echter geen transportrichtingen tussen de verschillende balansvakken te bepalen, omdat het mondingsgebied een sterk tweedimensionaal karakter heeft. Er zijn daarom slechts uitspraken te doen over de totale import of export van de monding naar

de Noordzee. Er is een onderscheid gemaakt naar het Nederlandse deel van de monding en naar de totale monding.

De zandbalans van de Westerschelde en het Nederlandse deel van de monding

De ontwikkeling van de Westerschelde en het Nederlandse deel van de monding als geheel is natuurlijk, maar wordt wel beïnvloed door het netto baggeren in de Westerschelde. Het verloop van de volumes vertoont forse fluctuaties: perioden van sedimentatie worden opgevolgd door perioden van erosie. Deze fluctuaties worden voornamelijk bepaald door de volumeveranderingen in het Nederlandse deel van de monding.

In de periode 1971 tot en met 1989 vond import van buiten het balansgebied plaats van gemiddeld circa 2 Mm³/j zand. In 1994 sloeg het systeem om van importerend naar exporterend. In de periode 1990-2001 werd gemiddeld 3,5 Mm³ sediment per jaar geëxporteerd. Tussen 1997 en 2001 bedroeg de export 5,7 Mm³ per jaar.

In totaal is in de periode 1971 tot en met 2001 circa 100 Mm³ sediment verdwenen uit het balansgebied, waarvan circa 75 Mm³ uit de Westerschelde en 25 Mm³ uit het Nederlandse deel van de monding. In die periode werd in de Westerschelde netto ongeveer net zoveel sediment gebaggerd (100 Mm³), het grootste deel daarvan ten behoeve van zandwinning.

De zandbalans van de Westerschelde inclusief totale monding

Bij vergelijking tussen de volumeontwikkeling van de Westerschelde inclusief de totale monding met de ontwikkeling van de totale monding afzonderlijk wordt duidelijk dat de ontwikkeling van de totale monding bepalend is voor het totaalbeeld. Beide ontwikkelingen zijn natuurlijk te noemen, maar worden sterk beïnvloed door de netto ingrepen. In totaal vond er in de periode 1971 tot en met 2001 een verruiming plaats van circa 220 Mm³, waarvan circa 75 Mm³ uit de Westerschelde en 145 Mm³ uit de totale monding afkomstig is. De verruiming van de Westerschelde wordt grotendeels veroorzaakt door zandwinning. Voor de totale monding is de netto 'onttrekking' een gevolg van het feit dat een belangrijk stortvak (stortvak S1, gelegen op de rand van het mondingsgebied) buiten het balansgebied ligt. Hierdoor zijn kwantitatieve uitspraken over import of export niet te maken. Ook de onnauwkeurigheid van de Belgische bagger- en stortgegevens maakt het doen van kwantitatieve uitspraken lastig. Kwalitatief gezien is vanaf ca. 1990 structurele erosie te zien, daarvoor vindt sedimentatie plaats.

2.2.4 Nauwkeurigheidsanalyse

Ieder onderdeel van de zandbalans heeft een bepaalde nauwkeurigheid die de zandbalans al dan niet significant beïnvloedt. De invloed van bodemdieptegegevens, ingreepgegevens en de aannames die gedaan worden voor de transporten op de randen van het studiegebied zijn onderzocht. Geconcludeerd kan worden dat op de schaal van de Westerschelde en monding systematische fouten in de bodemdieptegegevens geen invloed hebben op de zandbalans.

De ingreepgegevens worden in de praktijk redelijk nauwkeurig gemeten op de baggerschepen, maar tijdens de verwerking van de gegevens wordt een aantal aannames gedaan die de uitkomsten van de zandbalans kunnen beïnvloeden. Omdat het volume zand in de vervoersruimte van een schip losser gepakt is dan het volume zand dat eenmaal gestort

is, wordt een bepaald uitleveringspercentage aangenomen. Voor dit percentage wordt vanaf ongeveer 1995 10% gehanteerd, daarvoor gebruikten 20%. Om de invloed van deze aanname te onderzoeken zijn in de berekening verschillende percentages (0%, 10% en 20%) gebruikt. In alle gevallen komt de omslag van import naar export naar voren en ook het omslagpunt – het punt waarop import van de Westerschelde overgaat in export – ligt in alle gevallen rond het eind van de jaren '80. De conclusie is dat het gebruikte uitleveringspercentage geen invloed heeft op het beeld van import/export.

Uitspraken over de import of export van de Westerschelde en/of monding dienen gebaseerd te zijn op een analyse van meerjarige trends, omdat rekening moet worden gehouden met individuele fouten.

Om de invloed van de aannames van de zandtransporten over de grens Nederland - België (0 Mm³/j) en naar het Verdrongen Land van Saeftinghe (0,3 Mm³/j) te bepalen is de grootte van de aangenomen zandtransporten gevarieerd. Er zijn twee nieuwe varianten bestudeerd. Als eerste de aanname dat geen transport van zand naar het Verdrongen Land van Saeftinghe plaatsvindt in combinatie met het handhaven van de aanname dat er geen transport naar België is. Bij de tweede variant is het uitgangspunt de aanname van een transport van 0,5 Mm³/j zand over de grens richting België in combinatie met het handhaven van de aanname van een transport van 0,3 Mm³/j naar het Verdrongen Land van Saeftinghe. Het blijkt dat de aanname over transport naar Saeftinghe het globale beeld nauwelijks beïnvloedt.

Het beeld wordt wel beïnvloed door de aanname van het transport over de grens. Met een transport van 0,5 Mm³/j naar België is er in de eerste helft van de jaren '90 noch import noch export. Vanaf 1995 treedt wel weer export op. De export treedt dus wel op, maar pas 5 jaar later.

2.2.5 Toegenomen kennis

De studie toont aan dat de Westerschelde eind jaren '80 van de vorige eeuw omsloeg van een zandimporterend naar een zandexporterend systeem. Een zandexporterend systeem kan leiden tot een verdere afname van de - ecologisch gezien interessante - arealen aan intergetijden- en ondiepwatergebied. Ook de monding is vanaf die periode exporterend, echter, onzekerheden in de gegevens in het Belgische deel van de monding hebben kwantitatief invloed op deze conclusie. Daarnaast wijst de zandbalans sinds 1997 op een toenemende zandexport vanuit de Westerschelde en een toename van het sedimenttransport van het westelijke naar het oostelijke deel van de Westerschelde.

De invloed van onzekerheden van gegevens en aannames op de uitkomsten van de zandbalans zijn weliswaar aanwezig, maar brengen geen verandering in het beeld dat de Westerschelde thans exporterend is. Wel verschuift het moment waarop de omslag van import naar export optreedt.

2.2.6 Literatuur

Jeuken MCJL, Ruessink G & Wang ZB, 2002. Adviezen voor het maken van een gezamenlijke zandbalans voor Westerschelde en monding. Rapport Z3213. Waterloopkundig Laboratorium Delft Hydraulics.

Jeuken MCJL, Tanczos I, Wang ZB, 2003. Evaluatie van het beleid voor vaargeulonderhoud en zandwinning sinds de tweede vaargeulverdieping op basis van veldwaarnemingen en het verbeterde Cellenconcept Westerschelde. Rapport Z3467. Waterloopkundig Laboratorium Delft Hydraulics.

Jeuken MCJL, Wang ZB, van der Kaaij T, van Helvert M, van Ormondt M, Bruinsma R & Tanczos I, 2004. Morfologische ontwikkelingen in het Schelde estuarium bij voortzetting van het huidige beleid en effecten van een verdere verdieping van de vaargeul en uitpolderingen langs de Westerschelde. Consortium Arcadis-Technum.

Nederbragt G & Liek GA, 2004. Beschrijving zandbalans Westerschelde en monding. Rapport RIKZ/2004.020. Rijksinstituut voor Kust en Zee, Den Haag.

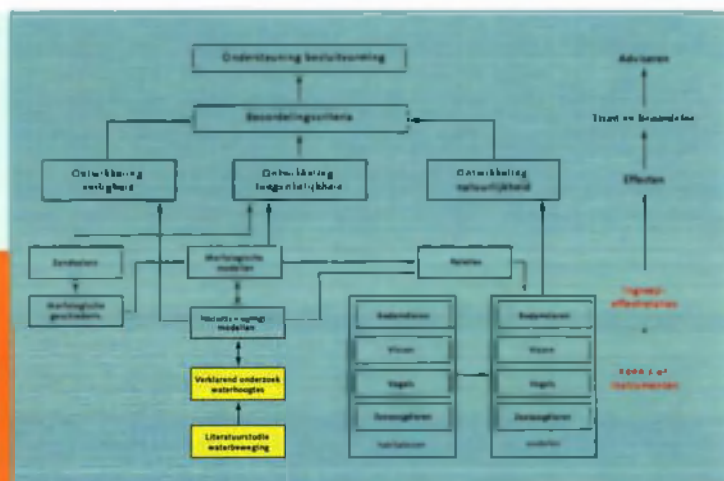
2.3 De waterbeweging en effecten van menselijk ingrijpen

Veranderingen in de waterbeweging leiden tot veranderingen in het sedimenttransport en daarmee tot wijzigingen in de morfologie. Veranderingen in de morfologie hebben weer effect op de waterbeweging. Autonome ontwikkelingen en menselijke ingrepen in de morfologie in het estuarium beïnvloeden dus de waterbeweging. In het kader van ZEEKENNIS zijn studies gedaan om te komen tot een samenhangende beschrijving van het ontstaan van de getijbeweging, van de theorie van de waterbeweging en van de waargenomen ontwikkelingen in het Schelde-estuarium zowel als gevolg van autonome ontwikkelingen als van menselijk ingrijpen.

Veel van de kennis die in dit hoofdstuk wordt beschreven draagt bij aan de beoordelingscriteria (zie 1.4). Parameters zijn hoogwaterstand, getijgolf, golfhoogte, getijverschil en (water)diepte.

2.3.1 Waterbeweging in de Westerschelde

De waterbeweging in de Westerschelde wordt aangestuurd door het getij, dat zich voortplant als een golf. Het getij is afkomstig uit de Atlantische oceaan en komt via de Noordzee de Westerschelde binnen. Getijgolven worden *gegenereerd* door de aantrekkende kracht van maan en zon op de aarde met haar watermassa's. Naast de dagelijkse draaiing van de aarde ontstaan ook variaties in getij



doordat de maan en de aarde zich in hun banen rond de zon bewegen. De belangrijkste periodieke variaties in het maans- en zonsgetij zorgen voor de zogeheten 'dagelijkse ongelijkheid' in het getij, de 'springtij-doodtijcyclus' en de '18,61-jaren-cyclus'.

Getijgolven worden in kleinere en ondiepere zeeën zoals de Noordzee, maar ook in de Westerschelde zelf, vertraagd en vervormd door het ondieper worden (shoaling), wrijving, weerkaatsen tegen de randen (reflectie) en draaiing van de aarde. In de Westerschelde is vooral de weerkaatsing van de getijgolven tegen de randen van het estuarium belangrijk. Hierdoor kunnen samengestelde golven ontstaan. Samen met het ondieper worden van het estuarium heeft dit een toename van de getijslag tot gevolg. De getijslag is gemiddeld 3,80 m bij Vlissingen tot gemiddeld 5,30 m bij Rupelmonde. In de Boven-Zeeschelde neemt de getijslag weer af als gevolg van wrijving. De getijgolf wordt gestopt door de stuwen bij Gent en Dendermonde. De getijgolf legt de afstand tussen Vlissingen en Antwerpen in iets minder dan 2 uur af.

Het getij zorgt ook voor een zeer sterk variërend stromingspatroon. Bij vloed stroomt het water het estuarium in en bij eb weer uit via respectievelijk de vloedgeulen en ebgeulen. De verdeling van de totale hoeveelheid water over de verschillende eb- en vloedgeulen is van groot belang voor de ontwikkeling van de Westerschelde. De hoeveelheid



Getijdenhaven Hoedekenskerke © Anita Eijlers/Schelde InformatieCentrum

water die door de geulen stroomt bepaalt hoofdzakelijk de grootte van het doorstroomoppervlak van de geulen en daardoor de inhoud. Zo kan, als de hoeveelheid water toeneemt in de ene geul en vermindert in de andere geul, het meergeulenkarakter in gevaar komen. Voorbeelden van ebgeulen zijn de Honte, de Pas van Terneuzen en het Zuidergat. Voorbeelden van vloedgeulen zijn de Schaar van Spijkerplaat, de Schaar van Waarde, en de Schaar van Ossensisse.

De verschillen in debieten - de hoeveelheid water die in een bepaalde tijd langs een bepaalde plaats stroomt - leiden tot variaties in de stroomsnelheden. De verschillende stroomsnelheden in de diverse geulen beïnvloeden de grootte en richting van het transport van het sediment. Het sedimenttransport wordt naast de stroomsnelheden beïnvloed door de golfslag. De eventuele erosie wordt mede bepaald door de aanwezigheid van vaste lagen zoals oude veenlagen en geulwandverdedigingen. Door sedimentatieprocessen en erosie verandert de morfologie van de bodem. Zo kunnen de inhouden

en arealen van de hoofd- en nevengeulen veranderen, maar ook de inhouden en arealen ondiep water, platen, slikken en schorren.

Door de afname van de komberging - het water dat tussen eb en vloed in het estuarium staat - sinds de 17^e eeuw verlengde de vloedduur en verkortte de ebduur. Het maximale vloeddebiet treedt vanaf 1960 op bij een hogere waterstand en op een tijdstip dat korter na hoogwater valt. Het moment van het maximale ebdebiet is gelijk gebleven.

Naast de instroom van zout water uit de Noordzee stroomt er ook zoet rivierwater via de Schelde de Westerschelde in. Per getijcyclus voert de Schelde ongeveer 5 miljoen m³ water af. Deze hoeveelheid heeft een verwaarloosbare invloed op het getijvolume dat ongeveer 240 maal zo groot is. De invloed van de aanvoer van zoet water op de waterbeweging in de Westerschelde is dan ook verwaarloosbaar klein, alleen in meer bovenstrooms gelegen delen van de Schelde is een merkbare invloed te verwachten, met name landwaarts van Antwerpen. Het zoete en zoute water van de Westerschelde is

goed gemengd, waardoor de invloed van de dichtheidsverschillen op de waterbeweging klein is en de invloed op de waterstanden te verwaarlozen.

Bij analyse van de getijbeweging in de Westerschelde bleek het niet mogelijk een directe correlatie tussen veranderingen in de verschillende getijcomponenten en veranderingen in de morfologie aan te tonen. De reden hiervoor is de grote hoeveelheid ingrepen en natuurlijke reacties die in de onderzochte periode (1971-1997) in de Westerschelde zijn opgetreden.

2.3.2 Oorzaken van veranderingen in de waterbeweging

Zowel autonome ontwikkelingen als menselijke ingrepen beïnvloeden de waterbeweging. Onderscheid tussen de afzonderlijke oorzaken van effecten is moeilijk. De gevolgen van bepaalde ingrepen zijn lange tijd merkbaar, waardoor de effecten van een nieuwe ingreep verweven raken met de effecten van vorige ingrepen. De morfologische processen die dan lopen kunnen elkaar zowel versterken als verzwakken. De waargenomen veranderingen in de waterbeweging zijn dan ook niet simpelweg een optelsom van de effecten van een aantal factoren. Om een duidelijke scheidslijn te kunnen trekken worden gevolgen van vroegere ingrepen - zoals de inpolderingen halverwege de 17^e eeuw - gezien als oude ontwikkelingen. Tijdens de onderzoeken zijn de ingrepen die na 1950 plaatsvonden gezien als nieuwe menselijke ingrepen.

Effecten van oude en autonome ontwikkelingen

Onder oude en autonome ontwikkelingen worden - behalve de doorwerking van ingrepen die voor 1950 plaatsvonden - zeespiegelstijging en geometrie van het estuarium gerekend, evenals veranderingen in de rivierafvoer van de Schelde, de getijslag op de Noordzee, dijkdoorbraken en meteorologische ontwikkelingen zoals stormen. Natuurlijke processen zoals verlanding en dynamiek van de geulen worden gezien als autonome processen.

Dynamiek van de eb- en vloedgeulen is een autonome ontwikkeling die ontstond als gevolg van het verschil tussen eb- en vloedduur. Tijdens de ebstroom richting zee treedt erosie van de buitenbocht en sedimentatie in de binnenbocht op. De bochten worden hierdoor groter of verplaatsen zich in de ebrichting. Rond 1930 hadden de diverse geulen in de Westerschelde de oevers van het estuarium bereikt. Verdere migratie was onmogelijk. Dit resulteerde in een doorgaande ebgeul met zes bochten die op veel plaatsen vastligt door de aanleg van oeververdedigingen en een aantal vloedgeulen.

Een belangrijke autonome ontwikkeling is de zeespiegelstijging. In de komende 100 jaar zal de zeespiegel naar verwachting tussen de 20 en 60 centimeter stijgen en het hoogwater zal naar verwachting 5 centimeter extra stijgen door de toename van de getijslag. De komberging van de Westerschelde vergroot hierdoor, er is dus meer water in het estuarium aanwezig tussen hoog en laag water. Zeespiegelstijging heeft ook een weerstandsverlaging van het bekken tot gevolg, die o.a. bijdraagt aan de stijging van de hoogwater- en een daling van de laagwaterstanden. Zeespiegelrijzing gaat het effect van sedimenteren van de zijgeulen tegen en leidt tot een grotere komberging. Het estuarium wordt als het ware dieper.

In eerste instantie verklaart de zeespiegelrijzing de getijontwikkeling. Later krijgen de veranderingen in het Middengebied ook invloed en de laatste halve eeuw dragen ook geometrieveranderingen door vaargeulverdieping en onderhoud bij aan de verandering van het getij. De beschreven ontwikkelingen zijn over het algemeen de som van meerdere veranderingen waardoor het precieze effect van afzonderlijke ingrepen niet zichtbaar is. Gevoelighedsonderzoeken door simulatie van ingrepen met behulp van 'state-of-the-art' 2D- of 3D-modellen kunnen hier waarschijnlijk meer inzicht in geven.

Door de verzanding nam de komberging af. Een belangrijk gevolg was het toenemen van de stroomsnelheden waardoor de geulen in de loop der tijd dieper werden. Verdieping resulteerde in toename



Biezelingse Ham © Belinda Kater

van de voortplantingssnelheid van de getijgolf en in een betere vulling van het estuarium bij vloed. Dit laatste zorgde voor een toename van het volume water dat het estuarium instroomde, de waterstanden werden hoger. De verhoogde waterstanden hadden een afname van het areaal intergetijdengebied tot gevolg. De voortdurende verdieping van de geulen en de afname van het intergetijdengebied droegen ook bij aan het verschil in de maximale stroomsnelheden in de eb- en vloedgeul, en dat is van groot belang voor de richting van het sedimenttransport.

De inpolderingen vanaf 1800 hebben in principe hetzelfde effect als hierboven beschreven bij verzandingen: een afname van de komberging. Of dat in de praktijk ook daadwerkelijk gebeurt is afhankelijk van de morfologische situatie ter plaatse. Door de afname van de breedte van het estuarium is de snelheid van de getijvoortplanting en de gemiddelde diepte toegenomen: het estuarium wordt beter gevuld, het totale volume water neemt toe. Een deel van het water dat door het

versmallen van het estuarium niet meer naar de zijkanen kan wegstromen zorgt voor een toename van hoogwaterstanden, wat ook tot een vergroting van de hoeveelheid water leidt. Het netto effect van deze gedeeltelijk aan elkaar tegengestelde effecten is niet op voorhand aan te geven.

Een ander gevolg van de inpolderingen is een verdieping van de geulen die met de afname van het getijdengebied boven laagwater zorgen voor een grotere voortplantingssnelheid van de getijgolf en voor een toename van de mate van symmetrie van het getijverloop.

Effecten van recente menselijke ingrepen

Menselijke lokale ingrepen in de geometrie hebben vooral te maken met een inhoudsverandering door zandwinning, inpoldering en afdammen en met veranderingen in de diepte van de eb- en vloedgeulen door baggeren en storten. Veranderingen in de geometrie leiden tot veranderingen in de mate van reflectie en wrijving en de grootte van de komberging. Dit leidt uiteindelijk tot veranderingen in het verloop van de hoog- en laagwaterstanden in het

estuarium. Veel lokale ingrepen, verspreid over het totale Westerscheldegebied, zorgen voor veranderingen op grotere tijd- en ruimteschalen. Daarnaast veroorzaakt een zelfde soort ingreep niet altijd hetzelfde effect, doordat meerdere effecten elkaar opvolgen en versterken of juist verzwakken.

Ingrepen zoals geulwandverdediging hebben bijgedragen aan de concentratie van de stroming. Turbulentie en een lokale toename van de stroomsnelheid zijn hiervan het gevolg. In de toekomst kan het zijn dat gebieden worden ontpolderd in het kader van natuurcompensatie en om de veiligheid tijdens stormvloed te kunnen waarborgen. Ontpolderen heeft, net als inpolderingen, lokaal een positieve invloed op de aftopping van stormvloedstanden. Ontpoldering zorgt voor meer komberging en daarmee voor een grotere massa water die de Westerschelde in en uit kan stromen.

In de Westerschelde wordt op verschillende plaatsen zand gewonnen, tegenwoordig gemiddeld 2,6 Mm³ per jaar. Door cumulatie zal zandwinning op lange termijn een significante invloed hebben op de zandhuishouding van het estuarium. Het evenwicht tussen het doorstroomprofiel en het watervolume wordt verstoord waardoor de natuurlijke uitwisseling van zand tussen verschillende gebieden in het estuarium verandert.

Sinds 1905 vinden er baggerwerkzaamheden plaats in de Westerschelde. De gewenste diepteligging van de drempels is in de loop van de jaren aangepast aan de toenemende diepgang van de schepen die naar Antwerpen varen. In het begin nam na de verdiepingen het onderhoudsbaggerwerk ook toe, later stabiliseerde dit. Tussen 1999 en 2001 was het jaarlijkse onderhoudsbaggerwerk gemiddeld 11,5 Mm³ per jaar. Stortingen vonden aanvankelijk in de nevengebieden in de vloedgeulen plaats. Opvulling van de geulen was hiervan het gevolg. Vanaf 1965 werd het sediment in de hoofdgeulen teruggestort en vanaf 1997 wordt sediment afkomstig uit het oostelijke deel ook in het midden en het westelijke deel van het estuarium gestort. Het baggervolume in het oosten

bedraagt daardoor meer dan het stortvolume en zorgt voor een verdieping van het oostelijke deel.

Door het verdiepen van drempels kon meer water door de hoofdgeul stromen, de hoeveelheid in de nevengeulen werd daardoor minder. De stroomsnelheden namen toe en dat leidde tot erosie en verruiming van de geul tussen de drempels. Na enige tijd paste de geul zich aan aan de grotere getijvolumes. Door de verdiepingen kon het getijvolume bij Vlissingen groter worden.

Als gevolg van de verdieping namen in de Westerschelde de hoogwaterstanden toe. Behalve in het westelijke deel is er in de Westerschelde sprake van afname van de laagwaterstanden, maar deze is klein vergeleken bij de toename van de hoogwaterstanden. Deze toename is ruimtelijk en temporeel gelijkmatiger dan de daling in de laagwaterstanden. De oorzaak hiervan kan liggen in de grotere gevoeligheid van laagwaterstanden voor weerstandsveranderingen. Een mogelijke verklaring voor de toename van het verschil in hoog- en laagwater is, dat door de verruiming in het oosten een vermindering van de weerstand optreedt.

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 water kan worden geborgen kleiner geworden, terwijl door het verdiepen de hoofdgeul ruimer is geworden. Beide veranderingen in de geometrie leiden ertoe dat de getijgolf zich sneller voortplant dan voor de verdiepingen en dat de hoogwaterstanden en het getijverschil toenemen.

2.3.3 Toegenomen kennis

Gebleken is dat zandwinning en baggeren op drempels leiden tot een toename van de voortplantingssnelheid van de getijgolf, het getijvolume, de hoogwaterstanden, de getijslag, de ebdebieten en de maximale stroomsnelheden. De laagwaterstanden, de vloeddebieten en het verschil in duur van eb- en vloedperiode nemen af. Het

kombergingsoppervlak blijft min of meer gelijk. In het geval van het storten van baggerspecie zijn alle effecten precies tegenovergesteld, met uitzondering van de voortplantingssnelheid van de getijgolf. Daarvoor geldt dat er zowel sprake kan zijn van een afname als van een toename of van een onduidelijk effect. Rond 1930 hadden diverse geulen in de Westerschelde de oevers van het estuarium bereikt. Verdere migratie was onmogelijk. Dit resulteerde in een doorgaande ebgeul met zes bochten die op veel plaatsen vastligt door de aanleg van oeververdedigingen en een aantal vloedgeulen.

2.3.4 Literatuur

Alkyon, 2000. Morfologische Interpretatie van de verandering in het getij van de Westerschelde. Rapport A 569.

Arends AA, 1997. Inventarisatie van de huidige kennis over de veiligheid tegen overstromen van de Westerschelde. Rapport RIKZ/AB-97.857x. Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.

Berg JH van den, Jeuken MCJL, van der Spek AJF, 1996. Hydraulic processes affecting the morphology and evolution of the Westerschelde estuary. In: KF Nordstrom & CT Roman (Eds): Estuarine shores: evolution, environments and human alterations. John Wiley & Sons Ltd, Chichester.

Bliek AJ, 1995. Autonome ontwikkeling Westerschelde. Rapport 976. Svasek, Rotterdam.

Coen I, 1988. Ontstaan en ontwikkeling van de Westerschelde. *Water* 43: 156-162.

Doekes J, 1986. De stijging van de hoogwaterstanden op de Westerschelde in de afgelopen eeuw. Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren. Nota GWIO-86.014. Den Haag.

Friedrichs CT, DG Aubrey & PE Speer, 1990. Impacts of relative sea level rise on evolution of shallow estuaries. In: Cheng, R.T. (Ed.): Residual

currents and long-term transport. Coastal and estuarine studies 38. Springer, New York.

Gerritsen H & Boogaard van den HFP, 1998. Getijanalyse Westerschelde. Datarapport getijkomponenten, toepassingen van Principal Component Analysis. Rapport Z2591. Waterloopkundig laboratorium | Delft Hydraulics, Delft.

Gerritsen H, Wang ZB & van der Weck AW, 1999. Morfologische interpretatie van de veranderingen in het getij van de Westerschelde. Rapport Z2671. Waterloopkundig laboratorium | Delft Hydraulics, Delft.

Heij BJ, 2005. Hoeveel warmer mag het worden? RIVM Rapport nr. 2005999, Bilthoven.

Jeuken MCJL & Wang ZB, 2000. Tidal asymmetry and sediment transport in the Westerschelde estuary: a desk study. Rapport Z2864. Waterloopkundig laboratorium | Delft Hydraulics, Delft.

Kramer J de, 2002. Waterbeweging in de Westerschelde, een literatuurstudie. Rapport ICG-02/6. Universiteit van Utrecht, Utrecht.

Krijger GM, 1999. Het verdrinken land van Saeftinghe komt weer boven water. Rapport GWWS-93.838. Rijkswaterstaat, Middelburg.

Looff D de, 1981. Onderzoeken gevolgen verdieping Westerschelde met betrekking tot morfologie, zandhuishouding, stortplaatsen en stabiliteit oevers. Nota WWKZ-81.V018. Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishoudingen Waterbeweging, Adviesdienst Vlissingen.

Pieters T, Storm C, Walhout T & Ysebaert T, 1991. De Westerschelde, méér dan een vaarweg. Rapportage van een pilotstudie naar de ontwikkeling van de fysische structuur van het Schelde-estuarium. Nota GWWS 91.081. Rijkswaterstaat Directie Zeeland, Middelburg en Dienst Getijdewateren, Middelburg.

Pieters T, 2002. Het Scheldegetij, beschrijving en analyse van het getij in het Schelde-estuarium, met oplegnotitie.

Savenije HHG & Veling EJM, 2005. Relation between tidal damping and wave celerity in estuaries. *J. Geophys. Res.* 110.

Schaap M, 1998. Hedwigepolder als gecontroleerd overstromingsgebied, een verkennende studie. Werkdocument RIKZ: OS-98.882X. Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.

Spek AJF van der, 1994. Large-scale evolution of Holocene tidal basins in The Netherlands. Thesis Universiteit van Utrecht.

Spek AJF van der, 1992. Tidal asymmetry and long-term evolution of Holocene tidal basins in The Netherlands: simulation of paleo-tides in the Schelde estuary. *Marine Geology* 141: pag 71-90.

Steijn RC & Adema J, 2000. Stroomvoerend vermogen, getijdDominantie en resttransporten: Een verkennend onderzoek toegespitst op de Westerschelde. Rapport A569. Alkyon, Emmeloord, Marknesse.

Stive MJF, Wang ZB, van der Weck AW, van den Boogaard HFP & Baptist MJ, 1998. Definitiestudie morfologische dynamiek Westerschelde. Definitiestudie 22427. Waterloopkundig laboratorium | Delft Hydraulics, Delft.

Technische Scheldec commissie, 1984. Verdieping Westerschelde Programma 48'/43', Studierapport, Deel 1 en 2. Subcommissie Westerschelde, Middelburg en Antwerpen.

Wang ZB, Jeuken C & Vriend de HJ, 1999. Tidal asymmetry and residual sediment transport in estuaries – A literature study and application to the Western Scheldt. Waterloopkundig laboratorium | Delft Hydraulics, Delft.

Winterwerp JC & Kuijper C, 2002. Morfologisch model Westerschelde, Verkennende studie naar operationalisering. Verslag Z3222. Waterloopkundig laboratorium | Delft Hydraulics, Delft.

Zitman TJ, 1999. Getijanalyse Westerschelde. Rapport Rw741.1. Witteveen+Bos, Deventer.



Plaat van Valkenisse © Rijkswaterstaat

2.4 Morfodynamische modellen Westerschelde

2.4.1 (Denk)model morfodynamische relaties

Morfodynamische relaties zijn uit te drukken in een ruimtelijk (denk)model met een sedimentaanbod, sedimentatieruimte en sedimentvraag. In het meest eenvoudige denkmodel is sprake van een goot met een betonnen bodem waar van links naar rechts water doorstroomt. In deze goot verandert de bodem niet: door de stroming is sedimenttransport mogelijk, maar omdat geen sediment beschikbaar is, zal er niets veranderen. Zodra er zand in het linkerdeel van de goot wordt gestort zal zand worden getransporteerd. Het zand blijft alleen liggen, wanneer de stroomsnelheden niet té hoog zijn, bijvoorbeeld omdat in de bodem een kuil aanwezig is, alleen dan is sprake van sedimentatieruimte.

In een getijdenbekken of estuarium zoals de Westerschelde, zijn de morfodynamische relaties veel complexer dan in de hierboven geschetste betonnen goot. Door het getij is altijd sprake van doorstromen van water van 'links naar rechts' én van 'rechts naar links'. In de betonnen goot kun je volstaan met sedimentaanbod en sedimentatieruimte, maar in getijdenbekkens of estuaria komt daar de sedimentvraagdrempel. Bij baggeren op de drempel ontstaat ter plaatse sedimentatieruimte. De snelheid waarmee die sedimentatieruimte wordt opgevuld hangt af van hoeveel sediment wordt aangevoerd (het aanbod), maar ook van hoeveel direct weer wordt afgevoerd (de sedimentvraag). De ingrepen in de Westerschelde werken in veel gevallen door in alle 'bakken', omdat bijvoorbeeld het verlagen van de drempels effect heeft op de weerstand, waterstanden, verhangen en komberging.

Ook op een heel kleine schaal kan de Westerschelde opgedeeld worden in bakken, bijvoorbeeld op een schaal van centimeters op platen. In dit geval creëert een 'hoopje' van een wadpier lokaal een

sedimentaanbod, dat alleen effect heeft als er ook ruimte is voor sedimentatie op het kleine stukje plaat ernaast.

Sedimentaanbod, sedimentatieruimte en sedimentvraag zijn elk opgebouwd uit de integraal over een tijdsspanne van de sedimentconcentratie (het sediment in de gehele waterkolom als gevolg van bodem- en suspensietransport), de waterstand (hoe hoog is de waterkolom) en de watersnelheid (hoeveel 'waterkolommen' komen langs). De gradiënt van deze integralen bepaalt of er sprake is van erosie of sedimentatie.

De drie factoren sedimentconcentratie, de waterstand en de watersnelheid zijn weer een functie van waterstanden en verhangen (die zowel de snelheden als de hoogte van de waterkolom bepa-

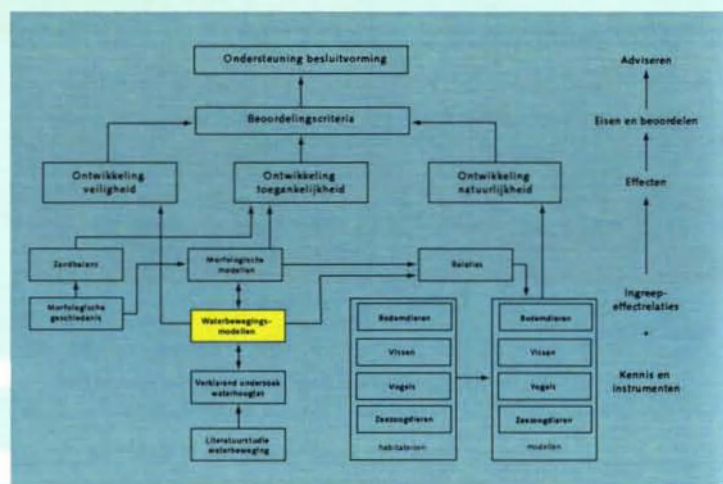
len), komberging (ook met een koppeling naar snelheid en hoogte van de waterkolom), weerstand over de bodem (met een koppeling naar snelheid en sedimentaanbod), en de sedimentbeschikbaarheid. Een verandering in de weerstand - bijvoorbeeld omdat op de bodem een ander korrelgrootte beschikbaar is gekomen - heeft effecten op de waterbeweging, zodat waterstanden, verhangen en ook de komberging veranderen.

Het voordeel van de beschrijving in termen van sedimentaanbod, sedimentatieruimte en sedimentvraag is dat de ruimtelijke relatie direct inzichtelijk is. Een verandering in een van de bakken, bijvoorbeeld door een andere stortstrategie werkt door in het naastliggende bakje, maar zal alleen resulteren in sedimentatie als daar daadwerkelijk ruimte voor is.

2.4.2 Verbetering van het waterbewegingsmodel SCALWEST

De waterbeweging is nader bekeken en beschreven aan de hand van het model SCALWEST. Het bestaande SCALWEST 1996 model reproduceerde de stroomsnelheden in het intergetijdengebied onvoldoende om de juiste informatie richting ecologie aan te leveren. Daarom is een aantal veranderingen doorgevoerd om te onderzoeken of hierdoor het nieuwe model SCALWEST 2000 in het intergetijdengebied wel beter presteerde. Een mogelijke oplossing voor het niet goed reproduceren van stroomsnelheden in de intergetijdengebieden in SCALWEST 1996 kan een andere instelling van de bodemruwheidsparameter zijn. In het aangepast model is de ruwheid van de bodem in de intergetijdengebieden berekend met een ruwheidsvoorspeller (op basis van bodemvorm en korrelgrootte) aan de hand van de geomorfologische kaart van 1996.

Het vernieuwde model reproduceert de waterstanden en getijvolumes in de Westerschelde goed, maar de reproductie is iets minder dan in het SCALWEST 1996. De verklaring is dat de randvoorwaarden in het SCALWEST 2000 berekend



zijn in plaats van gemeten. De stroomsnelheden op bepaalde delen (circa 20%) van de platen vertonen nog afwijkingen met de metingen.

Het verloop van de waterstanden laat wel een goed beeld zien en komt overeen met de gemiddelde verhanglijnen. De waterstanden tijdens stormsituaties worden echter nog gemiddeld 20 cm te laag berekend.

Het SCALWEST 2000 model is zo goed mogelijk gekalibreerd voor het intergetijdengebied. Daarbij

is gebruik gemaakt van de instellingen van het SCALWEST 1996 model die aan de hand van stroomsnelheidsmetingen van rond 1996 zijn vastgesteld. Om een goede uitspraak te kunnen doen over hoe betrouwbaar het model nu is, zijn echter nieuwe stroomsnelheidsmetingen op het intergetijdengebied nodig zodat validatie uitgevoerd kan worden.

Er zijn aanwijzingen dat de bodemruwheid op (delen van) de platen onjuist wordt geschat. De gebruikte ruwheidvoorspeller houdt er geen rekening mee dat de bodemruwheid afneemt naarmate de

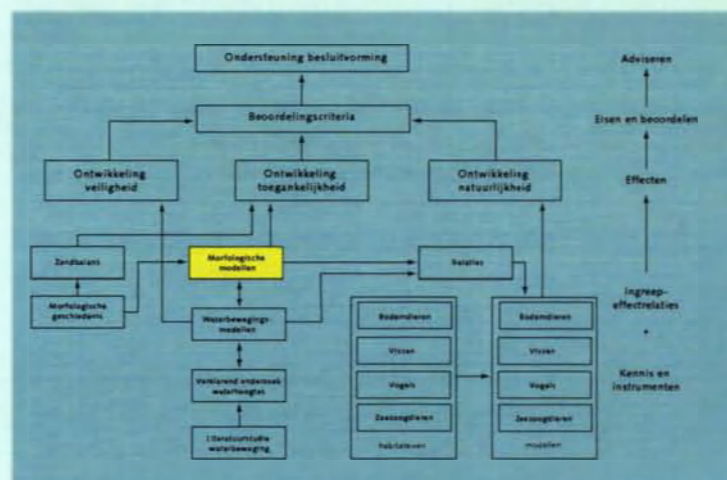
2.4.3 Ontwikkeling, kalibratie en verificatie van het morfologische model

In het kader van ZEEKENNIS werd een morfologisch model van de Westerschelde ontwikkeld op basis van het hydrodynamische KUSTZUID model van Rijkswaterstaat. Hierna volgde een onderzoek naar de mate waarin het model gebruikt kan worden om de morfodynamica van de Westerschelde te simuleren, zowel op korte termijn (jaren) als op middellange termijn (decennia).

In eerste instantie is met het softwarepakket Delft3D van Waterloopkundig Laboratorium | Delft Hydraulics een schematisatie gemaakt voor de Westerschelde. Dit morfologische model maakt gebruik van een dieptegemiddelde aanpak. Tevens is de invloed van driedimensionale effecten onderzocht. Het model berekent zelf de baggerinspanning en het fictief terugstorten van het gebaggerde sediment gebeurt op locaties die in werkelijkheid ook gebruikt worden. Het model neemt zandwinning en de aanwezigheid van lagen die moeilijk eroderen mee en ook de in de Westerschelde aanwezige oeververdedigingen zijn in het model opgenomen.

De opgedane kennis die in dit hoofdstuk wordt beschreven draagt bij aan de beoordelingscriteria (zie 1.4) als hoogwaterstanden, (water)diepte, (water)breedte, storten in nevengeulen, storten in monding, hoeveelheid onderhoudsbaggerwerk, zoutgehalte, slikken, platen, ondiep water, plaat-

ning mee dat op de platen megaribbels aanwezig zijn. Aanbevolen wordt het vormeffect op de ruwheid nader te bepalen door middel van laboratoriumonderzoek in combinatie met kalibratie van gemeten en berekende stroomsnelheden in de intergetijdegebieden, of om een (gewogen) uniforme ruwheid te berekenen voor zowel slikken als platen, waarbij de megaribbelvelden op de platen niet mee doen in de bepaling van de uniforme ruwheid.



profiel en sedimentsamenstelling.

Daarna is de basis van het model, het waterbewegingsgedeelte, gekalibreerd en geverifieerd. Daaruit kon geconcludeerd worden, dat zowel waterstanden als debieten zeer goed door het model worden gereproduceerd. Na deze vaststelling is het morfodynamische deel van het model opgezet, daarbij was het eerste doel het bepalen van een optimale set modelparameters (de 'knoppen' van het model). Daartoe zijn diverse modelparameters gevarieerd en het effect daarvan op verschillende grootheden is bepaald met gevoeligheidsberekeningen. De grootheden waarmee is gerekend zijn bodemdiepte, volumes van eb- en vloedgeulen, arealen voor een aantal diepteklassen, baggervolumes en het netto zandtransport. Met de vast-

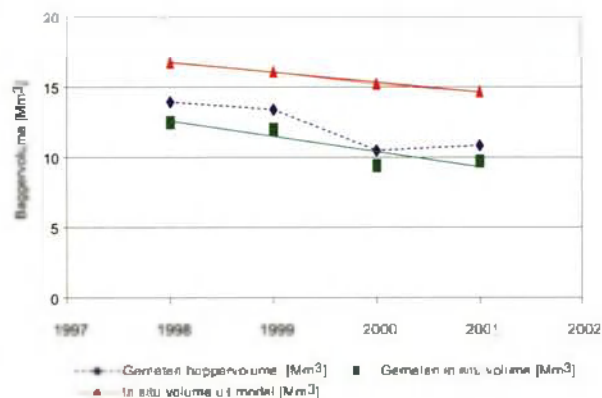


Baggeren nabij Doel © Anita Eijlers/Schelde InformatieCentrum

gestelde optimale set modelparameters zijn twee kalibratieberekeningen uitgevoerd, voor de periode 1998-2002, de jaren tijdens en na de tweede verruiming van de vaargeul en de periode 1960-1966, de jaren vóór de eerste verruiming van de vaargeul in de Westerschelde.

Om resultaten van modelsimulaties goed te kunnen vergelijken met meetgegevens is het noodzakelijk om bij het vergelijken onnauwkeurigheden in beide datasets mee te nemen. Hiertoe wordt gebruik gemaakt van bandbreedtes, die per bestudeerde grootheid een set van mogelijke uitkomsten geven. Bij modelsimulaties hebben de uitkomsten bandbreedtes die worden bepaald door onzekerheden in de exacte waarde van de modelparameters. De bandbreedtes voor de meetgegevens omvatten zowel natuurlijke fluctuaties als meetonnauwkeurigheden.

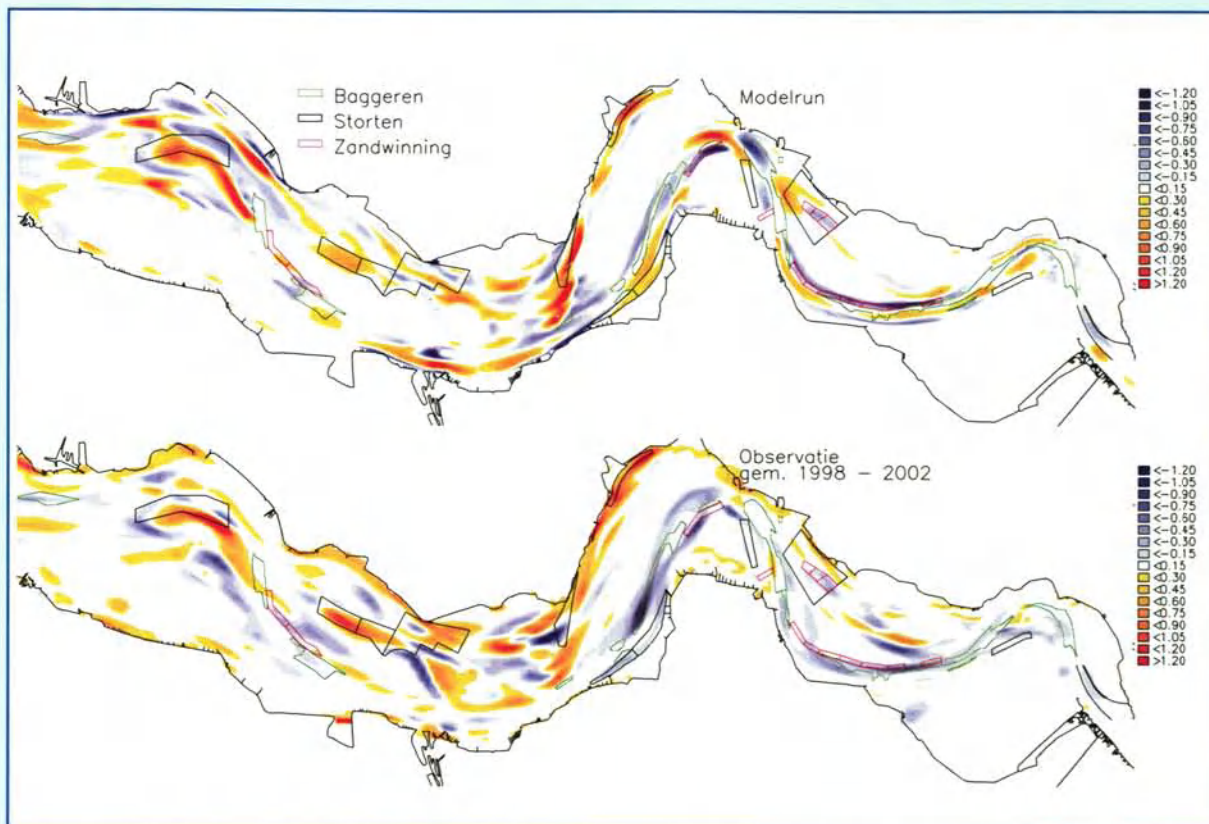
Uiteindelijk kon de verificatieberekening voor de periode 1970-1985 worden uitgevoerd. Hierbij zijn dezelfde modelparameters gebruikt als bij de definitieve kalibratie. De resultaten van deze verificatie van het Delft3D model zijn gecombineerd met de informatie uit de daaraan voorafgaande gevoeligheidsberekeningen en met de kalibratie.



Figuur 15: Gemeten (in situ en in de hopperzuiger) en berekende baggervolume voor de periode 1998-2002

De eerste conclusie uit de studie is, dat de totale jaarlijkse baggerhoeveelheden redelijk goed worden berekend door het model en gemiddeld enkele Mm^3 verschillen met de waargenomen hoeveelheden (Figuur 15). De te grote voorspelde baggerhoeveelheden op de drempel van Hansweert bepaalt voornamelijk de overschatting. Het model reproduceert de waargenomen dalende trend in de baggerhoeveelheden na de tweede verruiming goed.

De bagger- en stortvolumes voor het reguliere beheer van de vaarweg zijn na de laatste verdieping minder toegenomen dan was voorspeld. De lineaire regressievergelijking (toename baggervolume is evenredig met de toename van de onderhoudsdiepte) die was ingezet om de bagger- en stortvolumes te voorspellen bleek bij nader inzien te eenvoudig. Analyse met een relatief eenvoudig model, waarin enkele fysische aspecten (waterbeweging, sedimenttransport) zijn meegenomen, laten zien dat de baggervolumes niet evenredig toenemen met een toenemende onderhoudsdiepte, omdat de sedimenttoevoer naar de gebaggerde drempel niet veel meer toeneemt. Het sedimenttransport is dus een limiterende factor in de morfologische ontwikkeling van gebaggerde drempels. Verder blijkt de toename van de geulbreedte die wordt onderhouden een minstens zo belangrijke



Figuur 16: Sedimentatie- en erosiepatronen zoals voorspeld door het model en zoals ze gemiddeld tussen 1998 en 2002 optraden

rol te spelen bij veranderingen van het baggervolume als de onderhoudsdiepte.

De tweede conclusie uit de modelstudie is dat de sedimentatie- en erosiepatronen de meest gedetailleerde informatie geven over de morfologische veranderingen. Voor sommige simulaties worden grootschalige patronen ruimtelijk gezien redelijk voorspeld, maar het model overschat structureel de mate van sedimentatie en erosie (Figuur 16). Verdere verbetering op dit gebied lijkt mogelijk.

De derde conclusie is dat de netto volumeveranderingen van de macrocellen door het model gereproduceerd kunnen worden. De resttransporten in het estuarium worden voor de periode 1960-1966 en voor de periode 1970-1985 door het model gereproduceerd met maximale verschillen in de orde van $2 \text{ Mm}^3/\text{j}$. De studie laat ook zien dat voor de periode 1998-2002 het model een kleine netto import voorspelt, terwijl

metingen een export van sediment laten zien.

De onzekerheden in areaalveranderingen per diepteklasse die het model berekent zijn zeer groot, terwijl juist voor de ecologie areaalveranderingen van belang zijn. Het model laat een geleidelijke versteiling van de bodemligging zien, in werkelijkheid is dit niet het geval. De oorzaak zou kunnen zijn dat bepaalde aspecten (zoals afschuiven van geulwanden, plaatranden, enz.) die in werkelijkheid wellicht een rol spelen in de Westerschelde, niet gemodelleerd zijn. Meer onderzoek naar deze processen en hoe ze gemodelleerd kunnen worden is vereist.

Op basis van bovenstaande bevindingen is een waardering toegekend aan de toepasbaarheid van het model voor de beantwoording van diverse beheersvragen. (Zie schema volgende pagina.)

Type beheersvraag	Toepasbaarheid
Effecten op hydrodynamica	Model is toepasbaar in absolute zin, bijvoorbeeld om de autonome ontwikkeling van het estuarium te voorspellen.
Effecten op baggervolumes	Model is toepasbaar in relatieve zin, dus om verschillende alternatieven/scenario's te onderzoeken en vergelijken.
Effecten op grootschalige zandhuishouding	Model zou toegepast kunnen worden, maar moet op dit aspect verder gekalibreerd worden.
Effecten op zandimport/export vanuit de Westerschelde	Model zou (in principe) toegepast kunnen worden, maar moet op dit aspect verder verbeterd en gevalideerd worden.
Effecten op platen	Model zou in principe toegepast kunnen worden, maar moet op dit aspect verder verbeterd en gevalideerd worden.
Effecten op schorren	Model is niet geschikt om dit aspect te bestuderen.

Om het morfologische model bruikbaar te maken voor ecologische voorspellingen worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- Opzet en optimalisatie van het morfologisch model met SCALWEST resolutie.
- Validatie van de waterbeweging met stromingspatronen. Dit wordt gedaan om te kijken hoe goed de waterbeweging in langs- en dwarsrichting wordt gereproduceerd, dat is van belang voor een correcte ruimtelijke verdeling van de sedimentatie en erosiepatronen en areaalveranderingen.
- Onderzoek naar verbetering van het model met betrekking tot erosie-sedimentatiepatronen en veranderingen van plaatarealen.
- Verkenning van de voorspelhorizon met het model.
- Aanvullende morfologische simulatie met het fijne morfologische model van de proefstorting bij Walsoorden. Hiervoor zijn inmiddels meetgegevens uit het veld beschikbaar.

2.4.4 Toegenomen kennis

De bodemruwheid speelt een belangrijke rol in de waterbewegingsmodellen. Door de bodemruwheid van het intergetijdengebied op een meer gedifferentieerde manier te beschrijven is getracht het simuleren van de stroomsnelheden in dit gebied te verbeteren, maar zonder succes. Er zijn echter aanwijzingen dat de megaribbels op de platen een belangrijke rol spelen in het simuleren van stroomsnelheden in het intergetijdengebied.

Het ontwikkelde morfologische model is geschikt om scenario's door te rekenen op het gebied van bagger- en stortactiviteiten. Met wat aanpassingen is het model ook geschikt om de grootschalige zandhuishouding te simuleren en effecten op zandimport en zandexport vanuit de Westerschelde te voorspellen. Om het model geschikt te maken voor het voorspellen van effecten op platen moet het nog verder verbeterd en gevalideerd worden.

2.4.5 Literatuur

Dam G, 1999. Het SCALWEST model in het intergetijdengebied. Een eerste verkenning naar afwijkingen tussen model en veldmetingen. Rapport 99321/1115. Svasek, Rotterdam

Dam G & Jansen M, 2002. Verbeteren van het SCALWEST model: ruwheden in het intergetijdengebied. Eindrapport deel 1. Rapport 1206. Svašek/Royal Haskoning, Rotterdam.

Hibma A, 2004. Morphodynamic modelling of estuarine channel-shoal systems. Thesis Delft University of Technology.

Jansen M, 2002. Verbetering van het SCALWEST model; bouw SCALWEST 2000 model. Rapport 02107/1206. Svasek/Royal Haskoning, Rotterdam.

Kornman B, Liek GA & Schippers H, 2002. Baggeren en storten in de Westerschelde, een nieuw kijk op onderhoudsbaggerwerk. Werkdocument RIKZ/AB/2002.840x. Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.

Kuijper C, Steijn R, Roelvink D, van der Kaaij T & Olijslagers P, 2004. Morphological modelling of the Western Scheldt. Report Z3648. Waterloopkundig laboratorium | Delft Hydraulics, Delft.

Rijn van LC, 2003. Berekening van de bodemruwheid ten behoeve van het waterbewegingsmodel SCALWEST voor de Westerschelde. Rapport Z 3685. Waterloopkundig laboratorium | Delft Hydraulics, Delft.

Schlager W, 1993. Accomodation and supply – a dual control on stratigraphic sequences: Sedimentary Geology 86: 111-136.

Svasek, 1997. Bouw, calibratie en verificatie SCALWEST t.b.v. project verdieping. Rapportage activiteit A Rapport 97210/1011. Rotterdam.

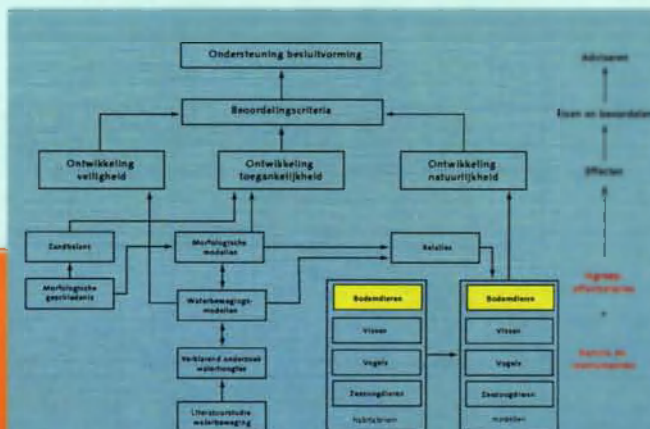


Scholeksters © Pim Wolf

3 Ecologie

Het hoofdstuk ecologie behandelt vier groepen van organismen, namelijk de bodemdieren, vissen, vogels en zeezoogdieren. In ZEEKENNIS is de verspreiding van bodemdieren in de Westerschelde beschreven. Aan de hand van monitoringsgegevens verzameld in de afgelopen vijftien jaar, zijn modellen voor diverse soorten bodemdieren gemaakt. De studie naar vissen in de Westerschelde besteed vooral aandacht aan de kinderkamerfunctie van de Westerschelde en of die met de huidige gegevens gemodelleerd kan worden. In de paragraaf over vogels ligt het accent op de veldstudie naar steltlopers en de modellering van een aantal soorten steltlopers. Het hoofdstuk ecologie sluit af met een literatuuronderzoek naar de sturende factoren in het voorkomen van de Gewone Zeehond en de Bruinvis in de Westerschelde.

3.1 Bodemdieren



Bodemdieren spelen een essentiële rol in de kringloop van koolstof en nutriënten in het estuariene ecosysteem. Daarnaast stimuleert een deel van de bodemdieren door het omwoelen van de bodem de bacteriële activiteit. Tot slot is deze groep belangrijk als voedselbron voor vogels en vissen. Naast de betekenis van bodemdieren voor het ecosysteem zijn de dieren ook belangrijk in het kader van het beleid. Zij dienen als voedsel voor vele soorten vogels waarvoor de Westerschelde is aangewezen als Vogelrichtlingsgebied. Voor het beleid en beheer van het estuarium is het dus van belang te kunnen voorspellen welke veranderingen

in bodemdieren zullen optreden na lokale én na systeembrede ingrepen in de Westerschelde. In deze paragraaf worden de resultaten beschreven van de studie over simuleren en voorspellen van het habitat van bodemdieren.

Intermezzo

Beelden van het historisch voorkomen van bodemdieren

In de 17^e eeuw waren de mosselbanken in het toenmalige Hellegat bezit van de stad Axel. In de 19^e eeuw begon de overheid de visserij in de Zeeuwse wateren te reglementeren: aan beroepsvissers werden concessies afgegeven voor het kweken van mosselen op plaatsen die daarvoor het meest geschikt waren. Een document uit 1847 noemt de aanleg van mosselbanken in de kreken van Saeftinghe, in 1890 verleende men vergunning voor de aanleg van een drie kilometer lange mosselbank op de slikken tussen Ossensisse en Hellegat. Het zwaartepunt vormde toentertijd de mosselkweek in de Braakman.

Uitgangsmateriaal voor de mosselkweker is het zogeheten mosselzaad (wilde jonge Mosselen). Een visser beschreef de situatie in het begin van de 20^e eeuw als volgt: 'Vroeger zat het zaad veel in de Westerschelde. D'r lagen daar hele banken: bij Terneuzen, langs de Zuid-Bevelandse wal, aan Walsoorden tot aan Baalhoek toe. 't Blonk er gewoon van.' In 1936 visten 70 tot 80 schepen dagenlang op een zaadbank van 100 ha op de Kaloot. Tot 1952/53 werd er zaad gevist in het Speelmansgat en bij de Marlemontse plaat in het Verdrongen Land van Saeftinghe.



Mosselen © Joris Geurts van Kessel

Kokkels, Strandgapers en Alikruiken werden waarschijnlijk reeds eeuwen geleden voor directe consumptie verzameld, vooral in tijden van schaarste. In 1932 gingen circa 90 werkloze Gentenaren naar de Braakman om Strandgapers te steken. Volgens een lokale visser raapte men daar tijdens de Tweede Wereldoorlog Kokkels, Alikruiken en Strandgapers, soms met 150 man tegelijk. Ook in de geulen van het Verdrongen Land van Saeftinghe konden tot halverwege de 20^e eeuw nog veel Strandgapers van consumptiegrootte gevonden worden.

Verschillende bronnen wijzen erop, dat de bestaansmogelijkheden voor een aantal schelpdier-soorten in de Westerschelde sinds het begin van de vorige eeuw zijn verslechterd. Gebieden als de Braakman en de Kaloot zijn door inpoldering als leefgebied verloren gegaan, terwijl de krekens in het Verdrongen Land van Saeftinghe flink in omvang zijn afgenomen. Bij een reconstructie voor de periode 1950-1994 konden nog slechts enkele plaatsen gevonden worden waar mosselbanken voorkwamen. Tegenwoordig valt mosselzaad nog maar zelden in hoeveelheden die het opvissen lonend maakt en dan alleen lokaal. De aanwezigheid van (oudere en grotere) Strandgapers is, vanwege de diepte waarop ze zitten, met de gangbare methoden van bemonstering moeilijk vast te stellen. De indruk bestaat echter dat ook deze soort minder algemeen is dan in het verleden.

Over het voorkomen van schelpdierbanken onder de laagwaterlijn is nog minder bekend. In het verleden kwamen kokkels op 3-4 meter diepte voor in dichtheden die geëxploiteerd konden worden en aan het begin van de 20^e eeuw werden nog grote aantallen schelpdieretende duikeenden waargenomen. Ook hiervoor zijn aanwijzingen te vinden dat hun voorkomen in de Westerschelde op dit moment minder is.

In de periode 1965-1990 zijn in de Westerschelde bodemdiergegevens verzameld in het kader van verschillende studies. Elke studie had een eigen vraagstelling en bijbehorende methodiek voor de keuze van meetlocaties en bemonsteringsmethode. Door de grote variatie in het gebied is een degelijke analyse van de veranderingen die zich in die 25 jaar voordeden niet mogelijk. Voor een aantal gebieden die enkele jaren achtereen werden onderzocht konden slechts korte termijn schommelingen worden vastgesteld, veroorzaakt door wisseling van seizoenen en jaarlijkse fluctuaties in bijvoorbeeld het voortplantingssucces van de bodemdieren.

Vanaf de jaren zestig tot halverwege de jaren zeventig van de vorige eeuw was er sprake van een verslechterende kwaliteit van het Scheldewater. Lozingen van ongezuiverd afvalwater veroorzaakten lage zuurstofgehalten. Een aantal gevoelige bodemdiersoorten kwam in het gebied niet meer voor, wat aan de slechte waterkwaliteit werd toegeschreven.

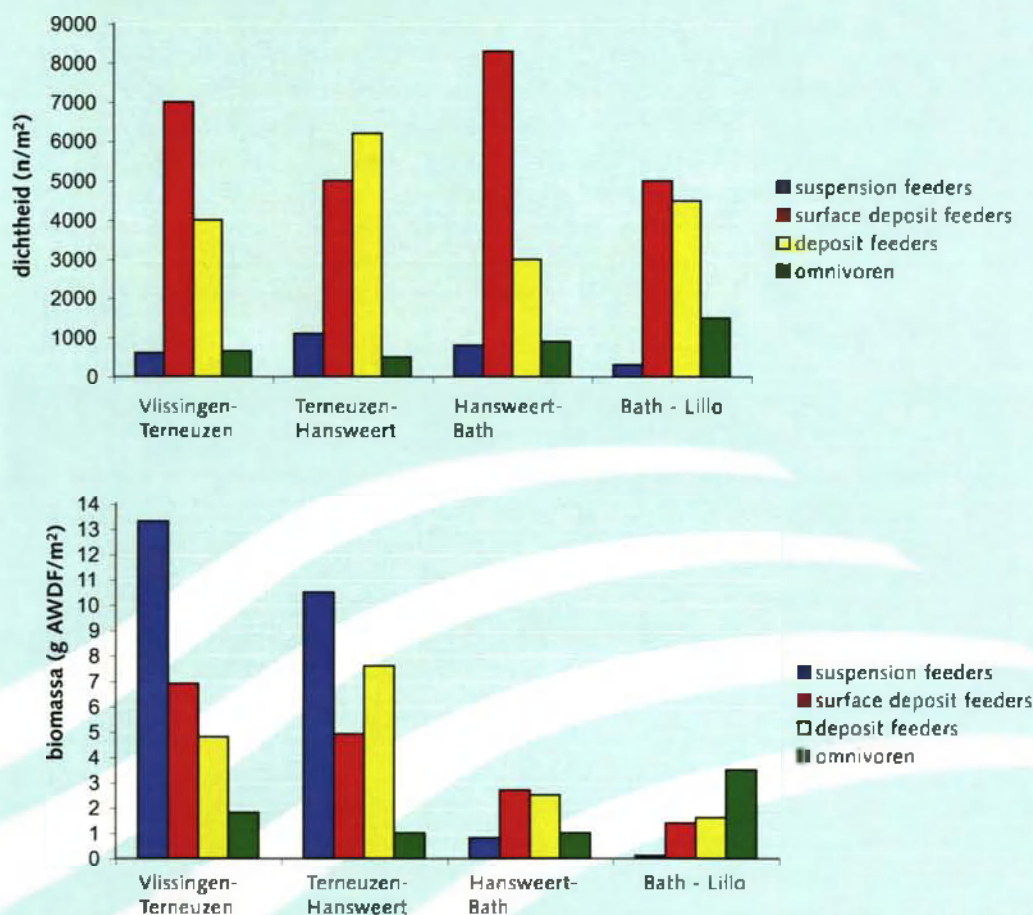
Rond 1950 kwam een einde aan de mosselcultures in de Braakman door inpoldering, verzanding van het gebied en het uitbreken van een mosselziekte (*Mytilicola*).

Eind jaren tachtig en begin jaren negentig werden aspecten als soortenrijkdom, dichtheid en biomassa van bodemdiergemeenschappen in de Westerschelde onderzocht. Er werden geen duidelijke effecten van water- en waterbodemonverontreiniging waargenomen. Wel werden aanwijzingen gevonden voor mogelijke effecten van verontreiniging op reproductie, groei en overleving van bepaalde soorten. Een voorbeeld is het schaarse voorkomen in de brakke zone van oudere exemplaren van de Strandgaper en het Nonnetje. Door sterke schommelingen en ruimtelijke variatie in het zoutgehalte, bodembewegelijkheid en sedimentsamenstelling bleek het moeilijk de invloed van verontreinigingen te onderscheiden van de fysische verstoringen.

3.1.1 Het voorkomen van bodemdieren in de Westerschelde vanaf 1990

Het voorkomen van grotere bodemdieren (macro-zoöbenthos) in grote delen van de Westerschelde wordt sinds 1990 tweemaal per jaar onderzocht. In de Westerschelde zijn in de periode 1992-2001 191 bodemdiersoorten waargenomen. De meest algemeen voorkomende soort is *Heteromastus filiformis* (rode draadworm). Andere algemene soorten zijn *Macoma balthica* (nonnelje), *Pygospio elegans* (zandpijp) en *Bathyporeia pilosa* (vlokreeftje). In de lengterichting van de Westerschelde bestaat een duidelijke gradiënt in het voorkomen van bodemdiergemeenschappen die samenhangt met

de zoutgradiënt: naarmate men meer stroomopwaarts komt neemt het aantal soorten af. Ook is er een duidelijke verandering in de biomassa te zien: in het mondingsgebied domineren suspension feeders (halen hun voedsel uit het water), meer stroomopwaarts worden de omnivoren (alleseters) de overheersende groep. Figuur 17 toont de relatieve verschuiving langs de zoutgradiënt, waarbij naast biomassa en dichtheid van suspension feeders en omnivoren ook de biomassa en dichtheid van deposit feeders (halen hun voedsel uit het sediment) en surface deposit eters (halen hun voedsel van de oppervlakte van de bodem).



Figuur 17: Dichtheid en biomassa van bodemdieren met verschillende voedselstrategieën per saliniteitszone in het intergetijdengebied



Nonnetje © Ben Schrieken/Foto Natura

Ook in de diepterichting van het systeem is een gradiënt waar te nemen: dichtheid en biomassa zijn hoger in de hoger gelegen zones vergeleken met de diepere zones.

Tot 1990 waren de hoeveelheden Japanse Oesters (*Crassostrea gigas*) in de Westerschelde verwaarloosbaar, maar vanaf 1990 komen ze voor op de meer beschutte delen en locaties met een harde ondergrond. De oesters zijn afkomstig van kweekpercelen in de Oosterschelde. Daar introduceerde de schelpdiersector de soort in 1964 als alternatief voor de Zeeuwse platte oester. Vanaf de oesterbanken zijn ze verwilderd en verspreiden ze zich over een steeds groter gebied.

3.1.2 Simuleren en voorspellen van bodemdieren

De informatie over bodemdierverspreidingen van de laatste vijftien jaar is gebruikt om voorspelmodellen te ontwikkelen. Het voorkomen van bodemdieren wordt bepaald door verschillende

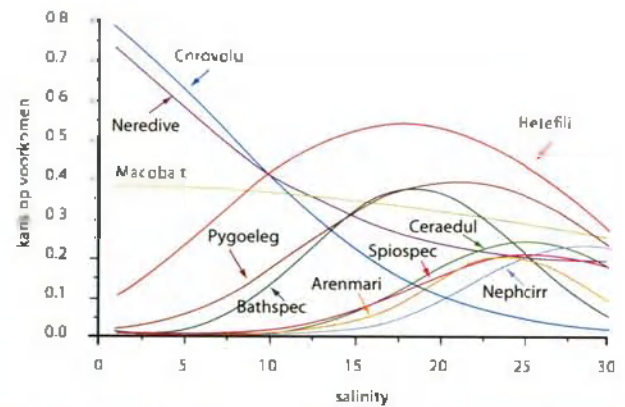
factoren. Sommige hiervan zijn ruimtelijk van aard (bijvoorbeeld zout, stroomsnelheid), andere temporeel (bijvoorbeeld verschillen tussen jaren). Bij alle onderzochte dominante bodemdiersoorten in de Westerschelde kon het grootste deel van de waargenomen variatie verklaard worden met de ruimtelijke component. Het grootste deel van de variatie in dichtheid en biomassa is te verklaren door lokale veranderingen in de omgevingsvariabelen. De meeste soorten passen zich aan aan het langjarige gemiddelde in abiotische factoren.

Om te komen tot voorspelmodellen van bodemdieren zijn vanuit hydrodynamische modellen gegevens beschikbaar over maximum stroomsnelheid bij vloed, maximum stroomsnelheid bij eb en zoutgehalte. Verder zijn meetgegevens gebruikt over diepte, sedimentsamenstelling en zoutgehalte. Het relatieve belang van deze variabelen is verschillend van soort tot soort, maar over het algemeen kan worden gesteld dat al deze variabelen ten minste voor enkele soorten van belang zijn om tot voorspellingen te komen.

Simuleren van de kans op voorkomen

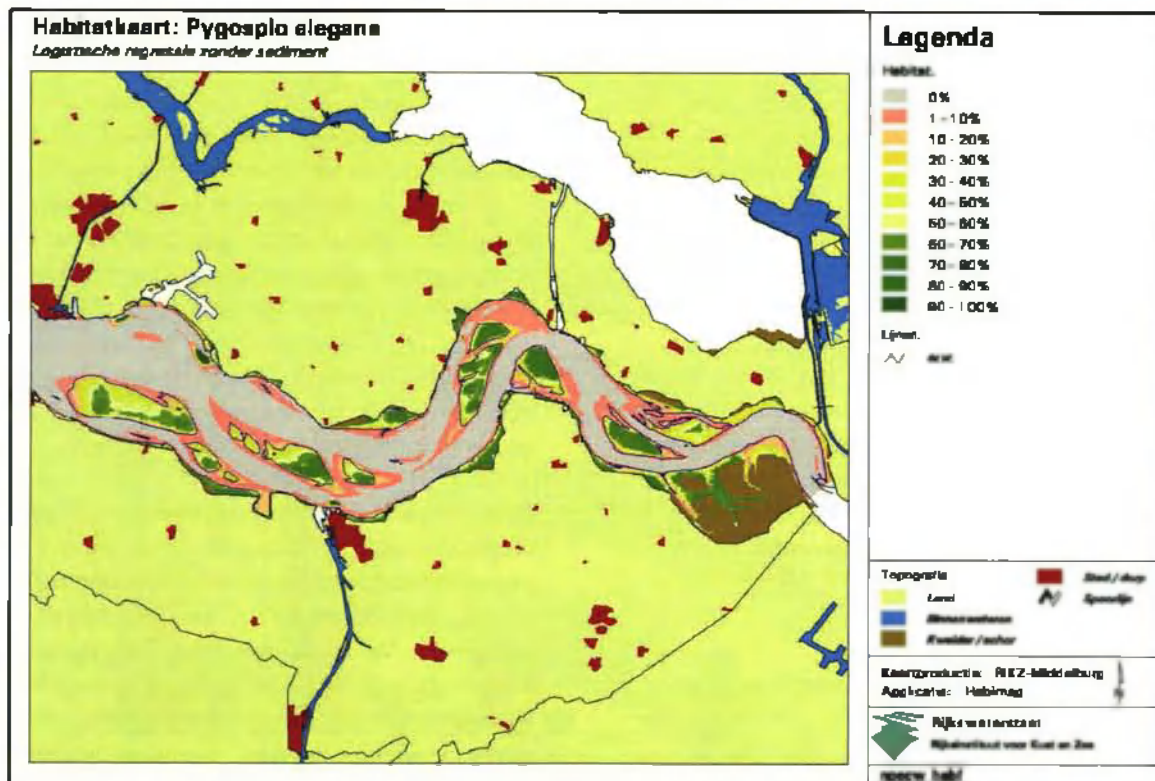
Op basis van bodemdiergegevens uit de periode 1978-1997 zijn responscurven voor de kans op voorkomen van twintig soorten bodemdieren opgesteld. Hierbij is gebruik gemaakt van regressiemodellen. De analyses om te komen tot de responscurven zijn uitgevoerd met de volgende abiotische variabelen: zoutgehalte, diepte, maximale stroomsnelheid bij eb en bij vloed en sedimentsamenstelling. Een soort werd als aanwezig verondersteld wanneer de dichtheid groter was dan 50 individuen per m². Figuur 18 geeft als voorbeeld de responscurven van tien bodemdiersoorten voor de variabele zout.

In een simulatie van de huidige situatie komen de waarnemingen van voorkomen zeer goed overeen met de voorspellingen van de twintig soortmodellen. Met de gevonden relaties tussen bodemdier en variabele is het mogelijk kaarten te maken die

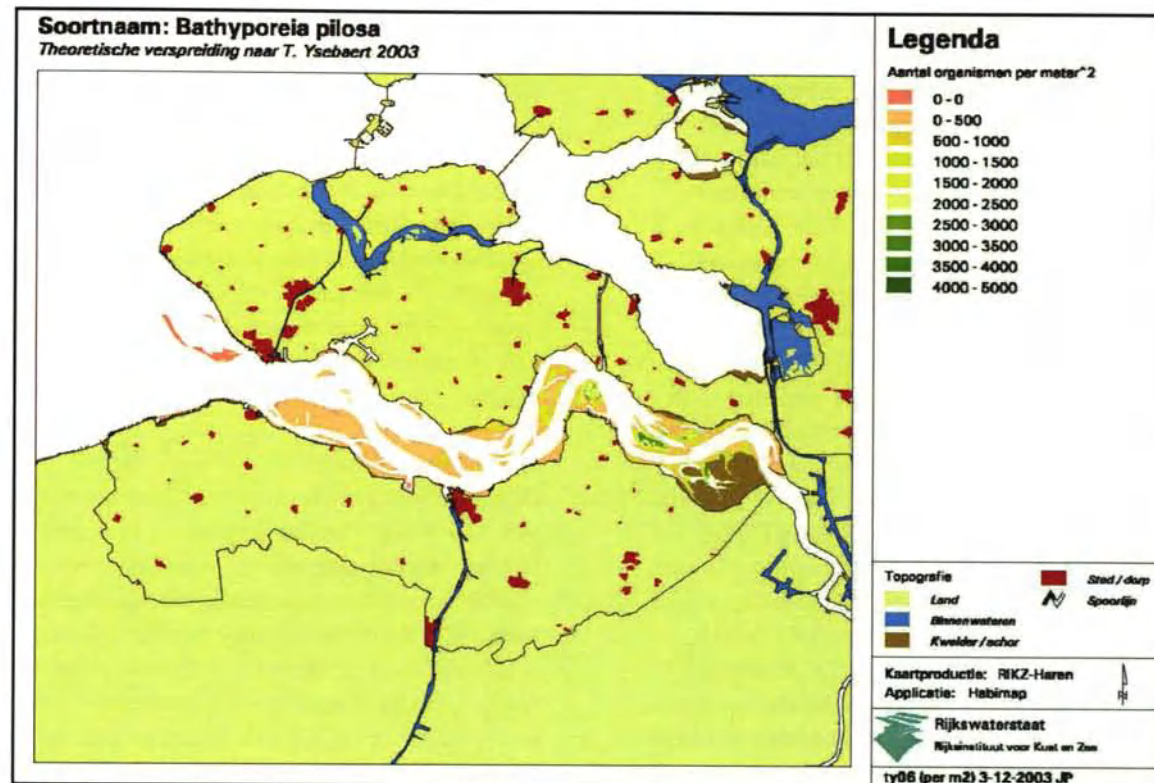


Figuur 18: Voorbeeld van responscurve voor kans op voorkomen. Op de x-as staat de saliniteit, op de y-as de kans op voorkomen van de soort. Afkortingen soorten: Corovolu=*Corophium volutator*, Neredive=*Nereis diversicolor*, Macobalt=*Macoma balthica*, Hete fili=*Heteromastus filiformis*, Bathspec=*Bathyporeia spec.*, Pygoeleg=*Pygospio elegans*, Arenmari=*Arenicola marina*, Ceraedul=*Cerastoderma edule*, Spiospec=*Spio spec.*, Nephcirr=*Nephtys cirrosa*

de kans op voorkomen van een bepaalde soort in de Westerschelde weergeven. Figuur 19 geeft als voorbeeld de kans van voorkomen voor de Zandpijp (*Pygospio elegans*) weer.



Figuur 19: Kaart van kans op voorkomen van de Zandpijp (*Pygospio elegans*)



Figuur 20: Dichtheidskaart van het Vlokreeltje (*Bathyporeia pilosa*)

Simuleren van de dichtheid van een aantal bodemdiersoorten

Om dichtheden van soorten te kunnen simuleren zijn van tien bodemdiersoorten dichtheidsmodellen gemaakt op basis van bodemdiergegevens uit de periode 1992-2000. Voor het modelleren is gebruik gemaakt van regressiemodellen omdat met deze modelbenadering een goede beschrijving te geven is van gemiddelde dichtheden. De analyses zijn uitgevoerd met de abiotische variabelen diepte, stroomsnelheid, zout en seizoen. Met de gevonden relaties zijn verspreidingskaarten gemaakt die de dichtheid van een bepaalde soort in de Westerschelde simuleren. Als voorbeeld wordt in Figuur 20 de berekende dichtheidskaart van het Vlokreeltje (*Bathyporeia pilosa*) gepresenteerd.

Als onderdeel van de validatie is geprobeerd vier van de ontwikkelde modellen voor dichtheid te

gebruiken in de Oosterschelde. Bij toepassing in dit watersysteem werden voor één soort goede voorspellingen van het voorkomen gedaan, de andere drie soorten werden overschat of onderschat. Dit betekent dat de ontwikkelde modellen niet toepasbaar zijn in systemen met afwijkende biotische of abiotische factoren. Het is niet duidelijk of dit komt doordat de Westerschelde, of juist de Oosterschelde, een afwijkend systeem is.

De waarde van voorspellingen met deze beide typen modellen (kans op voorkomen, dichtheid) is moeilijk vast te stellen. Voorspellingen zullen alleen geldig zijn wanneer er niets verandert aan de relatie tussen de onderliggende abiotische variabelen of de relatie tussen kans op voorkomen met de abiotische variabelen.

Kijkend naar de beoordelingscriteria (zie 1.4) zijn vooral de dichtheidsmodellen relevant.

Simuleren van biomassa

Met de beschikbare dataset van bodemdieren uit de periode 1992-2000 bleek het niet mogelijk modellen te maken waarmee de biomassa van bodemdieren te simuleren is. Oorzaak is de grote variatie in de data, waardoor regressiemodellen technisch gezien niet toe te passen zijn. Speciaal voor kokkels is een biomassamodel gemaakt op basis van gegevens uit de periode 1994-2003. Dit model kon de verspreiding van kokkels redelijk goed simuleren, maar de validatie liet zien dat het model niet toepasbaar is in andere gebieden en in andere tijdsperioden.

De invloed van het schaalniveau

Relaties die op een bepaald schaalniveau (bijvoorbeeld op platen) worden gevonden zijn niet zonder meer toepasbaar op een ander schaalniveau (bijvoorbeeld voor de hele Westerschelde). Dit kan bij de bovenstaande modellen een probleem zijn, omdat veel informatie rondom bodemdieren is verzameld op lokale schaal, terwijl de beleids- en beheersvragen zich op een veel hoger schaalniveau afspelen. Daarom is de invloed van het schaalniveau op de relaties onderzocht. In de Westerschelde is op verschillende ruimtelijke schalen een sterke correlatie van de bodemdieren met de omgevingsvariabelen gevonden. Op grote ruimtelijke schaal is de invloed van zout dominant. De correlatie met stroomsnelheid, diepte en sedimentsamenstelling is zeer consistent over de verschillende schaalniveaus. Geconcludeerd kan worden dat, uitgaande van deze omgevingsfactoren, het schaalniveau niet van invloed is op verklarende modellen over het voorkomen van bodemdieren in de Westerschelde.

Levensgemeenschappen

Naast invloed op de verspreiding van individuen hebben abiotische factoren uiteraard invloed op de variatie in levensgemeenschappen van bodemdieren. 50% van de variatie in bodemdiergemeenschappen in de Westerschelde kan verklaard worden door abiotische factoren en slechts een klein percentage wordt verklaard door de temporele component. Ongeveer 35% in de variatie kon niet verklaard worden. Deze variatie is waarschijnlijk

terug te voeren op variatie in biotische elementen, zoals competitie om voedsel en predator-prooi relaties.

De beoordelingscriteria (zie 1.4) richten zich op clusters van soorten en levensgemeenschappen (verhouding tussen de som van tweekleppigen/schaaldieren en wormen, macrofauna biomassa en soortensamenstelling macrofauna), waardoor de kennis verzameld rondom bodemdierlevensgemeenschappen relevant is voor de beoordelingscriteria.

Is de habitat limiterend?

De beschreven analyses richten zich op het ontwikkelen van kennis over habitats, en niet op andere factoren die de populatie van bodemdieren zouden kunnen limiteren. Uit onderzoek bleek niet eenduidig of er sprake is van habitatlimitering voor bodemdieren in de Westerschelde. Als habitat limiterend is zal de biomassa afnemen met het verlies van gunstig habitat. Als habitat niet de belangrijkste limiterende factor is, dan zal bij verlies van gunstig habitat de aanwezige biomassa zich anders over de ruimte verdelen, maar niet wezenlijk veranderen.

Een alternatieve techniek: quantielregressie

Uit de poging tot ontwikkeling van de biomassamodelen en de validatie van de dichtheidsmodellen bleken bodemdiermodellen niet geschikt om voorspellingen te doen over bodemdieren na een ingreep. Daarom is gekeken naar een alternatieve aanpak voor het modelleren van bodemdieren. Een bodemdier zit op een bepaalde plaats omdat de habitat daar geschikt (genneg) is om te (over)leven; in gebieden met een ongunstig habitat komt de soort niet voor. De habitat vormt als het ware een mal die grenzen stelt aan het voorkomen, en het voorkomen hangt af van de fysiologische tolerantiegrenzen van de soort. De omgevingsvariabelen limiteren dus het voorkomen van de soort. Het potentieel voorkomen van een soort kan beschreven worden aan de hand van limietfuncties. Een techniek hiertoe is de quantielregressie. Het gebruik van beide technieken ('standaard'-

regressie en quantielregressie) naast elkaar kan tot aanvullend inzicht leiden. Zo is een habitatkaart voor kokkels voor de Oosterschelde gemaakt, waarbij gebruik werd gemaakt van beide technieken. De habitatkaarten zijn gemaakt voor de jaren 1985, 1994 en 2001. Analyse van de veranderingen door de jaren heen en vergelijking van de kaarten op basis van beide modelleertechnieken bracht effecten van kokkelvisserij aan het licht, welke door het gebruik van één van beide technieken niet geconstateerd zou zijn geweest.

3.1.3 Toegenomen kennis

De kans op voorkomen, dichtheid en biomassa van bodemdieren hangt op consistente wijze af van de omgevingsfactoren. Ruimtelijke variatie in fysische factoren bepaalt voor ongeveer de helft de kans op voorkomen van een bodemdiersoort. Onduidelijk blijft of habitat voor bodemdieren in de Westerschelde limiterend is.

Met de ontwikkelde modellen kan de kans op voorkomen en de dichtheid gesimuleerd worden. Voor doorvertaling naar hogere trofische niveaus is juist de biomassa relevant, maar het bleek niet mogelijk met de hier toegepaste techniek een dergelijk model te maken. Alleen voor kokkels is het wel gelukt, maar dit model is niet extrapolbaar naar andere gebieden of andere tijdsperiodes.

3.1.4 Literatuur

Baptist MJ, 1999. Prediction of macrobenthos abundance and distribution in the Westerschelde using habitat suitability evaluation. Rapport T1542.30. Waterloopkundig Laboratorium/Delft Hydraulics, Delft

Cade BS & Noon BR, 2003. A gentle introduction to quantile regression for ecologists. *Front. Ecol. Environ.* 1 (8): 412-420.

Geurts van Kessel AJM, Kater BJ en Prins TC, 2003. Veranderende draagkracht van de Oosterschelde voor kokkels. Rapport RIKZ/2003.043 RIVO C062/03. Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg; Nederlands Instituut voor Visserij Onderzoek (RIVO), Yerseke

Gotjé W & de la Haye M, 2004. Macrozoöbenthos in de Westerschelde. Een historisch overzicht (1965-2002). Rapport 2422. AquaSense, Amsterdam.

Kater BJ & Baars JMDD, 2002. De invloed van de Oosterscheldewerken op de relatie tussen abiotische factoren en biomassa van kokkels. RIVO rapport C055/02. Nederlands Instituut voor Visserij Onderzoek (RIVO), Yerseke.

Kater BJ, 2003. Ecologisch profiel van de Japanse oester. RIVO rapport C032/03. Nederlands Instituut voor Visserij Onderzoek (RIVO), Yerseke.

Kater BJ, Brinkman AG, Baars JMDD & Aarts G, 2003. Kokkelhabitatkaarten voor Oosterschelde en Waddenzee. RIVO rapport C060/03. Nederlands Instituut voor Visserij Onderzoek (RIVO), Yerseke en Alterra Texel.

Steenbergen J, Baars JMDD & Bult TP, 2004. Habitatmodellen voor kokkels in de Westerschelde. Rapport C055/04. Nederlands Instituut voor Visserij Onderzoek (RIVO), Yerseke.

Trush SF, Laurie SM, Hewitt J & Cummings V, 1999. The problem of scale: uncertainties and implications for soft-bottom marine communities and the assessment of human impacts. In: Gray JS, Ambrose Jr W & Szaniawska A. Biogeochemical Cycling and Sediment Ecology. NATO Asi series. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, Boston, London.

Ysebaert T & Meire P, 1991. Het macrozoöbenthos van de Westerschelde en de Beneden Zeeschelde. Rapport WWE 12, Rapport IN A92.085. Rijksuniversiteit Gent, Laboratorium voor Ecologie der Dieren en Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap Instituut voor Natuurbehoud.

Ysebaert T, Meire P, Herman PMJ & Verbeek H, 2002. Macrobenthic species response surfaces along estuarine gradients: predictions by logistic regression. Marine Ecology Progress Series 225 : 79-95.

Ysebaert T & Herman PMJ, 2002. Beschrijven, modelleren en voorspellen van bodemdieren in een estuariene omgeving. NIOO-CEME rapport 2002-6. KNAW-NIOO, Centrum voor Estuariene en Mariene Ecologie, Yerseke.



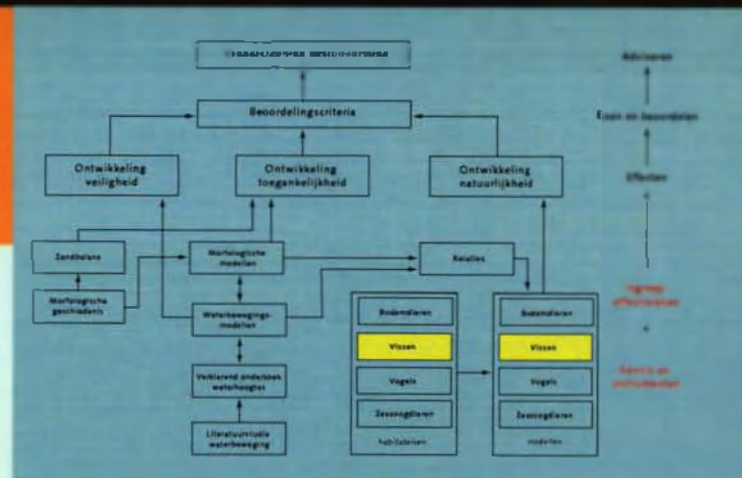
Steenboten © Hans Leijnse/Foto Natura

3.2 Vissen

Deze paragraaf besteedt aandacht aan de mogelijkheid om veranderingen in de morfodynamica als gevolg van menselijke ingrepen te vertalen naar bestaansmogelijkheden voor vissen. Daarbij gaat de voorkeur uit naar gekwantificeerde verbanden tussen morfodynamische parameters en bijvoorbeeld de dichtheden van soorten. Sinds 1970 wordt jaarlijks de omvang van visbestanden in kinderkamergebieden bepaald, ook in de Westerschelde. Gekeken is of met behulp van deze waarnemingen verbanden tussen bodemligging, sedimentsamenstelling of stroomsnelheid en vissen kunnen worden gevonden. De volgende beoordelingscriteria zijn gerelateerd aan het onderwerp vissen: diadrome soorten vissen, estuarien residente vissoorten en mariene juveniele vissoorten.

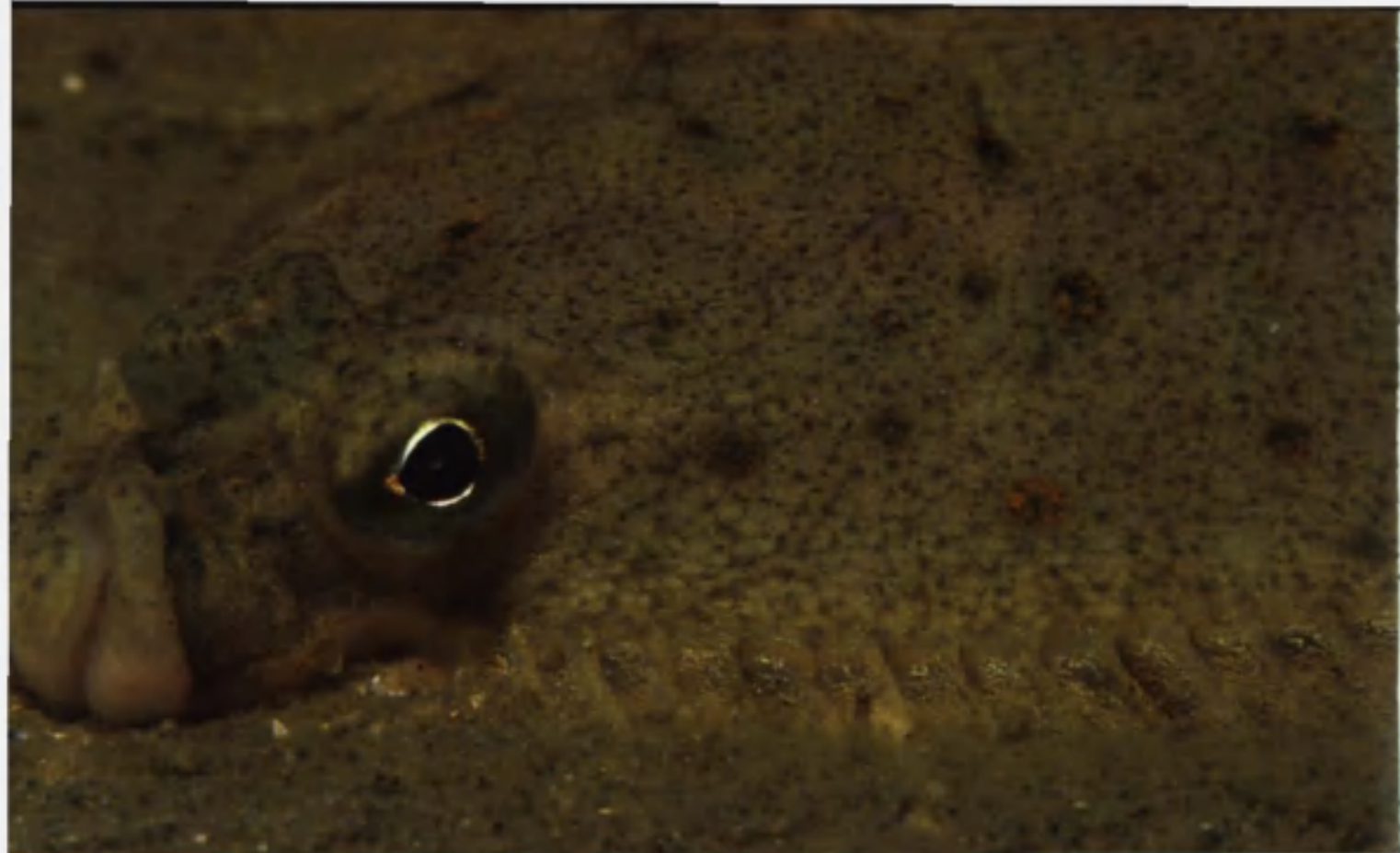
3.2.1 De kinderkamerfunctie van de Westerschelde

Voor een aantal commercieel belangrijke vissoorten vormen de Nederlandse kustwateren een essentieel leefgebied tijdens de eerste levensfase. Vanuit de paaigebieden in de Noordzee spoelen de larven naar



ondiepe gebieden langs de kust, waar de jonge dieren opgroeien tot ze weer naar zee trekken om zelf voor nakomelingen te zorgen. Met een jarenlange monitoring als basis kon het belang van Waddenzee, estuaria en de kustzone als 'kinderkamer' aangetoond worden. De cijfers van de monitoring spelen vooral een rol bij het zo vroeg mogelijk vaststellen van de sterkte van jaarklassen van soorten als Schol en Tong om op grond van die informatie het visserijbeleid te kunnen bepalen.

In totaal worden van ongeveer 50 soorten juveniele vissen aangetroffen in de Westerschelde. Daarbij is gebleken dat de Westerschelde van belang is als kinderkamer voor de soorten Tong, Harnasmanne-tje, Zeedonderpad, Bot, Zeebaars, Horsmakreel en Pollak. De dichtheid van jonge Tong is in het voor-



Schol © Hans Leijnse/Foto Natura

jaar bijvoorbeeld nergens zo hoog als in de Westerschelde. Van alle gevangen Harnasmannetjes bevond zich een vijfde in de Westerschelde. Voor de pelagische soorten Haring en Sprot levert het monitoringsprogramma alleen aanwijzingen op dat de Westerschelde ook daarvoor een belangrijk opgroei gebied vormt. De waargenomen aantallen van deze soorten zijn echter niet representatief omdat een monitoringsmethode van de bodemvisserij is gebruikt.

Toch zijn dit niet allemaal 'echte' kinderkamersoorten. Een kinderkamer is het opgroei gebied van jonge vis waarin deze ruimtelijk of temporeel van de ouderpopulatie gescheiden is. Strikt genomen zijn er maar vier soorten in de Westerschelde aangetroffen die paaien in de Noordzee, opgroeien in de estuaria en kustgebieden en als adulte vis weer in de Noordzee voorkomen. Alleen Schol, Tong, Griet en Steenbolk zijn obligaat aangewezen op estuaria als kinderkamer en een aanzienlijk deel van deze juvenielen groeit op in de Westerschelde. Uit analyse van de Demersal Fish Survey (DFS) data blijkt verder dat de Westerschelde voor de meeste soorten geen doorslaggevende rol speelt in de bepaling van de omvang van de Noordzeepopulaties van hun soort. Dit is gemakkelijk te verklaren door de relatief geringe omvang van dit gebied

vergeleken met de andere potentiële kinderkamer gebieden in de Nederlandse kustzone.

3.2.2 De kinderkamer en habitateisen

In welke mate bepaalt de inrichting van de kinderkamer in de Westerschelde hoeveel jonge dieren er opgroeien die vervolgens bijdragen aan de volwassen populatie op zee? Deze vraag blijkt, uitgaande van de bestaande waarnemingen, niet te beantwoorden. Met de DFS data is geen goede relatie tussen abundantie en habitatkarakteristieken te leggen. Het blijft nog onduidelijk hoe de kinderkamerfunctie van een gebied voor juveniele vis (van een bepaalde soort) samenhangt met morfologie en structuur van een estuarium. Heeft de vis alleen ondiep water nodig, of is ook enige mate van beschutting van belang? Wat is het effect van versteking van plaatranden en van vertroebeling van de waterkolom?

Bekend is dat de natuurlijke verschillen in visvoorkomen van jaar tot jaar groot zijn. Dat heeft gevolgen voor de mogelijkheid om effecten, ontstaan door natuurlijke verschillen, te onderscheiden van effecten van menselijke ingrepen. Met de huidige manier van monitoren moet een effect van menselijk ingrijpen ten minste een verandering van 25%

geven, om te kunnen worden onderscheiden van de natuurlijke verschillen in visvoorkomen.

3.2.3 Volwassen vissen en habitateisen

Kwantitatieve relaties tussen het voorkomen van vissen en abiotische factoren zijn beschreven voor elf vissoorten. Er is verband gelegd met watertemperatuur, zuurstofgehalte, zoutgehalte en doorzicht. De gebruikte gegevens hebben alleen betrekking op de situatie in de geul. Verschillen in visvoorkomen (b.v. Haring, Sprot) per seizoen blijken vooral samen te hangen met de watertemperatuur. Het zoutgehalte en doorzicht verklaren de verschillen langs de lengte-as van het estuarium (oost-west-gradiënten). Onder invloed van de seizoenswisselingen (zonneshijn, rivierafvoer) en het getij zal het favoriete leefgebied van de beschreven soorten zich meer stroomopwaarts of stroomafwaarts bevinden. Voor zeven van de elf soorten wordt verondersteld dat hun verspreiding in werkelijkheid vooral bepaald wordt door de beschikbaarheid van voedselbronnen, de draagkracht van het systeem voor vissen. Het gaat dan om Steenbolk, Wijting, Kleine Zeenaald, Tong, Haring, Schol en Lozano's Grondel. De meetwaarden van watertemperatuur, zuurstofgehalte, zoutgehalte en doorzicht vallen voor die soorten namelijk ruim binnen de tolerantiegrenzen.

3.2.4 Toegenomen kennis

Voor een groot aantal soorten vissen is de Westerschelde een belangrijk gebied. Er zijn vier soorten die in hoge mate gebruik maken van kustgebonden kinderkamers en waarvan een aanzienlijk deel in de Westerschelde voorkomt. Het onderzoek heeft laten zien dat er niet voldoende informatie over het voorkomen van juveniele vissen in de Westerschelde bestaat om gekwantificeerde relaties tussen voorkomen van juveniele vis en habitat op te stellen. Het bleek alleen in globale zin mogelijk de gevolgen van veranderingen in abiotische ken-

merken voor de kinderkamerfunctie in te schatten. De relatie tussen het voorkomen van volwassen vissen en abiotische factoren zijn wel kwantitatief uitgewerkt. De biologische invloeden als voedselbeschikbaarheid op de vispopulaties worden echter meer direct bepalend geacht voor het voorkomen.

3.2.5 Literatuur

Cattrijsse A & H Hampel, 2000. Life history and habitat use tables. Final report. Subproject 1 - 'Nursery Function Westerschelde. University Gent, Gent.

Daan N, 2000. Deskstudie draagkracht Westerschelde voor jonge vis. Rapport C039/00. Nederlands Instituut voor Visserij Onderzoek (RIVO), IJmuiden.

Elliot M & Hemingway KL, 2002 (Eds.) Fishes in Estuaries. Blackwell Sciences, Oxford.

Hashemi S & Maes J, 2005. Herring and sprat migration predictive model in The Scheldt Estuary. Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry 4(4).

Hostens K, 2003. The demersal fish and macro-invertebrate assemblages of the Westerschelde and Oosterschelde estuaries (southern bight of the North Sea). Thesis Universiteit van Gent.

Welleman HC, Brocken F & de Boois I, 2000. Vergelijking dichtheden, groei en mortaliteit Westerschelde-Noordzee. Eindrapportage. Deelproject 2 uit studie 'Kinderkamerfunctie Westerschelde'. Rapport C008/00. RIVO Nederlands Instituut voor Visserij Onderzoek, IJmuiden.

Welleman HC & Dekker W, 2001. Variatie in visvangsten in de Westerschelde en overige kustwateren tijdens de Demersal Fish Surveys. Rapport C007/01. Nederlands Instituut voor Visserij Onderzoek (RIVO), IJmuiden.

Intermezzo

Historische beschrijving van de ontwikkelingen van vogelaantallen

De oudste, enigszins kwantitatieve beschrijving van het voorkomen van watervogels in de Westerschelde stamt uit 1897. Quinet beschreef de jacht op watervogels langs de Beneden-Schelde, en vermeldde daarbij ook informatie over het voorkomen van soorten in de Westerschelde. Veel gegevens zijn afkomstig van enkele Vlaamse waarnemers, Jean Maebe en Henry Van der Vloet, die sinds 1948 (tot heden) in het Verdrongen Land van Saeftinghe zeer systematisch waarnemingen verrichten en vastleggen. Na een enkele bijna volledige telling in de jaren '60, bestaat sinds 1972 een steeds regelmatig uitgevoerde reeks van watervogeltellingen in de Westerschelde. Sinds 1989 worden maandelijks op de hoogwatervluchtplaatsen tijdens hoogwater volledige tellingen uitgevoerd als onderdeel van het biologisch monitoringsprogramma van de zoute rijkswateren.



Rosse Grutto's © Pim Wolf

In de loop van de 20^e eeuw hebben zich in het landschap van de Westerschelde grote veranderingen voorgedaan. Naast belangrijke morfodynamische ontwikkelingen waren ook de sterk gestimuleerde opslibbing en schorvorming na de aanplant van Engels slijkgras (vanaf 1924) en industrialisatie langs de oevers belangrijke veranderingen. Bovendien nam de waterkwaliteit af door afval- en rioolwaterlozingen. Op grond van deze veranderingen zou men ook een grote verandering in de vogelbevolking van het estuarium verwachten. Bij een vergelijking van de 'historische' vogelbevolking van de Westerschelde met de huidige, blijkt dit echter maar ten dele het geval:

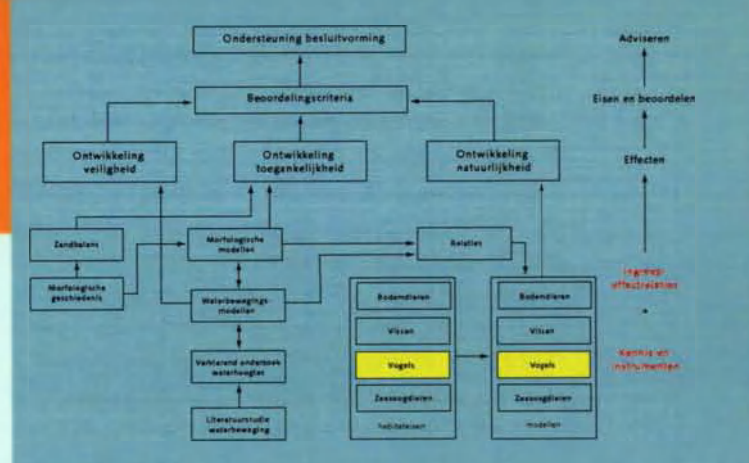
- Zwemmende en duikende viseters (Fuut, Aalscholver, Middelste Zaagbek) lijken nooit talrijk te zijn geweest in de Westerschelde. Diverse beschrijvingen suggereren echter dat deze soorten in het begin van de 20^e eeuw toch wat talrijker voorkwamen dan tegenwoordig, met name in het oostelijk deel.
- Herbivore eenden en ganzen zijn in het oostelijk deel van de Westerschelde de laatste decennia sterk in aantal toegenomen. Dit is niet alleen veroorzaakt door lokale veranderingen in habitat als veroudering van schorren en begrazing, maar ook door een sterke groei van de Noordwest-Europese populatie, door het verdwijnen van overwinteringsgebieden elders en het stopzetten van de jacht.
- Het feit dat de oostelijke Westerschelde hoofdzakelijk een functie vervult als *doortrekgebied* voor steltlopers blijkt geen recent fenomeen en kan niet direct worden toegeschreven aan veranderingen in het gebied. Al eind 19^e eeuw en gedurende de gehele 20^e eeuw wordt geregeld gesproken van grote aantallen *doortrekkende* steltlopers (o.a. Bonte Strandloper, Rosse Grutto, Zilverplevier) en slechts geringe aantallen overwinteraars.
- Eén van de meest opmerkelijke ontwikkelingen is dat vroeger regelmatig grote aantallen (vele duizenden) duikeenden voorkwamen in de Westerschelde, vooral in het westelijk deel, terwijl deze vogels er tegenwoordig nauwelijks meer voorkomen. Het gaat hier o.a. om Toppereend, Zwarte Zee-eend en Brilduiker. Deze vogels duiken naar schelpdieren op de bodem. Het is niet duidelijk waardoor deze soorten zo sterk in aantal zijn afgenomen, maar een veranderd voedselaanbod is waarschijnlijk.



Zilverplevier © Pim Wolf

3.3 Vogels

Als reactie op de achteruitgang van een groot aantal vogelsoorten zijn in de Europese Vogelrichtlijn beschermingsverplichtingen voor de EU-lidstaten vastgelegd. De afname van een vogelpopulatie is vaak het eerste teken dat een leefgebied of ecosysteem in belangrijke mate is aangetast. Daarom kan informatie over de vogelstand een belangrijke rol spelen bij het signaleren van positieve en negatieve ontwikkelingen. Om de mogelijke effecten van voorgenomen maatregelen of ingrepen op de vogelstand te kunnen voorzien, is meer nodig. Dan moet ook de samenhang tussen die vogelstand en de kenmerken van leefgebieden bekend zijn. Deze paragraaf schetst eerst een beeld van het voorkomen van vogels in het verleden en daarna van het in ZEEKENNIS verrichte onderzoek naar de relatie tussen vogels en hun habitats. Deze kennis draagt bij aan beoordelingscriteria (zie 1.4) van steltlopers en de Bergeend.



3.3.1 Bestaande relaties tussen vogels en abiotiek

De Westerschelde is voor verschillende vogelsoorten aangewezen als Vogelrichtlijngebied. Diverse vogelsoorten overwinteren in dit gebied, terwijl anderen het gebied gebruiken om 'op te vetten' tijdens hun trek tussen overwinteringsgebied en broedgebied. Daarnaast zijn er vogels die het gebied gebruiken om te ruïen. Steltlopers en de Bergeend zijn voor hun voedselvoorziening afhankelijk van de bodemdieren die bij laagwater te vinden zijn op slikken en platen. Bij hoogwater verlaten ze deze foerageergebieden en verzamelen zich op hoogwatervluchtplaatsen die



Telvak Hooge Platen © Rijkswaterstaat

droog blijven, of wachten zwemmend (Bergeend) het volgende laagwater af. Aan deze soorten is aandacht besteed omdat veranderingen in de morfodynamica van de Westerschelde van invloed zijn op de omvang, verspreiding en kwaliteit van hun foerageergebieden en daarmee op de aantallen vogels die van de Westerschelde gebruik kunnen maken.

Dankzij de maandelijkse tellingen op de hoogwatervluchtplaatsen (vanaf 1989) is de bestandsontwikkeling van de steltlopers en Bergeend in de Westerschelde goed bekend, zowel in de loop van het jaar als in de loop van de tijd (langjarige trends). Maar het was slechts globaal bekend welke foerageergebieden benut worden door de vogels die waargenomen zijn op de verschillende hoogwatervluchtplaatsen. Nog minder kennis was aanwezig over de invloed van veranderingen in die foerageergebieden op de vogelaantallen. Naar deze invloed is onderzoek gedaan. Uitgangspunt was dat factoren als de bodemligging, waterbeweging en sedimentsamenstelling zowel direct als indirect de kwaliteit van een foerageergebied bepalen. Ze bepalen tot op zekere hoogte hoeveel en welk voedsel (bodemdieren) er in een gebied aanwezig is, hoe bereikbaar dat voedsel is (droogvalduur) en bijvoorbeeld het gemak waarmee de in de bodem levende prooien bemachtigd kunnen worden. Veel maatregelen en ingrepen werken via

deze habitatfactoren door op het voedselaanbod voor de vogels. Daarom wordt in de eerste plaats aandacht besteed aan de directe relatie tussen het voorkomen van steltlopers en bergeenden en de abiotische omstandigheden. Als deze aanpak slaagt, is het mogelijk voorspellingen te doen over de verspreiding van vogels na het uitvoeren van een ingreep, zonder daarbij het voedsel van de vogels te hoeven voorspellen.

Een literatuuronderzoek bracht aan het licht, dat er nauwelijks studies bestaan die het verband tussen het voorkomen van vogels, de droogtij en sedimentsamenstelling op een bruikbare manier beschrijven. Slechts één studie, verricht in de Nederlandse Waddenzee, bevat wél dit soort noodzakelijke gegevens. Die gegevens zijn, naast enkele andere, gebruikt voor een statistische analyse die wiskundige vergelijkingen opleverde van de relatie tussen vogeldichtheden, droogvalduur en sedimentsamenstelling, waaruit vogelvoorkomen in de gehele Waddenzee geschat kon worden. Die schattingen kwamen goed overeen met de aantallen die geteld werden op hoogwatervluchtplaatsen. Om te achterhalen of die wiskundige vergelijkingen ook geldig zijn in de Westerschelde werden aan de hand van de Waddenzeemodellen ook van dat gebied kaarten met vogeldichtheden gemaakt. Het resultaat verschilde echter zo sterk van wat bekend is over de (globale) verspreidingen



Telvakken Rug van Baarland © Fred Twisk

aantallen van de verschillende soorten, dat een nieuw onderzoek in de Westerschelde zelf noodzakelijk werd geacht.

3.3.2 Veldonderzoek

In de Westerschelde zijn gegevens verzameld over het vogelvoorkomen in verschillende delen van het intergetijdengebied. De methode bestond uit het, gedurende de gehele laagwaterperiode, tellen van het aantal voedsel zoekende vogels in vakken die daarvoor speciaal op slikken en platen waren uitgezet. De vakken werden zo verspreid over het gebied, dat ze gezamenlijk een representatieve steekproef van de meest voorkomende omstandigheden vormden. Per vak zijn abiotische kenmerken bepaald (b.v. droogvalduur), die een samenhang met het aantal foerageerminuten van de vogels zouden kunnen laten zien. In de periode september 2003 tot en met september 2004 werd zeven maal geteld in aanvankelijk 63 en later 71 verschillende vakken, gegroepeerd in vier locaties die verspreid lagen over het zoute deel van de Westerschelde. De brakke zone is niet in het onderzoek meegenomen, omdat bekend was dat dan ook rekening zou moeten worden gehouden met verschillen in zoutgehalte tussen gebieden. In dat geval zou de onderzoeksopzet uitgebreider moeten zijn en dat zou hogere kosten met zich meebrengen.

3.3.3 Statistische modellen

Uit de gegevens van het veldonderzoek werd door statistische analyse het verband tussen het aantal foerageerminuten en de eigenschappen van de telvakken afgeleid. De aantallen vogels in de Westerschelde veranderen echter door het jaar heen door verplaatsingen tussen broed- en overwinteringsgebieden. Omdat een gebied daarbij van seizoen tot seizoen door andere populaties van dezelfde soort kan worden bezocht, hanteert de Vogelrichtlijn voor sommige soorten aantalsnormen per geografische deelpopulatie. In de analyse werd om die reden ook een zogeheten 'maandeffect' ingecalculeerd. Omdat er geen estuariumbrede gegevens van sediment-samenstelling voorhanden waren, is stroomsnelheid als 'tracer' hiervoor gebruikt. De analyses lieten een verband zien tussen foerageerminuten en stroomsnelheid, droogvalduur en zoutgehalte. Het onderzoek is zo opgezet dat geen directe invloed van het zoutgehalte werd verwacht. Dat de factor zout een rol speelde in het verband is een verrassend resultaat. Mogelijk is sprake van een indirecte relatie, bijvoorbeeld als gevolg van variatie in het voorkomen van prooidieren die door het zoutgehalte wordt veroorzaakt.

Of een gebied aantrekkelijk is voor wadvogels hangt grotendeels af van de mate waarin zij er voedsel kunnen verzamelen. In de uitgevoerde studie werd verondersteld dat door het modelleren van de relatie

tussen abiotiek en vogels inherent de relatie tussen voedsel en abiotiek ook gemodelleerd werd. Door één keer de aanwezigheid van de prooien in de vakken te meten, was het mogelijk vast te stellen dat het voorkomen van de Scholekster in belangrijke mate samenhangt met het voorkomen van zijn voornaamste voedselbron (kookkels). Bij de overige soorten werd zo'n verband niet of nauwelijks vastgesteld.

Als eerste kwaliteitstoets werd uitgerekend hoe goed de gevonden relaties de hoeveelheid tijd die voedselzoekend in de vakken werd doorgebracht simuleren. Voor de meeste soorten was het resultaat goed. Voor de Kluut, die nauwelijks in de vakken gezien werd, was het echter niet mogelijk het verband tussen het aantal foerageerminuten en droogvalduur, stroomsnelheid en zoutgehalte te bepalen.

Vervolgens werd onderzocht of ook het aantal foerageerminuten buiten de vakken en in de gehele westelijke (= zoute) Westerschelde konden worden beschreven. Om dat te kunnen doen werden extra tellingen uitgevoerd in gebieden op andere locaties in het onderzochte intergetijdengebied. De modellen bleken niet in staat de getelde foerageerminuten te reproduceren.

Tevens werd, na omrekening van het aantal foerageerminuten in aantallen vogels, een vergelijking gemaakt met de resultaten van de hoogwatertellingen. Hierbij werd een gebied bestudeerd met dezelfde abiotische kenmerken als de 71 telvakken (validatie 1). Ook werd, uitgaande van de veronderstelling dat de 71 telvakken de meest voorkomende habitats vertegenwoordigen, de gehele zoute Westerschelde (dus ook het gebied met andere abiotische kenmerken) bestudeerd (validatie 2).

De resultaten laten zien dat validatie binnen de abiotische grenzen van het model voor de meeste soorten een onderschatting geeft van het aantal vogels dat in het gebied kan foerageren. Als naar het totale gebied wordt gekeken levert het over het algemeen een overschatting op.

Soort	geteld	Validatie 1	Validatie 2
Bonte Strandloper	23000	---	+
Scholekster	8162	-	++
Wulp	3866	-	+++
Zilverplevier	2478	--	+/-
Bergeend	2297	+/-	+++
Bontbekplevier	1340	-	+++
Tureluur	844	---	+++
Rosse Grutto	729	+/-	++

- : onderschatting van meer dan een factor 10
- : onderschatting van meer dan een factor 5
- : onderschatting van meer dan een factor 2
- +/-: tussen 2 maal onderschatting en overschatting
- +: overschatting van meer dan een factor 2
- ++: overschatting van meer dan een factor 5
- +++: overschatting van meer dan een factor 10

Uit validatie blijkt dat de modellen niet extrapol eerbaar zijn naar grotere of andere gebieden. Hieraan kunnen verschillende oorzaken ten grondslag liggen. Mogelijk is het aantal van zeven tellingen gedurende het jaar te gering om relaties vast te kunnen stellen. Wanneer, zoals in dit onderzoek, sprake is van een relatief gering aantal herhalingen van tellingen in dezelfde omstandigheden, is de invloed van uitschieters op de resultaten waarschijnlijk groot. Ook is het mogelijk dat een parameter die voor de verspreiding van vogels essentieel is, niet in het onderzoek is meegenomen. Ten slotte kan het niet werken van de modellen (ze zijn immers niet bruikbaar in het hele gebied) ook nog worden veroorzaakt door het type modellering dat is gekozen. Mogelijk laat de verspreiding van vogels zich niet vangen in een statistisch model.

3.3.4 Procesgeoriënteerde modellen

Het alternatief op de statistische methode die hierboven is genoemd zijn procesgeoriënteerde modellen. Bij dit type modellering wordt het proces dat plaatsvindt beschreven. Voordeel van deze modellen is dat ze, wanneer de juiste processen zijn opgenomen, generiek toepasbaar zijn. Ook zijn



Scholekster © Pim Wolf

deze modellen goed valideerbaar met veldgegevens. Voor de ontwikkeling van procesgeoriënteerde modellen is veel ecologische kennis nodig. Dit zal een knelpunt zijn wanneer er niet voldoende kennis voorhanden is. De ontwikkeling van dit type modellen is vaak tijdrovend en brengt dan hoge kosten met zich mee.

Voor de Scholekster is in het kader van de evaluatie schelpdiervisserij (EVAII) het procesgeoriënteerd model WEBTICS ontwikkeld en toegepast in de Oosterschelde en Waddenzee. Aan de hand van gegevens over het beschikbare voedsel, het getij, hoogteligging, droogvalduur en het weer wordt uitgerekend hoeveel Scholeksters in een gebied kunnen leven (draagkracht). Het model is aangepast voor de Westerschelde en er zijn draagkrachtberekeningen uitgevoerd. De conclusie van de berekeningen is dat WEBTICS een juiste simulatie geeft van de ontwikkeling van Scholeksters in (deelgebieden van) de Westerschelde, maar dat er nog wel verbeteringen mogelijk zijn. Met een dergelijk model is het mogelijk, uitgaande van een bepaald Kokkelvoorkomen, om effecten van veranderingen in bijvoorbeeld hoogte of droogvalduur op de draagkracht van het systeem voor de Scholeksterpopulatie te berekenen.

3.3.5 Toegenomen kennis

Voor bijna alle onderzochte vogelsoorten geldt dat droogvalduur, stroomsnelheid en saliniteit een significante invloed hebben op de verdeling van vogels over het intergetijdengebied. Veranderingen hierin, bijvoorbeeld als gevolg van een ingreep, hebben dus hoogstwaarschijnlijk ook effect op de vogels. De ontwikkelde statistische modellen konden de data simuleren, maar bij de validatie waren de meeste modellen niet in staat om de waargenomen aantallen buiten de onderzoeksvakken te reproduceren. Dit laat zien dat de modellen niet goed genoeg zijn om in de hele Westerschelde te gebruiken of om voorspellingen te doen. Er zijn tijdens de studie wél veel data verzameld die gebruikt kunnen worden voor de ontwikkeling van andere modellen en er is veel kennis vergaard over de relatie tussen vogels en abiotische omstandigheden. Een procesgeoriënteerd model voor de Scholekster bleek in staat de aantallen in de Westerschelde wel te kunnen simuleren.

3.3.6 Literatuur

Arts FA & Meininger PL, 1995. Watervogels in de Westerschelde 1900-1990: een reconstructie. Rapport RIKZ - 95.002. Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.

Blomert AM, 2002. De samenhang tussen bodemgesteldheid, droogligtijd en foerageerdichtheid van vogels binnen de intergetijdenzone. A&W-rapport 330. Altenburg & Wymenga Ecologisch Onderzoek, Veenwouden.

Brinkman & Ens BJ, 1998. Integrale bodemdaling-Studie Waddenzee: Vogels. Rapport 371. IBN Den Burg.

Brinkman AG, Meesters E, Dijkman EM, Brenninkmeijer A, Kersten M & Ens BJ, 2005. Habitatgebruik van foeragerende wadvogels in de Westerschelde: datarapport RKZ-1267. Alterra, Den Burg.

Ens BJ, Brinkman AG, Dijkman EM, Meesters HGW, Kersten M, Brenninkmeijer A & Twisk F, 2005. Modelling the distribution of waders in the Westerschelde. Rapport 1193. Alterra, Den Burg.

Geene R & Groenewold S, 2004. Vogeltellingen in de Westerschelde. Meetverslag. Rapport 2009. AquaSense, Colijnsplaat.

Goss-Gustard J, 1985. Foraging behaviour of wading birds and the carrying capacity of estuaries. In: RM Sibley & RH Smiths (eds.). Behavioural ecology - ecological consequences of adaptive behaviour. Blackwell Scientific Publications, Oxford.

Quinet A, 1897. Les oiseaux du Bas-Escaut. Leur chasse en bateaux. Société Belge de Librairie, Bruxelles.

Rappoldt C, Ens BJ, Kersten M & Dijkman EM, 2003. Wader Energy Balance & Tidal Cycle Simulator WEBTICS, technical documentation version 1.0. Rapport voor deelproject B1 en D2 thema 1 van EVA II, de tweede fase van het evaluatieon-

derzoek naar de effecten van schelpdiervisserij op natuurwaarden in de Waddenzee en Oosterschelde 1999-2003. Rapport 869. Alterra, Wageningen.

Rappoldt C, Ens BJ, Berrevoets C, Geurts van Kessel AJM & Dijkman EM, 2003. Scholeksters en hun voedsel in de Oosterschelde. Rapport voor deelproject D2 thema 1 van EVA II, de tweede fase van het evaluatieonderzoek naar de effecten van schelpdiervisserij op natuurwaarden in de Waddenzee en Oosterschelde 1999-2003. Rapport 883. Alterra, Wageningen.

Rappoldt C, Ens BJ, Bult TP & Dijkman EM, 2003. Scholeksters en hun voedsel in de Waddenzee: rapport voor deelproject B1 van EVA II, de tweede fase van het evaluatieonderzoek naar de effecten van schelpdiervisserij op natuurwaarden in de Waddenzee en Oosterschelde 1999-2003. Rapport 882. Alterra, Wageningen.

Rappoldt C & Ens BJ, 2005. Scholeksters en hun voedsel in de Westerschelde. Rapport 1209. Alterra, Wageningen.



Gewone Zeehond © Martijn de Jonge

3.4 Zeezoogdieren

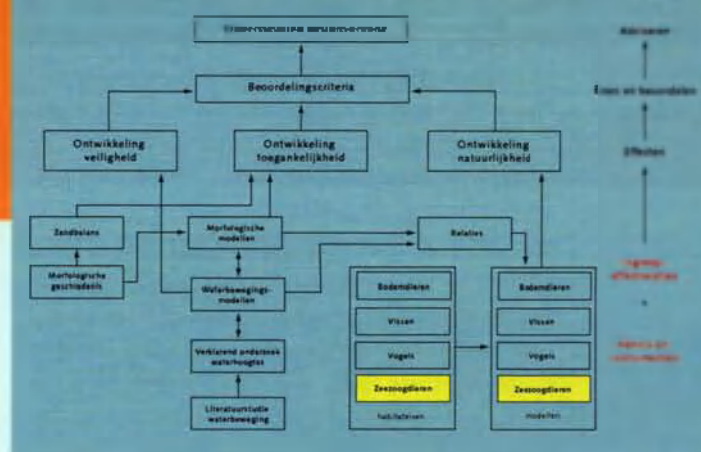
Er zijn in de loop der tijd twintig soorten zeezoogdieren in de Westerschelde aangetroffen, maar de meeste van deze soorten zijn 'dwaalgasten' of hun voorkomen in de Westerschelde werd slechts bekend omdat ze aanspoelden. Alleen de Gewone Zeehond en de Bruinvis zijn zeezoogdieren die in het verleden en tegenwoordig (weer) regelmatig in de Westerschelde worden waargenomen. Deze subparagraaf over zeezoogdieren spitst zich daarom toe op deze beide soorten.

De gepresenteerde kennis draagt bij aan de beoordelingscriteria (zie 1.4) voor de Gewone Zeehond.

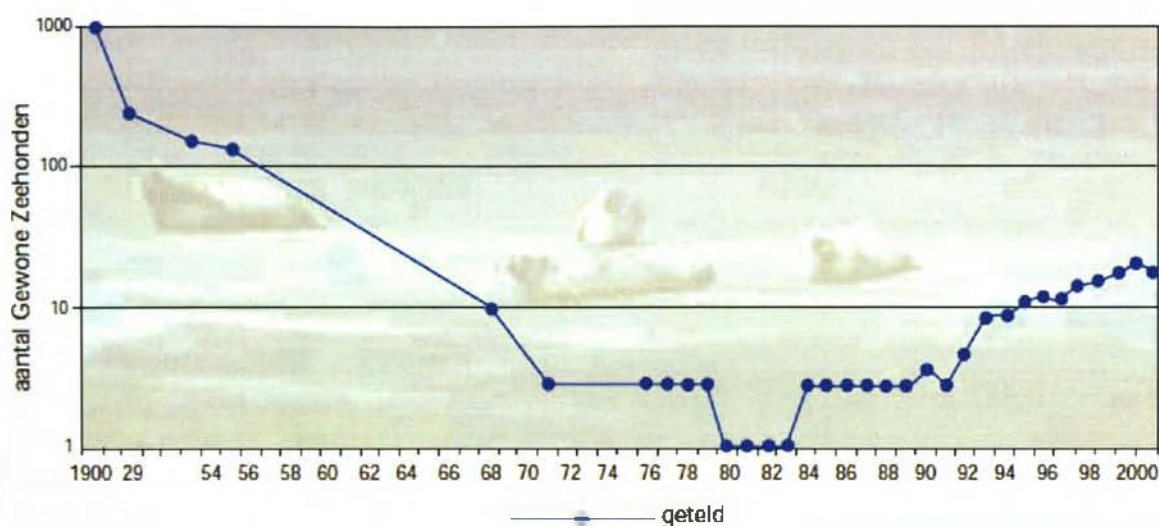
3.4.1 Historische ontwikkelingen van de aantallen zeezoogdieren

Gewone Zeehond

In het verleden kwamen grote aantallen Gewone Zeehonden voor in de Westerschelde, in 1888 bijvoorbeeld gaf de visserijsector ongeveer 1000 exemplaren op. In de periode van 1908 t/m 1913 nam het aantal Gewone Zeehonden in de Wester-



schelde af tot 240 dieren. In die tijd stond er een beloning op het doden van zeehonden omdat men deze dieren als schadelijk voor de visstand zag. Van 1920 tot 1955 kwamen nog enkele honderden zeehonden voor in de Westerschelde. Na 1955 vond weer een sterke afname plaats. Als mogelijke oorzaken worden overbejaging en toenemende verstoring door toeristen genoemd. In 1961 sloot men de jacht op zeehonden, maar ondanks dat daalde in de daaropvolgende jaren het aantal exemplaren. In 1961 werden nog 350 Gewone Zeehonden geteld in het Deltagebied, maar in de jaren '70 was de soort hier vrijwel verdwenen. De afname wordt deels toegeschreven aan een sterke daling van het aantal geboorten, mogelijk veroorzaakt door vervuiling van het water met PCB's. In 1991 werden weer tot drie Gewone Zeehonden per



Figuur 21: Jaarmaximum van de Gewone Zeehond in de Westerschelde

telling waargenomen in de Westerschelde. Vóór de virusuitbraak in de zomer van 2002 nam het aantal toe tot 50 exemplaren. Dat was éénderde van de zomerpopulatie in het Deltagebied en bijna 1% van de Nederlandse populatie van 5500 exemplaren. Tussen 1998 en 2003 zijn door Sea Life België 40 gerevalideerde Gewone Zeehonden (vooral afkomstig van de Belgische kust) uitgezet in de Westerschelde. Hiervan zijn acht dieren dood teruggevonden. Dit uitzetten heeft ongetwijfeld invloed gehad op het huidige aantal in de Westerschelde. Figuur 21 geeft een reconstructie van het aantalsverloop (jaarmaxima) van de Gewone Zeehond in de Westerschelde sinds 1900.

Bruinvis

De Bruinvis, een kleine dolfinachtige, werd door de eeuwen heen langs alle kusten waar zij voorkomen gevangen voor consumptie. Daarnaast gebruikte men in de Middeleeuwen bruinvistraan als brandstof voor lichtbakens. In Nederland werd de Bruinvis waarschijnlijk minder gevangen omdat zij als voedsel minder hoog stond aangeschreven. Door lage traanprijzen werd de geregelde vangst in 1892 gestopt.

Hoewel dikwijls is geschreven dat de Bruinvis 'algemeen' was in de Westerschelde, bestaat daar maar weinig concrete documentatie over. De Bruinvis staat al in 12^e eeuw vermeld op lijsten met voorkomende 'vissoorten' in het Schelde-estuarium. In 1696 meldt Smallegange dat Bruinvissen zeer veel worden gezien in het gebied. Bruinvissen werpen hun jongen in de periode van juni tot en met juli. Rond 1700 werden de dieren ook in deze maanden waargenomen. Het is dan ook aannemelijk dat de

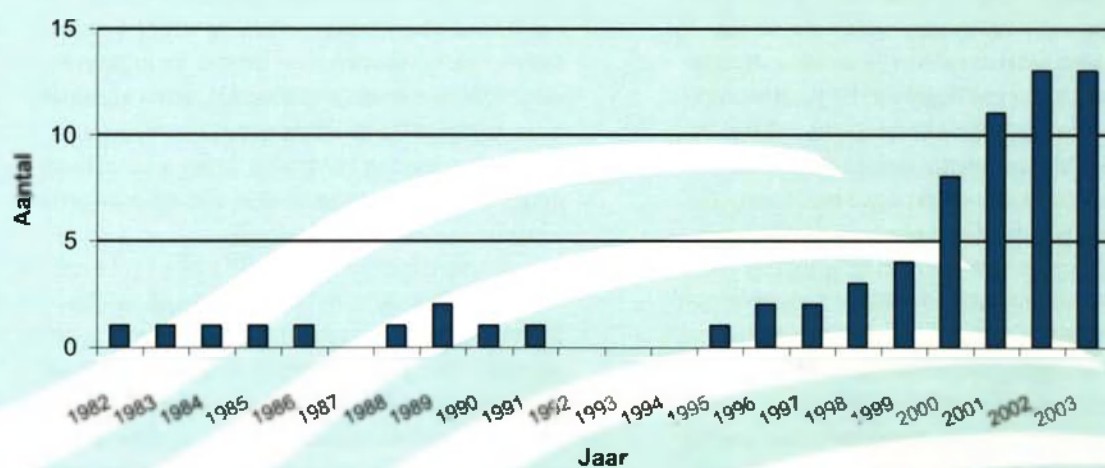
Bruinvis zich in die tijd in de Westerschelde voortplantte. In de 19^e eeuw en het begin van de 20^e eeuw werd de Bruinvis in Nederland zo gewoon gevonden, dat waarnemingen en vondsten veelal niet werden gepubliceerd. Uit visserijverslagen blijkt dat rond 1888 het aantal Bruinvissen in de Westerschelde werd geschat op 500 exemplaren. Het is onduidelijk hoe betrouwbaar deze opgave is, maar het lijkt aannemelijk dat er toen in de Westerschelde enkele honderden Bruinvissen voorkwamen.

In de periode 1910-1930 ging de Bruinvis jaarlijks in aantal achteruit. Deze afname hangt mogelijk samen met het verdwijnen van de Haring. Na 1930 ging het onder invloed van toenemende watervervuiling bergafwaarts met de aantallen Bruinvissen in de Nederlandse kustwateren. De Bruinvis is vanaf het begin van 1950 tot aan het eind van de 20^e eeuw een zeldzame verschijning in de Westerschelde.

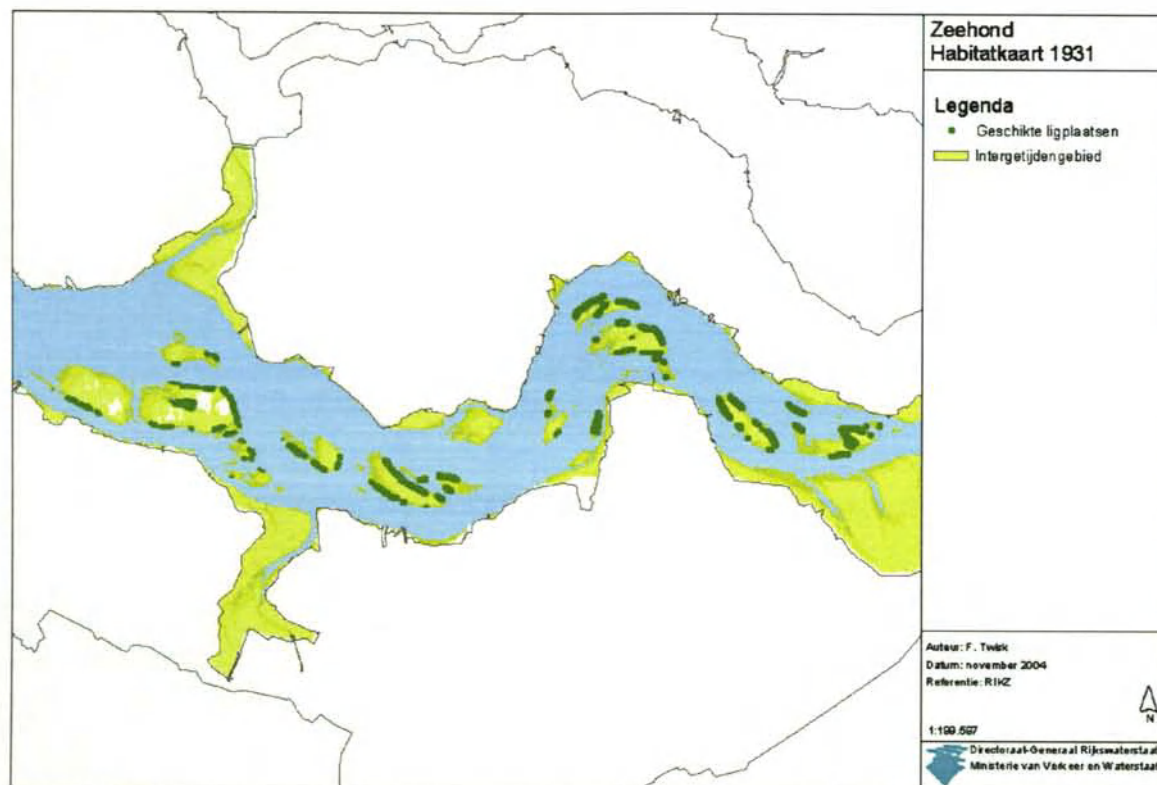
In de Nederlandse sector van de Noordzee is het aantal Bruinvissen de laatste jaren sterk toegenomen. Ook werden weer meer Bruinvissen in het zuidelijk deel van het Nederlands Continentaal Plat waargenomen. Sinds 1980, maar vooral de laatste jaren, is zowel het aantal meldingen van aangespoelde dieren als van levende Bruinvissen sterk toegenomen. Kleine groepjes Bruinvissen worden nu weer met enige regelmaat gezien, vooral in het voorjaar in de Westerscheldemonding. In Figuur 22 is het aantal vanaf 1983 aangespoelde Bruinvissen (inclusief levend aangespoelde) in de Westerschelde weergegeven. Hieruit blijkt dat het aantal vondsten vanaf 2000 duidelijk groter is dan in voorgaande jaren.



Bruinvis © Marlijn de Jonge



Figuur 22: Aantal aangespoelde Bruinvissen per jaar in de Westerschelde (inclusief monding) in 1982-(september) 2003



Figuur 23: Weergave van de geschikte ligplaatsen voor zeehonden voor het jaar 1931

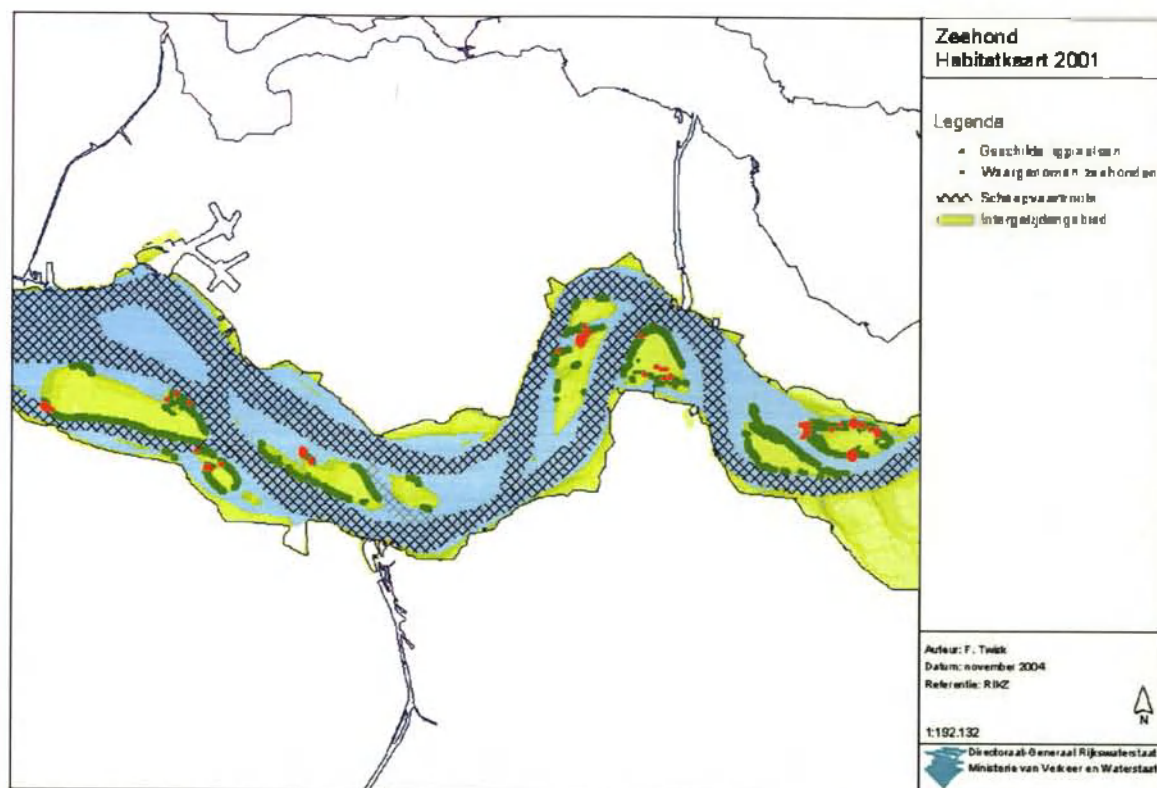
3.4.2 De geschiktheid van het habitat in de Westerschelde

Gewone Zeehonden zijn voor hun voorkomen qua habitat afhankelijk van de aanwezigheid van platen met steile randen die grenzen aan diep water. Het plaatareaal is sinds 1930 toegenomen en de randen zijn op veel plaatsen steiler geworden. Aan de andere kant is de oeverlengte van de plaatranden afgenomen door het verdwijnen van kortsluitgeulen. Gewone Zeehonden zijn tijdens laagwater hoofdzakelijk te vinden op droogvallende zandplaten. Zij gebruiken de platen om jongen te werpen en te zogen, om te rusten en om te verharen. De zeehond bepaalt op basis van aanwezigheid van andere zeehonden, afstand tot het foerageergebied, beschutting tegen extreme weersinvloeden en rust of hij een plaat zal gebruiken als ligplaats. De hoogte van de ligplaats bepaalt de duur van de rustperiode. Sinds de jaren negentig zijn de Platen van Valkenisse veruit favoriet. Hier worden sinds 1994 ook kleine aantallen jongen geboren.

Op basis van kennis over de eisen die Gewone Zeehonden stellen aan hun habitat zijn geschiktheidskaarten gemaakt van de situatie in 1931, vóór

de populatieafname inzette, en van de huidige situatie. Uitgangspunt bij het maken van de kaarten is, dat alleen die platen die permanent omgeven zijn door water gebruikt worden als ligplaats. De plaat moet langer dan drie uur droogliggen (overeenkomend met 24% van een getijcyclus van 12,5 uur) en moet een helling hebben van ten minste 1,5 graden. Hoe dichter de ligplaats bij water van tenminste 1 m diep ligt, hoe geschikter deze is. Figuur 23 geeft de geschikte ligplaatsen voor zeehonden in 1931 weer. Over de exacte ligging van de vaargeulen in 1931 zijn geen gegevens beschikbaar.

In Figuur 24 wordt een kaart van de situatie in 2001 weergegeven. In wit zijn de gebieden aangegeven die op minimaal 200 m van de vaargeul liggen en waar geen noemenswaardige verstoring wordt verwacht door scheepvaart. In de kaart zijn ook de locaties aangegeven waar tijdens tellingen per vliegtuig van november 2002 t/m september 2003 daadwerkelijk Gewone Zeehonden werden aangetroffen. Weergegeven is het maximale aantal dieren dat per locatie werd gezien. De kleinste stip betreft één en de grootste (aan de zuidrand van de Platen van Valkenisse) 17 exemplaren.



Figuur 24: Weergave van de geschikte ligplaatsen voor zeehonden voor het jaar 2001

Duidelijk is dat zeehonden inderdaad werden aangetroffen op locaties die volgens de habitatkaart geschikt zijn. Opvallend is, dat geschikte locaties die direct grenzen aan de hoofdvaargeul nauwelijks worden gebruikt en dat er een voorkeur lijkt te bestaan voor rustige plaatsen langs nevengeulen. Opvallend is ook het concentratiegebied rond de Zimmermangeul op de Platen van Valkenisse. Dit is bovendien vrijwel het enige gebied waar jaarlijks jongen worden geboren. Het is een beschermt en relatief rustig gebied, gelegen langs een nevengeul en ruimschoots buiten de hoofdvaargeul.

Uit vergelijking van beide kaarten blijkt dat het aanbod van geschikte plaatsen zeker niet is afgenomen. Hieruit valt te concluderen dat morfologische veranderingen geen rol hebben gespeeld in de afname van het aantal Gewone Zeehonden in de Westerschelde. Ook het huidige voorkomen wordt niet beperkt door de morfologie.

3.4.3 De rol van het voedsel

De afname van slibrijke gebieden en de afname van ondiep water kunnen een negatieve invloed op

het voedselaanbod van de zeezoogdieren hebben. Slibrijke gebieden zijn rijk aan bodemdieren, het voedsel voor vissen die op hun beurt door zeezoogdieren worden geconsumeerd. Ondiep water is een opgroeigebied voor jonge vis.

De Gewone Zeehond gebruikt het water rondom de zandbanken voor het vangen van voedsel, voornamelijk bodemvissen. Met hun gevoelige snorharen kunnen zij 'blindelings' hun prooi opsporen en vangen. Dat betekent dus dat ze geen last hebben van de troebelheid van de Westerschelde. Recente gegevens over de voedselsamenstelling van de zeehond in de Westerschelde zijn niet bekend. In Noordoost Engeland voeden zij zich voornamelijk met Wijting, Tong, Pltvis en Dikkopje. Het blijkt dat er een seizoenspatroon in het dieet zichtbaar is. Bovendien blijkt dat de vissoort die het meest algemeen is in het gebied ook het meest voorkomt in het dieet van de zeehond. De Gewone Zeehond jaagt echter ook selectief op prooien. Van volwassen dieren in de vrije natuur varieert de voedselopname waarschijnlijk tussen de 6 en 10% van hun lichaamsgewicht per dag en kan gemiddeld gesteld worden op 5 kg platvis.



Groep zeehonden op de Hooge Platen © Belinda Kater

Bruinvissen komen normaal voor in open water. Wanneer zij pasgeboren jongen hebben geven ze veelal de voorkeur aan enigszins beschutte, visrijke wateren met een geringe (kustwaarts) gerichte stroming. Over voorkeurslocaties in de Westerschelde is niets bekend. Het aantal waarnemingen in de Westerschelde neemt sinds 1995 langzaam toe. Het meest frequent worden Bruinvissen in de monding waargenomen. Ze duiken tot 200 m diep, dus de hele Westerschelde ligt binnen hun bereik. In en rond de Nederlandse zoute wateren foerageren ze op pelagische rondvissen die kleiner zijn dan 30 cm; dit laatste omdat de Bruinvis hun prooi in zijn geheel doorslikken. Haring is in veel gebieden de belangrijkste prooi-soort, in de Nederlandse wateren zijn tegenwoordig vooral Wijting en grondels belangrijk. Ook het dieet van de Bruinvis vertoont seizoensvariaties.

3.4.4 De ontwikkeling van de populatieomvang

De groei van het aantal Gewone Zeehonden en Bruinvissen in de Westerschelde is sterk afhankelijk van immigratie vanuit andere gebieden. Bij een toenemende populatie kan verstoring van ligplaatsen een beperking gaan vormen. Indien de beperkende factoren tot een minimum beperkt worden, kan het aantal Gewone Zeehonden in de Westerschelde in de komende decennia toenemen

tot enkele honderden exemplaren. Omdat de Westerschelde een hoge graad van verontreiniging heeft, zou het mogelijk kunnen zijn dat verontreinigingen tevens een beperkende factor zijn.

De populatie van de Bruinvis in de Nederlandse sector van de Noordzee (NCP) is rond het midden van de 20^e eeuw sterk afgenomen, maar lijkt sinds 1995 herstellende. Met een verder herstel van de populatie in de zuidelijke Noordzee zal ook het aantal bezoeken van Bruinvissen aan de Westerschelde toe kunnen nemen. De meest beperkende factoren zijn waarschijnlijk de toegenomen scheepvaartintensiteit en een niet optimaal voedselaanbod. Het aantal Bruinvissen zal daarom voorlopig waarschijnlijk gering blijven.

De Westerschelde biedt in principe ruimte voor minimaal 1000 Gewone Zeehonden en enkele honderden Bruinvissen (de aantallen van rond 1890). Gezien de beschreven knelpunten kunnen er tegenwoordig slechts enkele honderden Gewone Zeehonden en enkele tientallen Bruinvissen in de Westerschelde leven.

3.4.5 Toegenomen kennis

Habitat is niet de beperkende factor voor de zeehondenpopulatie in de Westerschelde. Bij een toenemende populatie kan verstoring van ligplaatsen een beperking voor populatiegroei gaan vormen. Een mogelijk andere beperkende factor voor de populatieontwikkeling kan verontreiniging met milieuvreemde stoffen zijn.

De meest beperkende factoren voor de Bruinvispopulatie zijn waarschijnlijk de toegenomen scheepvaartintensiteit en een niet optimaal voedselaanbod.

3.4.6 Literatuur

- Addink MJ, Garcia Hartmann M & Smeenk C, 1995. The harbour porpoise *Phocoena phocoena* in Dutch waters: life history, pathology and historical records. IWC SC/47/SM5.
- Addink MJ & Smeenk C, 1999. The harbour porpoise *Phocoena phocoena* in the Dutch coastal waters: analysis of stranding records for the period 1920-1994. *Lutra* 41(1-2): 55-80.
- Baptist HJM, Witte RH & Wolf PA, 1997. Harbour porpoise *Phocoena phocoena* monitoring on the Dutch sector of the North Sea. In: PGH Evans, ECM Parsons & SL Clarks (Eds.). European Research on Cetaceans - 11. Proceeding of the eleventh annual conference of the European Cetacean Society, Stralsund, Germany 10-12 March 1997.
- Bleijenberg R, 1979. De zeehond op de Westerschelde. *Steltkluut* 10: 48.
- Dehnhardt G, Mauck B & Bleckmann H, 1999. Harbour seals detect minute water movement by means of their whiskers. Abstracts of 13th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals, The Society for Marine Mammalogy, Wailea, Maui, Hawaii.
- Drinkwaard, 1970. Vis, schaaldieren, zeehonden en het visbestuur met wat statistiek. *Zeeuws Tijdschrift* 20: (1): 9-19.
- Hoekstein M, Lilipaly SJ & Meininger PL, 2003. Vliegtuigtellingen van watervogels en zeezoogdieren in de Voordelta 2000/2001 (met gegevens van zeehonden in de Oosterschelde en Westerschelde). Rapport RIKZ/2003.046. Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.
- Kastelein RA, Schooneman NM, Au WWL, Verboom WC & Vaugghan N, 1997. The ability of a harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) to discriminate between objects buried in sand. In: AJ Read, PR Wiepkema & P.E. Nachtigall (Eds). The biology of harbour porpoise. De Spil Publishers, Woerden.
- Kastelein RA, 1998. Food consumption and growth of marine mammals. Thesis Landbouwwuniversiteit Wageningen.
- Meininger PL, Witte R & Graveland J, 2003. Zeezoogdieren in de Westerschelde: knelpunten en kansen. Rapport RIKZ/2003.041. Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.
- Moens J & Vergauwen JF, 1999. Herinneringen van een Schelde-visser over zeehonden. *Marswin* 20 (2): 48-53.
- Pot JMC 1888. Verslag omtrent den toestand der visscherijen in de Schelde en Zeeuwse Stroomen in 1888. Tholen.
- Reijnders PIH, 1982. Verminderde vruchtbaarheid bij Nederlandse zeehonden als mogelijk gevolg van hoge PCB belasting. *Tijdschr. Diergeneesk.* 107: 363-367.
- Reijnders PIH, 1985. On the extinction of the southern Dutch harbour seal population. *Biol. Conserv.* 31: 75-84.
- Santos Vázquez MB, 1998. Feeding ecology of harbour porpoises, common and bottlenose dolphins and sperm whales in the Northeast Atlantic. Thesis University of Aberdeen.
- Slijper EJ, 1958. Walvissen. D.B Centen's Natuurhistorische Boekerij, Amsterdam.
- Witte RH, Baptist HJM & Bot PV, 1998. Increase of harbour porpoise *Phocoena phocoena* in the Dutch Sector of the North Sea. *Lutra* 40 (2): 33-40.
- Witte R, 2001. De functie van de Westerschelde voor zeezoogdieren: kansen en bedreigingen voor met name de Gewone Zeehond en Bruinvis. Rapport 01-116. Bureau Waardenburg, Culemborg.



Westerschelde bij Doel © Anita Eijlers/Schelde InformatieCentrum

4 Synthese

In dit afsluitende hoofdstuk worden de opgedane kennis en inzichten kort samengevat. In een tweede paragraaf wordt aandacht besteed aan de problematiek rondom tijd- en ruimteschalen en de beperkingen van de habitatbenadering. In de laatste paragraaf worden tot slot aanbevelingen voor vervolgonderzoek gedaan.

4.1 Wat hebben we geleerd na 'Stram en struis'?

In de voorgaande twee hoofdstukken is de ontwikkelde kennis gepresenteerd. Met deze kennis zijn een aantal stappen vooruit gezet. Sinds de afronding van het project OOSTWEST met het rapport 'Stram en struis' is meer kennis en inzicht verkregen en zijn er methoden ontwikkeld om ingreep-effect relaties te onderzoeken. Kennis wordt hierbij gedefinieerd als 'het meer weten van de onderzochte onderwerpen'. Onder 'meer weten' valt bijvoorbeeld het beschrijven van de ruimtelijke verdeling van eigenschappen

of ontwikkelingen in de tijd. Naast kennis is ook inzicht verkregen: het begrijpen waarom juist die ruimtelijke verdelingen of ontwikkelingen in die tijd zich voordoen (oorzaak-effect relaties). Kennis en inzichten kunnen geoperationaliseerd worden in een methodiek, vaak een model. Met behulp van deze modellen, maar ook met de onderliggende kennis en inzichten, moeten beleids- en beheersvragen worden beantwoord.

In de onderstaande tabel geeft de eerste kolom een overzicht van de kennis, inzichten en methodieken opgedaan in ZEEKENNIS. In de kolommen daarna wordt aangegeven of het hier het verbeteren van de kennis, het inzicht of het opstellen van een methodiek betreft. In de laatste kolom worden één of twee voorbeelden gegeven van beleids- en beheerskaders waarin de kennis, inzichten en methodieken gebruikt kunnen worden om vragen te beantwoorden.

	kennis	inzicht	methodiek	Voorbeelden van beleids- of beheerskaders
Morfologische geschiedenis Er is meer duidelijk geworden over de historische ontwikkeling van het gebied: gedurende de periode 1800-2000 nam de inhoud van de geulen gelijkmatig toe en het areaal aan intergetijdengebied binnen de huidige bedijking is niet noemenswaardig toe- of afgenomen. In het totale Westerscheldegebied is het areaal intergetijdengebied wel afgenomen.	X			Streefbeelden en referentiekaders
Zandbalans De zandbalans toont aan dat de Westerschelde eind jaren '80 van de 20 ^e eeuw omsloeg van een zandimporterend naar een zandexporterend systeem. Ook de monding is vanaf die periode exporterend. Het verdwijnen van zand uit het systeem kan leiden tot een afname van ecologisch	X			Zandwinbeleid Kustbeleid

	kennis	inzicht	methodiek	Voorbeelden van beleids- of beheerskaders
interessante gebieden als platen, slikken en ondiep water. Daarom is het ook vanuit ecologisch oogpunt belangrijk naar de toekomstige ontwikkelingen van het zandtransport te kijken	X		X	Zandwinbeleid Kustbeleid
Waterbeweging Gebleken is dat zandwinning en baggeren op drempels leiden tot een toename van de voortplantingssnelheid van de getijgolf, het getijvolume, de hoogwaterstanden, de getijslag, de ebdebieten en de maximale stroomsnelheden. De laagwaterstanden, de vloeddebieten en het verschil in duur van eb- en vloedperiode nemen af. Het kombergingsoppervlak blijft min of meer gelijk. In het geval van het storten van baggerspecie zijn alle effecten precies tegenovergesteld, m.u.v. de voortplantingssnelheid van de getijgolf. Daarvoor geldt dat er zowel sprake kan zijn van een afname als van een toename of van een onduidelijk effect.	X	X		Vaargeulverruiming
Waterbewegingsmodellen De bodemruwheid speelt een belangrijke rol in de water bewegingsmodellen. Door de bodemruwheid van het intergetijdengebied op een meer gedifferentieerde manier te beschrijven is getracht het simuleren van de stroomsnelheden in dit gebied te verbeteren, maar zonder succes. Er zijn echter aanwijzingen dat de megaribbels op de platen een belangrijke rol spelen in het simuleren van stroomsnelheden in het intergetijdengebied.	X		X	Vaargeulverruiming
Morfologische model Het ontwikkelde morfologische model is geschikt om scenario's door te rekenen op het gebied van bagger- en stortactiviteiten. Met wat aanpassingen is het model ook geschikt om de grootschalige zandhuishouding te simuleren en effecten op zandimport en zandexport vanuit de Westerschelde te voorspellen. Om het model geschikt te maken van het voorspellen van effecten op platen moet het nog verder verbeterd en gevalideerd worden.			X	Vaargeulverruiming
Bodemdieren De kans op voorkomen en dichtheid van bodemdieren hangt op consistente wijze af van de omgevingsfactoren.	X		X	Kader Richtlijn Water

	kennis	inzicht	methodiek	Voorbeelden van beleids- of beheerskaders
De ontwikkelde modellen kunnen de kans op voorkomen en dichtheid van bodemdieren simuleren.	X		X	Kader Richtlijn Water
Vissen Er zijn vier soorten vis die in hoge mate gebruik maken van kustgebonden kinderkamers en waarvan een aanzienlijk deel in de Westerschelde voorkomt. Het onderzoek heeft laten zien dat er niet voldoende informatie over het voorkomen van juveniele vissen in de Westerschelde bestaat om gekwantificeerde relaties tussen voorkomen van juveniele vis en habitat op te stellen. Het bleek alleen in globale zin mogelijk de gevolgen van veranderingen in abiotische kenmerken voor de kinderkamerfunctie in te schatten.	X			Kader Richtlijn Water Habitatrichtlijn
Vogels Voor bijna alle onderzochte vogelsoorten geldt dat droogvalduur, stroomsnelheid en saliniteit een kwalitatieve invloed hebben op de verdeling van de vogels over het intergetijdengebied. De ontwikkelde kwantitatieve modellen konden de tellingen redelijk goed simuleren, maar bij de validatie waren de modellen voor de meeste soorten niet in staat om de gegevens te reproduceren. Een procesgeoriënteerd model voor de Scholekster bleek in staat de aantallen in de Westerschelde goed te kunnen simuleren.	X		X	Vogelrichtlijn
Zeezoogdieren Het habitat is niet de beperkende factor voor de zeehondenpopulatie in de Westerschelde. Bij een toenemende populatie kan verstoring van ligplaatsen een beperking gaan vormen. De meest beperkende factoren voor de Bruinvispopulatie zijn waarschijnlijk de toegenomen scheepvaartintensiteit en een niet optimaal voedselaanbod.	X			Habitatrichtlijn

Er is duidelijk meer kennis ontwikkeld dan dat er begrip is opgedaan. Dit is in zekere zin logisch, omdat kennis vooraf gaat aan inzicht. Voor het beantwoorden van beheers- en beleidsvragen is het hebben van kennis soms genoeg. In andere gevallen is inzicht nodig. Vanuit de kennis zijn een aantal methoden ontwikkeld of verder uitgewerkt

die ingezet kunnen worden bij beheersvragen, bijvoorbeeld een morfologisch model waarmee baggerscenario's berekend kunnen worden, bodemdiermodellen waarmee de kans op voorkomen en dichtheden kunnen worden berekend en een model voor scholeksters.



Plaat van Ossensisse © Rijkswaterstaat

4.2 Twee aandachtspunten

Deze paragraaf behandelt twee aandachtspunten die belangrijk zijn bij het formuleren van vervolgonderzoek, namelijk de problematiek rondom tijd en ruimteschalen en de beperking van de habitatbenadering.

4.2.1 Problematiek rond tijd- en ruimteschalen

Bij een beleids- en beheersvraag speelt de tijd- en ruimteschaal waarop een vraag beantwoord moet worden een grote rol. In de relatieschema's is dit probleem ook aan de orde. De genoemde factoren in de schema's betekenen niet op iedere schaal hetzelfde. Op lange termijn en/of grote schaal zijn de limiterende factoren in relaties andere dan op korte termijn en/of kleine schaal. De lange termijn limiet is geen eenvoudige integratie van alle korte termijn limieten.

Dit geldt voor fysische processen, maar ook voor ecologische. Het is echter lastig, zo niet onmogelijk, een relatieschema te maken dat op alle tijd- en ruimteschalen geldig is, en ook nog informatie bevat.

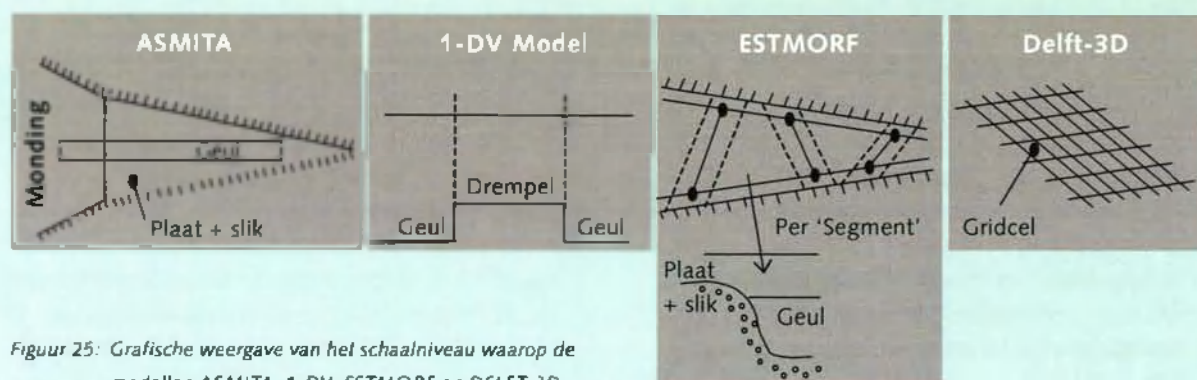
In de praktijk is een complex relatieschema nodig dat de relaties beschrijft binnen de Westerschelde zoals die in het verleden, heden en in de toekomst zijn. Als dan een stap in de tijd wordt gemaakt, zou een blik op dat complexe schema voldoende zijn om te zien hoe dan de relaties in het gebied liggen. Ook als in een tussenliggend jaar wordt gekeken hoe de relaties er uit zien, zou het schema een blauwdruk geven van de relaties op dat moment.

Wanneer over een lange tijdstap wordt gekeken, dan blijkt een complex schema niet veel houvast te bieden, omdat daarvoor veel te veel detail is weergegeven. Dagelijks getij, springtij-doodtij en seizoensfluctuaties zijn beeldbepalend, maar voor de ontwikkeling op de lange termijn doen ze er niet zoveel toe. Dan is een veel simpeler relatieschema dat de relaties beschrijft die bepalend zijn voor de ontwikkelingen (en niet voor de fluctuaties) nodig.

Voor morfodynamische vraagstukken zijn verschillende modellen beschikbaar met hun eigen tijd- en ruimteschaal. ASMITA is een morfologisch model dat op een grote ruimteschaal voorspellingen doet. In ASMITA wordt de Westerschelde opgedeeld in geulen, platen & slikken en de monding. Het 1-DV model is een bagger- en stortmodel dat opereert op een kleinere ruimteschaal dan ASMITA. In dit model is de Westerschelde verdeeld in geulen en drempels. ESTMORF is een semi-empirisch model dat geschikt is om lange termijn morfologische

ontwikkelingen (decennia) van estuaria onder invloed van natuurlijke ontwikkelingen (zeespiegelstijging, 18,6 jarige cyclus van het getij) en menselijke ingrepen (baggeren, storten, inpolderingen) te berekenen. Het morfologische model DELFT-3D (zie 2.4.3) ten slotte opereert op de kleinste ruimteschaal en verdeelt het estuarium in gridcellen.

Figuur 25 geeft voor vier modellen met een verschillende tijd- en ruimteschaal aan hoe groot de eenheden zijn waarmee gerekend wordt.



Figuur 25: Grafische weergave van het schaalniveau waarop de modellen ASMITA, 1-DV, ESTMORF en DELFT-3D werken

Op de verschillende schalen zijn verschillende factoren die de ontwikkelingen limiteren/bepalen.

	ASMITA	1-DV	ESTMORF	MORF MODEL
Waterstanden & verhang	-	Over drempel	Per cel+	Per gridcel+
Komberging	Hele bekken	-	Per cel	Per gridcel
Weerstand	-	Drempel, stortlocatie	Geulen (drempels)	Per gridcel
Sedimentaanbod, ruimte en vraag	Monding & ingrepen	Stort & drempel	Per cel en plaatgeul	Per gridcel
+ voor waterstand & verhang en komberging is de weerstand in de geulen bepalend.				

In de genoemde modellen worden de Westerschelde en de morfodynamische processen geschematiseerd weergegeven, maar wordt wel een vergelijking gemaakt met realistische morfologische ontwikkelingen. Voor de Westerschelde zijn ook geïdealiseerde modellen beschikbaar die worden gebruikt om na te gaan of morfologische evenwichtssituaties ontstaan en welke processen daarvoor verantwoordelijk zijn. Deze modellen hebben een gedetailleerd grid, zoals in Delft-3D, maar opereren door de idealisatie op een tijdschaal van tientallen tot honderden jaren.

Ook binnen de ecologie zijn tijd- en ruimteschalen bepalend voor uitspraken over limiterende factoren.

In een vergelijking met andere estuaria is bepaald wat de relatie was tussen primaire productie en de biomassa van bodemdieren. Bij een vergelijking tussen deelgebieden van de Westerschelde is ook een relatie bepaald tussen biomassa bodemdieren en aantal vogels. Op grond daarvan is de hypothese opgesteld dat in de Westerschelde de primaire productie de beperkende factor is en dat bodemdieren (en vogels) zich vervolgens aan de hand van

fysische kenmerken verdelen over de Westerschelde. Bij deze verdeling speelt op het schaalniveau oost-midden-west de saliniteit een grote rol. Op het niveau van een plaat verdelen organismen zich aan de hand van abiotische factoren als droogvalduur, bodemsamenstelling en stroomsnelheid.

Op grote ruimteschaal is de relatie tussen morfologie en ecologie zeer duidelijk: de afwezigheid van droogvallende platen betekent de afwezigheid van wadvogels en zeehonden. Bij deze grote schaal hoort een grote tijdschaal: het duurt vele (honderden) jaren voordat de droogvallende platen verdwenen zijn. De limiterende factoren voor deze schaal zijn de beschikbaarheid van sediment en de ontwikkeling van de gemiddelde waterstand (van nature is dat op lange termijn de stijging van de zeespiegel). De ontwikkelingen in de Oosterschelde na de aanleg van de Stormvloedkering laten zien, dat op langere termijn de morfologie inderdaad zo simpel in elkaar steekt: de beschikbaarheid van sediment is nul en de platen verdwijnen langzaam, door de herverdeling van sediment, naar de geulen. Voor het voorspellen van de ecologische ontwikkeling in de jaren tussen de uitgangssituatie en de

eindsituatie voldoet deze grove benadering niet, omdat daarbij ook meer subtiële zaken als de droogvalduur een rol gaan spelen. Het maakt dan uit op welke manier de plaatmorfologie verandert. De modelketen kan de veranderingen op kortere tijdschaal in kaart brengen. In ZEEKENNIS bleek hierbij dat de koppeling van morfologie en ecologie een goede kennis van de bodemruwheid op de platen vereist: alleen op die manier is de dynamiek goed te beschrijven.

Ook de voorspelling van de waterstanden en debieten in de gehele Westerschelde vereist een goede kennis van de bodemruwheid in geulen en op drempels. Op de grote schaal van de Westerschelde is de verandering in de weerstand (de bodemruwheid van de geulen en drempels) via de waterbeweging (verhang en komberging) van invloed op de sedimentruimte en sedimentvraag. Op kleinere schaal van een plaat is de verandering van de weerstand (bodemruwheid van ribbels en korrels) lokaal via waterbeweging (verhang) van invloed op de sedimentruimte en sedimentvraag. Vooralsnog is dit alles niet in één model te brengen. Dit kan worden geïllustreerd aan de hand van het volgende voorbeeld: de invloed van de bodemruwheid op de snelheden is groter op de platen dan in de geulen, maar omdat de geulen voor de waterstanden en debieten veel belangrijker zijn, is het effect van de bodemruwheid daar toch veel groter.

4.2.2 De beperking van de habitatbenadering

In veel van de in dit rapport samengevatte studies is geprobeerd de habitat voor diverse soorten organismen te modelleren. Maar is dit wel voldoende, ook als de modelketen perfect werkt? Kunnen dan de vragen beantwoord worden die vanuit beleid en beheer gesteld worden, met name over voorspellingen van de effecten van ingrepen? Dit is niet het geval. De bodemdieranalyse liet zien dat de verspreiding van deze groep voor ongeveer de helft wordt bepaald door abiotische factoren die de habitat vormen. Het kan dus heel goed gebeuren dat de habitat voldoet aan alle eisen van

organismen, maar dat ze er toch niet aanwezig zijn. Dit komt omdat de verspreiding van organismen nog door vele andere factoren wordt bepaald: aanwezigheid van geschikt leef- en foerageerhabitat voor vogels, hoogwater- en laagwatervluchtplaatsen voor vissen en mobiele bodemdieren, aanwezigheid van geschikt voortplantingshabitat (broedgelegenheid, opgroei gelegenheid), voedselaanbod, predatiedruk, competitie tussen organismen van dezelfde of andere soorten, voorgeschiedenis, ziekten en calamiteiten, ecotoxicologische kwaliteit, weersomstandigheden en menselijk handelen. De uiteindelijke limiterende factor verschilt van plaats tot plaats.

Een aantal van deze aspecten worden hieronder aan de hand van voorbeelden uitgewerkt.

Verandering in de aanvoer van voedingstoffen

Het Schelde-ecosysteem kan geschetst worden als een 'bioreactor'. Met name lagere organismen, zoals bacteriën en plankton, maar bijvoorbeeld ook vissen, spelen een rol in deze bioreactor. Uit het bovenstroomse gebied aangevoerde stoffen worden geconsumeerd door de in het estuarium aanwezige planten en dieren, of spoelen uit naar zee. Maatregelen als afvalwaterzuivering hebben invloed op het verloop van de chemische en biologische processen en op het voedselweb. Deze maatregelen veroorzaken veranderingen in de structuur van het voedselweb, zonder dat er sprake is van veranderingen in bijvoorbeeld de bodemligging en de stroomsnelheid. Dus, ondanks dat de ligging en omvang van leefgebieden gelijk blijft, kan er toch sprake zijn van een verandering in het voorkomen van organismen. Ontwikkelingen buiten de Westerschelde veroorzaken in dat geval de verandering.

Ecotoxicologische kwaliteit

Een habitat kan aan alle eisen voldoen, maar de ecotoxicologische kwaliteit kan onvoldoende zijn. In dat geval zal de populatie zich niet goed ontwikkelen. Dit speelt in de Westerschelde een rol. Voor sessiele organismen (organismen die vast zitten op een vaste plaats) is het heel goed mogelijk dat lokaal ecotoxicologische processen een dominante

rol spelen, met name bij hoge concentraties van verontreinigende stoffen. Bij hogere trofische niveaus kunnen zowel lokale als estuariumbrede problemen ontstaan. Een voorbeeld van een lokaal probleem op een hoger trofisch niveau zijn de broedproblemen van de visdiefpopulatie op de sluizen van Terneuzen.

Predatiedruk

Een andere mogelijkheid is dat habitat wel aan de eisen voldoet, maar dat soorten die zich er proberen te vestigen opgegeten worden door predatoren. Een voorbeeld is de predatiedruk van de Garmaal op larven van Kokkels, Strandgapers en Nonnetjes. Deze soorten schelpdieren worden gedurende dertig jaar in steeds lagere dichtheden gevonden in een bepaald habitat in de Waddenzee. Na analyse van de gegevens werd dit verklaard door de opkomst van de garmaal die foerageert op deze larven. Dus, hoewel de habitat niet was veranderd, nam de populatie van de schelpdieren wel af.

Interspecifieke competitie

Een habitat kan in orde zijn voor een bepaalde soort, maar deze soort kan verdreven worden door de aanwezigheid van een andere soort (interspecifieke competitie). Dit geldt niet alleen voor vogels, maar bijvoorbeeld ook voor bodemdieren. Zo is bekend dat de aanwezigheid van kokkels en wadpieren een negatief effect heeft op de aanwezigheid van slijkgarnaaltjes. De activiteit van kokkels en wadpieren bleek de verdeling van slijkgarnaaltje meer te beïnvloeden dan verstoring of predatie. Ook larven van een polychaete worm (*Hydroides elegans*) konden zich niet vestigen op geschikt habitat door aanwezigheid van larven van de copepod *Tisbe japonica*. In beide voorbeelden geldt dus, dat de habitat goed geschikt is voor een soort, maar dat deze er toch niet voorkomt door verstoring door andere soorten.



Oester © Joris Geurts van Kessel



Kaloet © Belinda Kater

Aanbevolen wordt de proceskennis en het procesinzicht verder op te bouwen, zodat bijvoorbeeld de volgende vragen beantwoord kunnen worden: hoe steekt het gebied morfodynamisch in elkaar, waarom is het gebied omgeslagen van een zand-importerend naar een zandexporterend systeem, wat voor gedrag vertoont slib in de Westerschelde, waarom gaan organismen op de plaatsen zitten waar ze zitten?

Voor ecologische modellering is een combinatie van aanpakken gewenst. De statistische modellering zoals deze tot nu toe is toegepast werpt te weinig vruchten af. Te denken valt aan proces-georiënteerde modellering of het modelleren van grotere groepen van organismen (levensgemeen-

schappen in plaats van individuele soorten).

Het blijkt dat er weinig bekend is over de draagkracht van de Westerschelde voor kinderkamer-soorten. Aanbevolen wordt om meer inspanning te leveren voor onderzoek naar deze functie. Daarnaast is het van belang om van een aantal representatieve soorten die de Westerschelde als kinderkamer gebruiken de voorkeuren voor habitats en gebiedsgrenzen te onderzoeken. Het modelleren van habitats van bodemdieren en vogels liet zien dat statistische modellering bij dit type vraagstukken niet tot het gewenste resultaat leiden. Ook bij het modelleren van vis-habitat relaties zal daarom voor een proces-georiënteerde aanpak gekozen moeten worden.

Op het gebied van de modelketen moet de communicatie tussen ecologische en morfodynamische modellen verbeteren. Om te bereiken dat de stroomsnelheid gebruikt kan worden als input voor



Kalkkokerworm © Joris Geurts van Kessel

ecologische modellen moeten de bodemruwheidsvoorspellers of ribbelvoorspellers verbeterd worden. Omdat nog geen voorspellingen van arealen gemaakt kunnen worden met het morfologisch model, kunnen ook geen voorspellingen van habitats worden gemaakt. Afgewacht moet worden wat de verdere verbeteringen van het morfologisch model opleveren. Bij het verbeteren van de communicatie tussen de ecologische en morfologische modellen moet rekening gehouden worden met de verschillende tijd- en ruimteschalen.

Vanuit de morfodynamica is het aan te bevelen in een vervolgstudie aandacht te geven aan zwevend stof. De componenten van primaire productie zijn in de Westerschelde een limiterende factor van productiviteit. De overlevingskans van fytoplankton staat in rechtstreeks verband met de diepte van het systeem en met de doordringingsdiepte van licht in de waterkolom. De doordringingsdiepte staat in verband met zwevend stof; de opwerveling

van bodemmateriaal wordt bepaald door de heersende hydrodynamiek.

In een vervolgonderzoek zou meer gebruik moeten worden gemaakt van hypothese toetsend experimenteel onderzoek. Een dergelijk onderzoek verloopt minder snel dan de uitgevoerde correlatieve studies, maar de resultaten vergroten wel sterk het begrip van causale relaties. Een voorbeeld van dergelijk onderzoek is onder laboratorium omstandigheden te onderzoeken welke factoren de settling en groei van schelpdieren bepalen. De informatie kan vervolgens in de modellen voor zowel bodemdieren als vogels (voedsel) worden gebruikt.

Er zijn nog diverse onderbelichte habitatfactoren zoals zoet-zoutovergangen en zoutschommelingen. De vraag of het Westerscheldegebied volledig benut wordt door de diverse organismen of dat er nog ruimte is voor meer exemplaren, kan niet worden beantwoord. Ook onderbelicht zijn

aspecten als dynamiek en gradiënten. Voor sommige groepen van organismen, zoals vissen, zijn de habitateisen niet voldoende duidelijk geworden. Naast aandacht voor de habitat moet er ook aandacht geschonken worden aan andere factoren die de verspreiding van organismen bepalen (voedsel, stofstromen, ecotoxicologie, populatie-dynamica).

Een belangrijke kennisleemte is het effect van afzonderlijke menselijke ingrepen en autonome veranderingen op waterbeweging, morfologie en ecologie. Alleen als dat bekend is, is het mogelijk om van de waargenomen ontwikkelingen te beoordelen welk deel autonoom is en welk deel veroorzaakt wordt door ingrepen.

Om tot kennis te komen is in het project ZEEKEN-NIS vooral gebruik gemaakt van empirisch onderzoek. Naast deze weg is het aan te bevelen om zowel voor morfodynamica als voor ecologie ook een goede analyse van de historische ontwikkelingen te maken. Analyse van monitoringsgegevens kan ook nog een bijdrage leveren aan het beeld omtrent autonome ontwikkelingen en ontwikkelingen ten gevolge van ingrepen. Met name op het vlak van de analyse van historische gegevens liggen hier, voor zowel de morfodynamica als de ecologie, nog veel mogelijkheden.

Een vergelijkende studie met andere estuaria kan een beeld opleveren van ontwikkelingen elders. Estuaria zijn reeds vergeleken met betrekking tot primaire productie; deze vergelijking zou breder moeten worden en ook morfodynamische kenmerken omvatten (b.v. vorm van bekken, getijdenmerken, areaal intergetijdengebied). Met de verzamelde kennis kunnen hypothesen opgesteld worden over de autonome ontwikkeling van de Westerschelde en de ontwikkeling ten gevolge van ingrepen. Ook zijn vragen te beantwoorden over de ecologische meerwaarde van een meergeulenstelsel. Tevens kan zo een eerste selectie plaatsvinden van hypothesen over de bijdrage van fysica en andere factoren aan de verspreiding van organismen.

4.4 Literatuur

- Beukema JJ & Dekker R, 2005. Decline of recruitment success in cockles and other bivalves in the Wadden Sea: possible role of climate change, predation on postlarvae and fisheries. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 287: 149-167.
- Dahms HU, Harder T & Qian PY, 2004. Effect of meiofauna on macrofauna recruitment: settlement inhibition of the polychaete *Hydroides elegans* by the harpacticoid copepod *Tisbe japonica*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 311: 47-61.
- Flach EC & de Bruin W, 1994. Does the activity of cockles, *Cerastoderma edule* (L.) and lugworms, *Arenicola marina* (L.), make *Corophium volutator* Pallas more vulnerable to epibenthic predators: a case of interaction modification? *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 182: 265-285.
- Geurts van Kessel AJM, Kater BJ & Prins TC, 2003. Veranderende draagkracht van de Oosterschelde voor kokkels. Rapport RIKZ/2003.043, RIVO rapport C062/03. Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg, Nederlands Instituut voor Visserij Onderzoek (RIVO), Yerseke.
- Heip CHR & Herman PMJ, 1995. Major biological processes in European tidal estuaries. *Hydrobiologia* 311 (1-3): special issue.
- Herman PMJ, Middelburg JJ, van de Koppel J & Heip CHR, 1999. Ecology of estuarine macrobenthos. *Advances in Ecological Research* 29: 195-240.
- Hibma A, 2004. Morphodynamic modelling of estuarine channel-shoal systems. Thesis Delft University of Technology.

Jenken C, van Helvoirt M & Wang ZB, 2002. EST-MORF berekeningen naar de invloed van ingrepen en natuurlijke forceringen op de zandhuishouding van Westerschelde en monding Rapport 23246. Waterloopkundig laboratorium | Delft Hydraulics, Delft.

Peters BGTM, Liek GA, Wijsman JMJ, Kuijper MWM & van Eck GTM, 2003. Monitoring van de effecten van de verruiming 48'/43. Een verruimde blik op waargenomen ontwikkelingen. MOVE Evaluatierapport 2003. MOVE-rapport 8, deel B Hoofdrapport. RIKZ/2003.027. Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg.

Schuttelaars HM, 2001. Modelleren van geulen, platen en drempels in de Westerschelde = Eindrapport; Report R-01-05, Universiteit Utrecht, Instituut voor Marien en Atmosferisch onderzoek (IMAU), Utrecht.

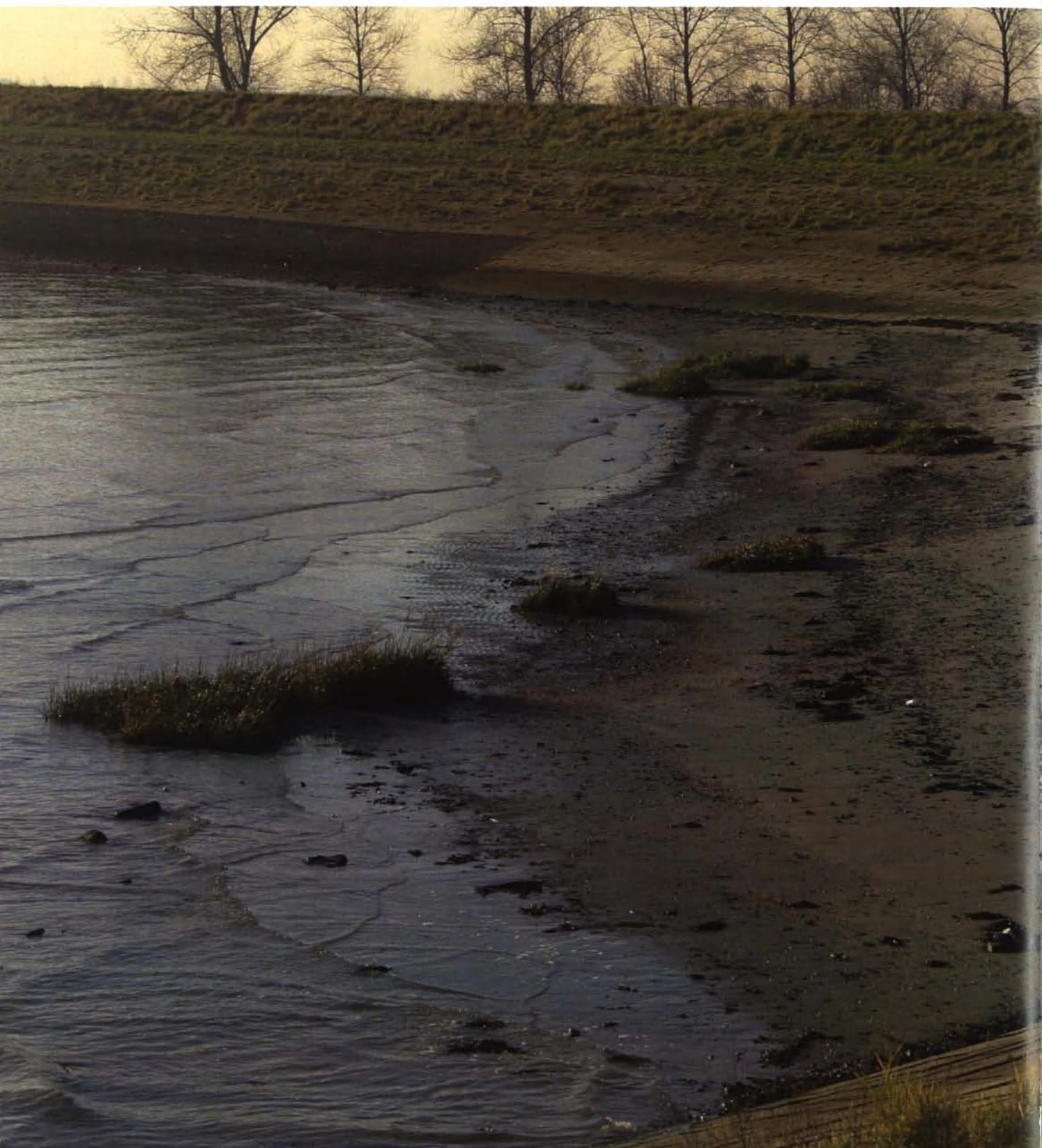
Van Damme S & Meire P, 2001. Het Schelde-estuarium als filter: een bioreactor van stofstromen. De levende natuur 102: 48-51.

Wang ZB, 1997. Morphological interaction Western Scheldt estuary and estuary mouth / ASMITA - Western Scheldt - behaviour oriented modelling. Rapport Z2253. Waterloopkundig laboratorium | Delft Hydraulics, Delft.

Wang ZB & van Helvert MAG, 2001. ESTMORF, a model for long-term morphological development of estuaries and tidal lagoons; overall review of the development of the model. Rapport Z3105. Waterloopkundig laboratorium | Delft Hydraulics, Delft.



Donderpad © Joris Geurts van Kessel



Dijk langs de Westerschelde © Belinda Kater

Begrippenlijst

abiotisch	Behorende tot de niet levende natuur
abundantie	Mate van voorkomen
biotisch	Tot de levende natuur behorend
cellenconcept	Schematisatie en aggregatie van de morfologie en transportcapaciteit van het meergeulensysteem van de Westerschelde om de invloed van storten en baggeren op de stabiliteit van dat meergeulensysteem te kunnen bestuderen; het bestaat uit twee delen: een schematisatie van de eb- en vloedgeulen met tussenliggende platen en een stabiliteitsanalyse van dat geulsysteem; met dit concept is het mogelijk om aan te geven waar en hoeveel zand er maximaal kan worden gestort zonder dat het meergeulensysteem van de Westerschelde degenereert
debiet	Watervolume dat per tijdseenheid door een dwarsdoorsnede stroomt
doorstroomprofiel	Het oppervlak waar het water doorheen stroomt
ebvolume	Totale hoeveelheid water die tussen de vloed- en de ebkentering van een getijde door een zekere dwarsdoorsnede stroomt
ESTMORF	Model dat geschikt is om langetermijn morfologische ontwikkelingen van de Westerschelde onder invloed van natuurlijke ontwikkelingen (zeespiegelstijging, 18,6 jarige cyclus van het getij) en menselijke ingrepen (baggeren, storten, inpolderingen) te berekenen
gecorrigeerde volumeverandering	Het verschil tussen de gemeten volumeverandering op basis van ladingen en de netto ingrepen; gecorrigeerde volumeveranderingen worden ook wel 'natuurlijke' volumeveranderingen genoemd, maar het is niet te achterhalen of het ook daadwerkelijk het natuurlijke effect is
geometrie	De vorm van het estuarium
getijasymmetrie	Verskil in de eb- en vloedduur
getijcyclus	Cyclus van het periodiek rijzen en dalen van het water als gevolg van de aantrekkingskrachten van de maan en de zon en al dan niet door versturende weersinvloeden vervormd

getijgolven	Het snelle stijgen of dalen van de afwatering of de waterstand
getijslag	Het verschil tussen gemiddeld hoogwater en gemiddeld laagwater.
getijverloop	Verandering van het getij in een getijperiode en/of over een afstand
getijvolume	De totale hoeveelheid water, die de Westerschelde vanaf zee in- en uitstroomt (som van ebvolume en vloedvolume). Gedurende een getijcyclus bedraagt het getijvolume ongeveer 2,2 miljard m ³ water
habitat	Leefgebied
hoogwatervluchtplaats	Plaats waar vogels wachten tijdens een hoogwaterperiode
intergetijdengebied	Het gebied tussen hoog- en laagwater
inundaties	Onder water zetten van lage gronden als middel ter verdediging
kalibratie van een model	Het vinden van die set van parameterwaarden die zo goed mogelijk het gemeten systeemgedrag beschrijft
komberging	De totale hoeveelheid water die in een deel van het Schelde-estuarium tussen laag- en hoogwater kan worden geborgen; de komberging varieert langs het estuarium
macrocel	Op basis van berekende getij-gemiddelde zandtransporten en het morfologische onderscheid tussen grote en kleine eb- en vloedgeulen kan het meergeulenstelsel van de Westerschelde geschematiseerd worden als een ketting van morfologische cellen: de grote geulen vormen de macrocellen, die op hun beurt dus bestaan uit een ebgedomineerde (eb)geul en een vloedgedomineerde (vloed)geul met daartussen een plaat; de kleinere geulen of inscharingen vormen de zogenaamde mesocellen
megaribbels	Zandgolven
mesocel	Een gebied met een aantal kleinere kortsluitgeulen (zie ook macrocel)
morfodynamica	Samenspel tussen waterbeweging, sedimenttransport en morfologie
netto baggeren	De negatieve som van baggeren, storten en zandwinnen, er wordt meer gebaggerd en/of zand gewonnen dan er wordt gestort; het systeem verliest netto zand
netto menselijke ingrepen	Som van baggeren, storten en zandwinning
netto storten	De positieve som van baggeren, storten en zandwinnen, er wordt meer gestort dan er gebaggerd en/of zand wordt gewonnen; het systeem wint netto zand

netto zandtransport	Verskil vloed- en ebtransport van zand
pelagische vissen	Vissen die in de waterkolom leven
plaat	Intergetijdengebied dat bij laagwater geheel is omgeven door water
reflectie	Het terugkaatsen van golven tegen de randen van het estuarium
regressiemodellen	Regressiemodellen voorspellen of verklaren de uitkomst van een variabele uit één of meer andere variabelen
simuleren (in relatie tot modellen)	Een model kan controleren of veronderstelde verbanden 'kloppen'. In dat geval stelt de onderzoeker, dat als deze parameter op die manier samenhangt met mijn studieonderwerp, dan zou dát moet gebeuren als er iets verandert. Als het veronderstelde verband juist is, dan heet het dat het model de situatie kan 'simuleren'. Naast simuleren kan een model gebruikt worden om te voorspellen. Deze toepassing is belangrijk voor bestuurders en beheerders om de mogelijke gevolgen van beslissingen in beeld te brengen. Het is goed mogelijk dat een model wel de situatie kan simuleren, maar niet kan voorspellen
SOBEK	Een 1D-modelsysteem voor de simulatie van waterbeweging, waterkwaliteit, zoutindringing, morfologie en sedimenttransport in oppervlaktewatersystemen zoals rivieren, kanalen en geulenstelsels in estuaria
statistische modellen	Zie regressiemodellen
sublitoraal	de zone onder het laagste niveau van laag water
trofisch niveau	Voedselniveau, de productie en overdracht van levende organische stof als hoofdcomponent van een ecosysteem; de drie hoofdniveaus worden gevormd door de producenten, consumenten en reducenten
validatie van een model	Toetsen van de uitkomsten van een model op een andere lokatie of andere tijdsperiode dan waarvoor het model is gebouwd
verhang	Het quotiënt van het verval tussen twee punten en hun afstand, de helling van de waterspiegel
wrijving	Energieverlies als gevolg van weerstand van de bodem tegen stroming



