

MORFOLOGISCH ONDERZOEK VAN DE WESTERSCHELDE

EEN ZOEKTOCHT NAAR DE MOGELIJKHEDEN

WERKDOCUMENT RIKZ/OS-96.814X

van: Harm Verbeek (OSFD)
datum: 15 mei 1996
project: VERDIEP

0. **SAMENVATTING**

Ter voorbereiding van het projectplan voor VERDIEP wordt in dit werkdocument de stand van zaken ten aanzien van het morfologisch onderzoek van de Westerschelde bekeken. Bij deze zoektocht wordt met name gekeken naar een doelstelling voor de nabije toekomst, uitgaande van de vragen van de beheerder (directie Zeeland) en de adviseur (RIKZ) en de (theoretische) mogelijkheden.

Vanuit de vragen wordt gekeken naar de mogelijkheden ten aanzien van meerdimensionale morfologische modellering. Hiervoor zijn een aantal deskundigen geraadpleegd en hun bevindingen zijn als bijlage toegevoegd. Op basis hiervan wordt een keuze gemaakt voor de verdere ontwikkeling van het modelinstrumentarium. Toepassing van dit instrumentarium dient bij te dragen aan de vergroting van de inzichten van de effecten van menselijk ingrijpen in het Westerschelde systeem.

*De gewenste ontwikkeling gaat gepaard met zowel een financiële als een personele inspanning. Deze wordt ingeschat en waar mogelijk worden de consequenties aangegeven. Relaties worden hierbij gelegd met aanverwante projecten zoals DYNASTAR, KUST*2000, SIMONA*SYS en INR*EST.*

INHOUDSOPGAVE

0.	SAMENVATTING	1
1.	AANLEIDING	3
2.	VRAAGSTELLING	4
2.1	Inleiding	4
2.2	Vragen beheerder	4
2.3	Vragen adviseur	4
2.4	Vragen onderzoeker	5
2.5	Vraagstelling	5
3.	BESTAANDE KENNIS	7
3.1	Inventarisatie	7
3.2	Lopend onderzoek	7
3.3	Voorstellen voor nieuw onderzoek	8
3.4	Voorstellen externe deskundigen	9
3.5	Synthese	9
4.	MOGELIJKHEDEN VOOR MORFOLOGISCHE MODELLEN	11
4.1	Typologie van modellen	11
4.2	1D (dynamisch-)empirische modellen	11
4.3	1D dynamische modellen	11
4.4	2D/3D dynamische modellen	12
4.5	Mogelijkheden en beperkingen	12
5.	VOORSTEL VOOR MODELBOUW	13
5.1	Beschikbare modellen	13
5.2	Gewenst adviesmodel	13
5.3	Gewenst onderzoeksmodel	13
6.	REALISATIE	14
6.1	Tijdpad	14
6.2	Organisatie en samenwerking	14
6.3	Financiële en personele planning	15
7.	REFERENTIES	16
Interview	Tom Pieters	18
Interview	Kees Storm	19
Interview	Ad Langerak	20
Interview	Onno van Kleef en Paul Sistermans	21
Beheersvisie AXW 1996 t/m 2000		22
Interview	Zheng Bing Wang en Han Winterwerp	23
Interview	Huib de Vriend en Zheng Bing Wang	24
Interview	Huib de Swart en Leo van Rijn	26
Bijlage I	Sedimenttransport formuleringen uit WAMORF	28

1. AANLEIDING

Het project OOSTWEST bevindt zich momenteel in een afrondingsfase en binnenkort wordt de eindrapportage opgeleverd. Tijdens dit project is met name de ontwikkeling van de Westerschelde sinds circa 1930 bestudeerd en is er gekeken naar de gevolgen van de verdieping van 1970 - 1975 op het getij, de morfologie en de ecologie. Conclusies uit dit project hebben onder andere geleid tot aanpassing van het bagger- en stortregime in de Westerschelde. Verder is er een beter inzicht in de morfologische effecten van ontpolderen (kombergingsvergroting) verkregen, wat een belangrijk onderwerp voor de beheerder is.

In 1996 begint er een nieuwe verdiepingsronde in de Westerschelde, de 48'/43'-verdieping genoemd. Deze operatie wordt uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse overheden en vanuit directie Zeeland en het RIKZ nauwlettend gevolgd. De activiteiten van het RIKZ in dit kader worden gebundeld in het project VERDIEP. Bij directie Zeeland wordt dit gebundeld in het project MOVE.

Ter voorbereiding van het projectplan VERDIEP wordt gekeken naar de mogelijkheden om de morfologische veranderingen beter in de beeld te krijgen. De aanbeveling vanuit de Pilotstudie van OOSTWEST was om te komen tot een minimale baggerinspanning, door de specie verder weg van de bagger-locatie te storten, door zandwinning en door kombergingsvergroting. In het project OOSTWEST is dit onderzocht door de historische ontwikkeling systematisch (volgens de hiërarchie van het systeem) in kaart te brengen, relaties te leggen met de ingrepen en hieruit voorspellingen te doen voor toekomstige ingrepen.

In het kader van VERDIEP moeten de conclusies uit OOSTWEST met name ten aanzien van de komende verdiepingsronde nader onderzocht worden. De morfologische modellen zijn inmiddels zover ontwikkeld dat deze intensiever bij het onderzoek betrokken kunnen worden. De vraag, die in dit werkdocument onderzocht wordt, is welk soort onderzoek nodig is, welke wiskundige modellen hierbij nodig zijn en hoe dit opgezet kan worden.

In dit werkdocument wordt eerst gekeken naar de vragen, die er zijn bij de beheerder, de adviseur en de onderzoeker. Hieruit wordt de vraagstelling afgeleid (hfst. 2). Vervolgens worden de bestaande kennis en de verschillende onderzoeken geïnventariseerd, om vast te stellen wat de stand van zaken is en wat de belangrijkste kennisleemten zijn (hfst. 3). Uit een literatuur-onderzoek en interviews met deskundigen worden mogelijkheden voor morfologische modellering genoemd (hfst. 4) en uit deze mogelijkheden wordt een keuze gemaakt (hfst. 5). Tenslotte wordt geïnventariseerd wat het tijdpad en de benodigde capaciteit is (hfst. 6).

2. VRAAGSTELLING

2.1 Inleiding

In de bijlage bij dit werkdocument zijn een aantal interviews met betrokkenen gebundeld. Door omstandigheden is het interview met de afdeling AXW vervangen door een samenvatting van de beheersvisie van directie Zeeland. Voor het onderdeel morfologie van het project VERDIEP is uit de interviews een vraagstelling afgeleid en deze wordt in dit werkdocument verder uitgewerkt. Hierbij is gekeken naar de mogelijkheden op een termijn van 2 - 5 jaar.

2.2 Vragen beheerder

De regionale beheerder (de directie Zeeland) is direct betrokken bij het verdiepingsprogramma, namelijk als vergunningverlener en handhaver. De huidige vergunning voor het vaarwegonderhoud voorziet in een bagger- en stortregime, waarbij de specie slechts over een kleine afstand verplaatst wordt (in de orde van enkele kilometers). Na ratificatie van het verdiepingsplan kan begonnen worden met de voorgestelde 48'/43'-verdieping. Bij deze operatie wordt geleidelijk overgegaan naar stort-locaties in het westelijk deel van de Westerschelde. De vergunning voor de verdieping is onderdeel van het verdiepingsplan en ligt vast tot eind 2000. In de tussentijd kunnen alleen marginale aanpassingen opgenomen worden, welke zijn gebaseerd op monitoring.

De beheerder wil graag weten wat de ecologische effecten zijn van de verandering in het bagger- en stortregime, met name omdat hierdoor een groter gebied dan tot nu toe beïnvloed wordt. Daarnaast wordt sediment aan het Westerschelde systeem onttrokken door zandwinning. Door beide ingrepen (baggeren/storten en zandwinning) is er een invloed waarneembaar op het functioneren van het watersysteem. De beheerder wil in dit kader weten of dit leidt tot een verdere ecologische teruggang en een mogelijk sterkere verlanding van het estuarium op de korte of middellange termijn.

De antwoorden op de verschillende beheersvragen (zie interview Van Kleef & Sistermans) worden op verschillende tijdstippen verwacht. Zo kan vanaf 1998 een aanpassing van het zandwinbeleid gerealiseerd worden, waarover eind 1996 een voorstel opgesteld moet worden. De vergunning in het kader van de verdieping loopt tot eind 2000 en voor het verdere vaarwegonderhoud moet eind 1999 een nieuw plan opgesteld worden. Dit zal gebaseerd moeten zijn op voorspellingen van de morfologische veranderingen. Tegen die tijd moet duidelijk zijn wat het effect van de verdieping is op het totale systeem. Op de korte termijn wordt ook een advies verwacht over het effect van ontpolderen (kombergingsvergroting) op de morfologie en de ecologie.

2.3 Vragen adviseur

De adviseur (onder andere werkzaam bij het RIKZ) is veelal betrokken bij het opstellen van de adviezen ten aanzien van de beheersvragen. Hierbij spelen aspecten een rol, welke gerelateerd zijn aan autonome morfologische en ecologische ontwikkelingen, maar ook aan het menselijk handelen in het gebied. In een multidisciplinaire aanpak wordt gekeken naar het Westerschelde systeem. Verschillend onderzoek op deelgebieden en -aspecten levert hieraan een bijdrage, maar de integratie is het belangrijkste.

Voor deze integratie is een (kennis/model)systeem nodig, dat de verschillende ontwikkelingen in hydrodynamisch, morfologisch en ecologisch opzicht kan bundelen. Er moeten relaties gelegd kunnen worden tussen bijvoorbeeld:

- morfodynamiek van platen en beschikbaar substraat voor macro-zoöbenthos
- verlegging van geulen, afname van ondiep water en de kraamkamer-functie voor vissen
- ophoging van platen en afname intergetijdegebieden en de fourageergebieden voor vogels
- verandering van komberging in relatie met de morfologische ontwikkeling

Er spelen dus relaties tussen hydraulica en morfodynamica en tussen ecologie en morfodynamica. Er is een ingewikkelde terugkoppeling tussen deze onderdelen van het watersysteem, welke door de adviseur onderzocht worden. De relaties tussen morfodynamica en hydraulica kunnen op twee manieren modelmatig weergegeven worden, namelijk door:

- gedragsmodellering
- procesmodellering

De gedragsmodellering gaat uit van (een verandering in) de hydraulische beschrijving van het systeem als geheel en voorspelt (een verandering in) de morfologische reactie. Dit is doorgaans één-richtingsverkeer, aangezien de terugkoppeling moeilijk als geheel te kwantificeren is. Bij een procesmodel wordt vanuit een gedetailleerde hydraulische beschrijving een voorspelling van de morfologische verandering gemaakt, waarna de hydraulische beschrijving opnieuw bepaald wordt. In hoofdstuk 4 wordt verder ingegaan op de verschillende typen modellen.

Vanuit de verschillende relaties moet de invloed van het menselijk handelen op het natuurlijk en autonoom functioneren afgeleid kunnen worden. Dit gebeurt doorgaans in de vorm van een studie van de mogelijke scenario's, zoals autonome ontwikkeling, handhaving huidig beheer en toepassing gewijzigd beheer. De vraag voor de advisering is of en in hoeverre ingeschat kan worden hoe menselijk handelen, zoals baggeren, storten en zandwinning direct en indirect effect hebben op het watersysteem.

2.4 Vragen onderzoeker

Door de onderzoeker moeten de modelconcepten, zoals die bijvoorbeeld in het project OOSTWEST ontwikkeld zijn, verder geïntegreerd worden tot een totaal beeld van de morfologische veranderingen in de Westerschelde en de effecten hiervan op het ecologisch functioneren. In OOSTWEST is de verbetering van dit laatste gedacht door een vermindering van de baggerinspanning. Hierbij is er van uitgegaan dat de minimalisering van de baggerinspanning gerealiseerd kan worden door:

- vermindering van de retourstroom door verder weg storten van de specie
- vermindering van het aanbod van sediment door zandwinning in het gebied

Deze ingrepen hebben het gevolg, dat er een vermindering van het verschil tussen evenwicht en gewenste bodemligging ontstaat door sterkere concentratie van de stroming in de ebgeulen. Dit gegeven is als uitgangspunt gekozen, maar dit moet nog aangetoond worden.

Op verschillende onderdelen van de morfologische dynamiek is de afgelopen jaren uitgebreid onderzoek gedaan, zoals ten aanzien van drempels (Tank, 1995, 1996^a en 1996^b) en kortsluitgeulen (Jeuken, 1996). Er is gekeken naar de invloed van de resttransporten (Storm, 1995) en de morfologische ontwikkeling sinds 1935 is in beeld gebracht (Huijs, 1995 en 1996). Ook is een aanzet gemaakt tot het modelleren van de morfodynamica via gedragsmodellering (Van Kleef, 1993) en procesmodellering (zie bijv. Karssen & Wang, 1991).

Er moet echter nog veel voortgang gemaakt worden op het punt van de integratie van de verschillende onderdelen. In hfst. 3 wordt dit nader uitgewerkt. De gedachte hierbij is het samenvoegen van de concepten in een morfologisch modelsysteem. Hierbij moet onderscheid gemaakt worden naar de toepassingsgebieden van zo'n modelsysteem. Er wordt gewerkt aan een ééndimensionaal model (ESTMORF) voor de bepaling van de grootschalige, lange termijn veranderingen. Verder wordt het morfologisch gedrag geanalyseerd op de schaal van platen en geulen (MOS). Uit verschillende interviews is gebleken dat er hiernaast grote behoefte is aan een meer gedetailleerde modellering van de morfologische veranderingen met 2D en 3D modellen, om de lokale effecten van de beheersingrepen goed te kunnen weergeven.

2.5 Vraagstelling

Vanuit deze stand van zaken wordt afgeleid dat ten aanzien van de morfologie van de Westerschelde gewerkt moet worden aan:

- Verdere integratie van kennis tot een totaal concept voor de morfologische ontwikkeling
- Ontwikkeling van een meerdimensionaal morfologisch adviesmodel

Vanuit deze ontwikkeling kunnen de vragen van de beheerder beter onderbouwd worden aan de hand van modelberekeningen. Verder zal er door de kennisontwikkeling meer inzicht ontstaan in het functioneren van het Westerschelde-systeem, met name in de relatie tussen de waterbeweging, de morfologie en mogelijk de ecologie. De vraag, die hierbij een grote rol speelt, is of er voldoende kennis is om het bovenstaande te kunnen realiseren. In het vervolg worden de reële mogelijkheden voor de opzet van morfologische modellen onderzocht. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen kennis van het watersysteem, theoretische kennis ten aanzien van de morfologie en informatica-technische aspecten.

De vraagstelling ten aanzien van kennisopbouw voor de morfologie wordt gedefinieerd als:

Wat is de natuurlijke, morfologische ontwikkeling van het Westerschelde-estuarium bij de huidige getij- en afvoerstandigheden en welke invloed heeft het menselijk handelen (met name scenario's voor baggeren, storten en zandwinning) hierop.

Voor de beantwoording van deze vragen moet gezocht worden naar een instrument, waarin de verschillende aspecten onderzocht kunnen worden op hun primaire invloed en de onderlinge beïnvloeding van de aspecten.

Dit werkdocument draagt bij aan de opzet van het projectplan van VERDIEP. Daarnaast wordt binnenkort gestart met de verdieping en de bijbehorende monitoring. Daarom wordt in het nog te maken projectplan een driedeling gemaakt:

- monitoring van de veranderingen van de hydraulica, morfologie en ecologie met specifieke aandacht voor de methodiek van gegevensverwerking
- theoretisch onderzoek naar de effecten van de verdieping op getij, morfologie en ecologie
- voorspellen van de morfologische veranderingen met verschillende modellen

Dit werkdocument is de basis voor een workshop over de Morfologisch Onderzoek van de Westerschelde in samenwerking met de directie Zeeland. De doelstelling hiervoor is:

Het aftasten van de theoretische en praktische mogelijkheden voor en de verwachte kwaliteit van de voorspelling van de morfologische veranderingen in de Westerschelde, welke haalbaar is op een termijn van 2 - 5 jaar

Voor deze bijeenkomst worden deelnemers verwacht van de beheerder (directie Zeeland), de adviseur (RIKZ) en enkele externe deskundigen (Waterloopkundig Laboratorium, Technische Universiteit Delft, Universiteit Utrecht).

3. BESTAANDE KENNIS

3.1 Inventarisatie

Een overzicht van de bestaande kennis van de morfologie wordt gegeven in Storm e.a. (1995). Hierin wordt aangegeven dat de morfologie van de Westerschelde sterk onder invloed staat van het onderhoudsbaggerwerk aan de vaargeul, met name in het oostelijk deel van de Westerschelde. In de ontwikkeling van het systeem zijn duidelijk de gevolgen zichtbaar van de verdieping van de geul tussen 1970 en 1975. De komende verdieping zal ook grote gevolgen hebben, waarbij de baggerhoeveelheden mogelijk zullen verdubbelen.

Als gevolg van de verdieping tussen 1970 en 1975 en het onderhoudsbaggerwerk hierna is er een grote toename van het geulvolume, een toename van de platen en een afname van het areaal ondiep water te zien. De hydrodynamica is veranderd: de stroming is meer geconcentreerd in de vaargeul en de getijslag is toegenomen. Daarnaast is het getijvolume, als maat voor de lange termijn ontwikkeling, afgenomen ten gevolge van landaanwinning en de ophoging van platen. Dit effect wordt echter deels teniet gedaan door de toename in getijslag, de verkorting van de looptijd van de getijgolf en door zeespiegelstijging.

De noodzaak van het onderhoudsbaggerwerk toont aan dat er een relatief overschot aan sediment is (Storm e.a., 1995). Na de komende verdieping zal de baggerhoeveelheden en dus het relatieve overschot toegenomen zijn. Verondersteld wordt dat de baggerhoeveelheid verminderd kan worden als er minder sediment beschikbaar is rond de bagger-locaties en als er minder overschot is. Qua beheer zijn er twee maatregelen te bedenken, namelijk: zandwinning rond de bagger-locaties en vergroting van de afstand tussen bagger-locatie en stort-locatie. Een andere oplossing is kombergingsvergroting, waardoor het de mate van "uit evenwicht zijn" verminderd.

3.2 Lopend onderzoek

Bij het RIKZ wordt in samenwerking met directie Zeeland het morfologisch gedrag van drempels onderzocht. Bij dit onderzoek zijn in een verkennende studie (Tank, 1995) de waargenomen fenomenen en maatgevende processen onderscheiden. Vastgesteld is dat er drie typen drempels te onderscheiden zijn: het ontwijkende geulen-type, het botsende geulen-type en het parallelle geulen-type. Door het baggerwerk zijn de drempels in het oostelijk deel van de Westerschelde van het botsende geulen-type overgegaan naar het ontwijkende geulen-type, met name sinds het begin van de jaren '70. De westelijke drempels zijn van botsende geulen-type overgegaan in parallelle geulen-type. Het gedrag van drempels is aan de hand van enkele hypothesen verklaard. In de vervolgstudie (Tank, 1996^a) worden relaties gelegd met de waterbeweging, welke analoog zijn aan de morfologie van meanderende rivieren. Het gedrag van banken in rivieren wordt vergeleken met het gedrag van drempels in estuaria. Verder zijn relaties geanalyseerd tussen geulparameters en getijparameters (Tank, 1996^b). De geformuleerde hypothesen en relaties zullen worden getoetst aan de hand van specifieke veldmetingen uit oktober 1995 en maart 1996.

Bij de directie Zeeland wordt onderzoek uitgevoerd naar de rol van kortsluitgeulen in het estuarium. In het midden en westelijke deel van de Westerschelde zijn kortsluitgeulen van belang voor de morfologische veranderingen. Zo kan het ontstaan en uitbreiding van een kortsluitgeul de hoofdstroom aanzienlijk beïnvloeden, waardoor het getijvolume met 10 - 15 % kan afnemen (Jeuken, 1996). Vooral in het westelijke deel dragen kortsluitgeulen bij aan de geometrie van drempels in de hoofd eb- en vloedgeulen. Dit wordt onderzocht aan de hand van:

- * een coherentie analyse van het morfologisch gedrag sinds 1955
- * bepaling van de hydrodynamische condities waaronder kortsluitgeulen ontstaan
- * veldmetingen naar de verandering van de stroming in veranderende kortsluitgeulen.

Het doel van dit onderzoek is het analyseren van de verbanden tussen de hydrodynamica en de morfologie en het onderzoek zal met een dissertatie afgesloten worden.

Bij het RIKZ wordt met behulp van GIS-applicaties de verandering van de Westerschelde sinds 1955 in beeld gebracht. In eerste instantie is dit gedaan op basis van een grove indeling (Uit den Boogaard, 1995), waarbij aandacht besteed is aan de grootschalige inhoudsveranderingen en de zandbalans. De samenhang tussen morfologische veranderingen en de zandbalans vraagt om een vakindeling op basis van lokale morfologische eenheden, welke gekoppeld kan worden aan de waterbeweging. De aanzet hiertoe is gemaakt door Huijs (1996). Met deze gedetailleerde vakindeling met onderscheid tussen platen en geulen is het mogelijk om de ontwikkeling in morfologische elementen (geulen, ondiep water, platen, slikken en schorren) zichtbaar te maken. Voor deze elementen zijn ondertussen de veranderingen bepaald. Alleen de koppeling met de waterbeweging wordt binnenkort gerealiseerd. Hierbij wordt met het TRECOS-pakket systematisch onderzoek uitgevoerd naar de effecten van geometrie-aanpassingen (bijv. door kombergingsveranderingen) op de waterbeweging.

Bij het RIKZ is de zandtransportcapaciteit van de Westerschelde onderzocht. De Westerschelde heeft een hoge zandtransportcapaciteit door de combinatie van een sterke getij stroming en relatief fijn bodemsediment (Storm, 1995). Per getij kan gesuspendeerd zand een afstand van enkele km's afleggen, waarbij de geulen (en geulranden) als transport-aders fungeren. Uit analyse blijkt dat residuele zandtransportpaden beginnen in een geul en eindigen op een (verdiepte) drempel, op een plaat of op een schor. Drempels hebben als knooppunten van hoofd- en nevengeulen een strategische positie bij het transport. Hoge platen en schorren hebben alleen een bergende functie. Het residuele zandtransport is het gevolg van de asymmetrie in de waterbeweging en in de gesuspendeerde sedimentconcentratie, maar wordt ook door golfwerking opgewekt. Door de "overdiepte" bij de gebaggerde drempels wordt het residuele zandtransport in de richting van de drempel versterkt (uit schattingen volgt 5 - 30 % ten opzichte van het totale zandtransport voor een geul in evenwicht).

Bij het RIKZ wordt onderzoek gedaan naar de gevolgen voor de ecologie van inrichtings- en beheersmaatregelen. Deze maatregelen grijpen direct en indirect in op de morfologie van de betreffende gebieden, waarbij een deel van de morfologische veranderingen plaatsvinden op de intergetijdegebieden. Huijs (1995) concludeerde uit een analyse van historische geografische data dat het totale plaatareaal met name in het midden en oostelijk deel van de Westerschelde is toegenomen sinds 1931. Verder is het aandeel hoogdynamische plaatdelen sinds de verdieping van de vaargeul verhoogd. Dit laat zien dat niet alleen de omvang en plaats van platen, slikken en schorren, maar ook de aard van het oppervlak zoals hoogte, substraatsamenstelling en -dynamiek van deze gebieden door zulke inrichtings- en beheersmaatregelen kunnen worden beïnvloed. Duiker (1996) heeft de samenstelling en beweeglijkheid (dynamiek) van het substraat als fysische parameters die van belang zijn onderzocht en gekeken naar een verklaring van de ruimtelijke en temporele spreiding van het benthos. Substraatdynamiek is hierbij de morfologische parameter, welke de relatie tussen morfologische ingrepen en het benthos moet leggen. Dit wordt aan de hand van veldwaarnemingen verder geanalyseerd.

3.3 Voorstellen voor nieuw onderzoek

De huidige kennis van waterbeweging en morfologie in gekromde waterlopen betreft vrijwel uitsluitend rivieren van constante breedte (De Vriend, 1996). Aan sterk gekromde estuaria met platen en geulen is nog vrijwel geen systematisch onderzoek gedaan. Anderzijds is er inmiddels een aantal generieke hulpmiddelen beschikbaar om een dergelijk onderzoek aan te pakken, in de vorm van softwarepakketten voor 2D / 3D waterbewegings- en morfologische berekeningen. In combinatie met de veelheid aan gegevens die inmiddels beschikbaar is over het morfologisch gedrag van de Westerschelde moet dit voldoende zijn om een flinke stap vooruit te maken in het doorgronden van dit gedrag en het voorspellen van de toekomstige respons op bijvoorbeeld een gewijzigd bagger- en stortbeleid.

Doel van het onderzoek is te komen tot een werkbaar morfologisch modelconcept voor sterk gekromde estuaria met een aanzienlijk intergetijde-areaal. Dit moet niet alleen leiden tot een gevalideerd model waarmee het waargenomen gedrag van delen van de Westerschelde kan worden weergegeven, maar ook tot voldoende fysisch inzicht om dit model zinvol te kunnen gebruiken voor de voorspelling van de toekomstige morfologische ontwikkeling van dit gebied en van soortgelijke estuaria, onder natuurlijke omstandigheden en bij diepgaand en langdurig menselijk ingrijpen.

In de aanpak spelen wiskundige hydro- en morfodynamische modellen een centrale rol, niet zozeer om de morfologische ontwikkeling van een reëel estuarium in al zijn complexiteit "na te spelen", maar veeleer als hulpmiddel bij het analyseren en interpreteren van het waargenomen systeemgedrag. Op basis van de zo verworven en gevalideerde inzichten worden vervolgens verwachtingen geformuleerd over veranderingen in het gedrag van de Westerschelde op middellange en lange termijn.

3.4 Voorstellen externe deskundigen

Als afsluiting van het aan het project VERDIEP voorgaande project OOSTWEST is een kwaliteitstoets uitgevoerd door een groep externe deskundigen (zie Waterloopkundig Laboratorium, 1996). Naast een terugblik op het OOSTWEST-onderzoek geeft dit rapport een aantal voorstellen voor verder onderzoek. Hieronder worden enkele relevante opmerkingen weergegeven.

- * De in de OOSTWEST-studie verzamelde data en de geformuleerde (kwalitatieve) hypothesen bieden een goede basis voor verdere kwantitatieve studies, die de beperkingen van de empirische aanpak kunnen opheffen.
- * Via de studie is een samenhangend beeld ontstaan van de historische ontwikkeling van de Westerschelde. De verwerkte gegevens vormen een goede basis voor de verdere ontwikkeling van morfologische voorspellingsmethoden.
- * Vastgesteld wordt dat veel vaststellingen of beweringen eerder kwalitatief en/of speculatief zijn dan kwantitatief. Er zijn veel waardevolle data verzameld, maar er is weinig of geen nieuwe theoretische kennis bijgekomen.
- * Het gebruik van de empirische relaties is een effectieve en pragmatische manier van werken in morfologisch onderzoek van estuaria. Bij de huidige stand van de kennis is werken met deze relaties noodzakelijk, omdat de op fysische wetten gebaseerde deterministische modellen nog onvoldoende ontwikkeld zijn om alle praktische problemen op te lossen. De empirische aanpak kan echter wel aangevuld en onderbouwd/ondersteund worden door het gebruik van meer geavanceerde mathematisch-fysische modellen.
- * De interpretatie van de morfo-dynamiek is nu te veel gebaseerd op puntbeschouwingen en empirische evenwichtsrelaties. In het estuarium vinden bovendien voortdurend grote ingrepen plaats, zodat er nauwelijks sprake kan zijn van een natuurlijk systeem in evenwicht. Eerder zal er sprake zijn van langzaam door het estuarium bewegende erosie- en sedimentatiegolven.
- * In het algemeen wordt bij de analyse en de voorspelling van het morfologisch gedrag onvoldoende gebruik gemaakt van wiskundige morfologische modellen. Deze zouden niet zozeer moeten worden ingezet voor het "naspelen" van het systeemgedrag in zijn geheel, als wel voor het analyseren van het waargenomen gedrag, het identificeren van effecten van bepaalde activiteiten en het voorspellen van de effecten van voorgenomen maatregelen.
- * De morfologische voorspellingen worden te veel geconcentreerd op de geulen alleen, zonder voldoende rekening te houden met uitwisselingsprocessen tussen platen en geulen.

3.5 Synthese

Uit het voorgaande blijkt dat het menselijk handelen in de Westerschelde een dominante invloed heeft op de morfologie. Met name de verdieping tussen 1970 en 1975 en het onderhoudsbaggerwerk dat hieruit volgde is sturend geweest voor de ontwikkelingen in het gebied. Het kwantificeren van de invloed van het baggerwerk en de konsekventies hiervan zijn moeilijk aan te geven. Er is wel veel onderzoek uitgevoerd op onderdelen van het morfologisch gedrag en met name het empirisch systeemonderzoek heeft veel inzicht opgeleverd. Maar helaas ontbreekt nog een duidelijk totaal beeld van het estuarium. Op zich zijn er wel ideeën over de effecten, welke veelal gebaseerd zijn op empirische en balansstudies. Geprobeerd moet worden een totaal beeld te krijgen door de bestaande kennis te integreren in mathematisch-fysische modellen.

Als gekeken wordt naar de toekomstige verdieping (welke medio 1996 van start zal gaan) dan zijn een aantal effecten nog onvoldoende in kaart gebracht. Hierbij wordt bedoeld op:

- de voortschrijdende verandering van de geuldoorsneden in relatie met de vaardiepten
- de invloed van de bagger-stort cyclus op het sedimenttransport
- de invloed van de verplaatsing van stort-locaties en zandwin-locaties
- de interactie tussen geulen en platen bij het sedimenttransport
- de interactie tussen geulen en (vooral ecologisch belangrijke) slikken en schorren

Met de genoemde mathematisch-fysische modellen zullen een aantal van deze fenomenen onderzocht moeten worden. Met de modellen in combinatie met specifieke metingen kunnen hypothesen ten aanzien van het morfologisch gedrag getest worden op hun geldigheid. Op deze wijze kan het modelonderzoek bijdragen aan het vergroten van het inzicht in de dominante processen. Beheersvragen, zoals welke stortlocatie gekozen moet worden of waar zandwinning toegestaan kan worden, kunnen dan beter onderbouwd beantwoord worden. Alternatieven kunnen eenvoudiger in de vorm van scenario's gepresenteerd worden.

4. MOGELIJKHEDEN VOOR MORFOLOGISCHE MODELLEN

4.1 Typologie van modellen

Mathematisch-fysische modellen kunnen onderscheiden worden naar het aantal geometrische dimensies die bij de berekening expliciet meegenomen worden (1Dh, 1Dv, 2Dh, 2Dv, Q3D en 3D). Een andere indeling voor morfologische modellen is naar de fysische onderbouwing van het model (gedragsmodel of procesmodel), zoals empirisch modellen, dynamisch-empirisch modellen en volledig dynamische modellen. Tot slot kan er nog onderscheid gemaakt worden naar de morfologische tijdschalen, zoals korte termijn (< 5 jaar), middellange termijn (10 - 50 jaar) of lange termijn (>100 jaar). Dit onderscheid geeft al aan dat er ten aanzien van morfologische modellen verschillende uitgangspunten gebruikt kunnen worden.

De meest gebruikte modellen zijn empirische modellen gebaseerd op empirische evenwichtsrelaties, welke voor een groot aantal estuaria afgeleid zijn (zie bijv. Allersma, 1994). Het eerder genoemde gedragsmodel van Van Kleef (1993) is hier een voorbeeld van. Een verbetering ten aanzien van de fysisch onderbouwing zijn de dynamisch-empirische modellen, waarbij het dynamische gedrag (ten gevolge van de afwijking van het evenwicht) expliciet berekend wordt met een 1D getijmodel (zie bijv. Karssen & Wang, 1991). Het ESTMORF model is hiervan een voorbeeld. Daarnaast bestaan er modellen die gekoppeld aan de waterbeweging het sedimenttransport uitrekenen, op basis waarvan de morfologische veranderingen bepaald worden. Alleen de 1D-toepassing EENDMORF is hiervan een voorbeeld. Deze verschillende typen modellen kennen elk hun eigen mogelijkheden en beperkingen. Hieronder wordt geprobeerd dit uiteen te zetten.

4.2 1D (dynamisch-)empirische modellen

Op basis van empirische relaties tussen de vorm van het estuarium en de grootschalige waterbeweging kan een (morfologisch) evenwichtstoestand van het systeem afgeleid worden. Bij een afwijking van dit dynamische evenwicht zal het systeem reageren, waarbij de aanpassingssnelheid van het sedimenttransport afgeleid kan worden uit de sedimentbalans. Bij dynamisch-empirische modellen wordt voor het berekenen van het getijgemiddelde suspensietransport gebruik gemaakt van een geïntegreerde advectie-diffusie vergelijking en voor het bodemtransport wordt gebruik gemaakt van transportformuleringen gekoppeld aan de gemiddelde lokale snelheid. Deze modellen hebben een beperkte geldigheid, omdat de evenwichtsrelaties gebaseerd zijn op de huidige toestand. Bij de evenwichtsrelaties wordt geen onderscheid te maken tussen het systeem eigen gedrag en gedrag door externe forceringen. Veranderingen op de langere termijn kunnen hierdoor moeilijk ingeschat worden. Voordeel van dit soort modellen is wel dat deze makkelijk en redelijk goed gebruikt kunnen worden, met name bij voortzetting van het huidige beheer. Redelijke resultaten zijn mogelijk bij een vakindeling in morfologische eenheden. De toepassing van dit soort modellen ligt op het gebied van de korte termijn advisering. Problemen ontstaan vaak bij aanpassing van het huidige beheer, bij verandering van externe forceringen en morfologische aanpassingen op de langere duur.

4.3 1D dynamische modellen

Dynamische modellen maken gebruik van de opgetreden waterbeweging met hieraan gekoppeld het sedimenttransport. Het suspensietransport wordt opgelost met een advectie-diffusievergelijking en het bodemtransport met een transportformulering op basis van de lokale stroomsnelheid. De bodemverandering wordt met een morfologische tijdstap (bijv. een getijperiode) aangepast. Door de kleine tijdstappen en de lange tijdschalen waarop morfologische processen spelen is de kans aanwezig dat verstoringen sterk doorspelen in het eindresultaat. Dit soort modellen zijn met name geschikt voor het analyseren van veranderingen op de korte termijn tot middellange termijn. Er treden echter regelmatig problemen op met de numerieke stabiliteit van dit soort modellen.

4.4 2D/3D dynamische modellen

Bij 2D en 3D volledig dynamische modellen vindt er een directe koppeling plaats tussen de meerdimensionale stromingseffecten en het sedimenttransport. Met name in estuaria treden er ingewikkelde stromingspatronen op in bochten, op drempels, en door gekromde geulen en platen. Ook het sedimenttransport is hiervan afhankelijk. Door expliciete berekening van de stroming en hieraan gekoppelde sedimentbeweging kunnen deze meerdimensionale effecten meegenomen worden. Het onderscheid in de kwaliteit de resultaten van 2D modellen en 3D modellen is afhankelijk van het belang van de derde dimensie binnen de lokale geometrie, met name in relatie met het sedimenttransport. Dit wordt vooral zichtbaar bij een ingewikkelde geometrie, zoals een drempel in een estuarium. De toepassing van dit soort modellen gebeurt met name bij onderzoek naar initiële veranderingen in estuaria en bij fundamenteel onderzoek voor de opbouw van proceskennis. Het probleem is vaak de grote rekencapaciteit die nodig is en de verwerking en de interpretatie van de grote hoeveelheid modelgegevens.

Binnen 2D modellen kan door speciale berekeningsmethoden voor de ontbrekende dimensie rekening gehouden worden met invloeden in de verticale richting (de zogenaamde 2½ D modellen). Een voorbeeld hiervan is de berekening van de secundaire stroming aan de hand van het lokale waterstandsverhang.

4.5 Mogelijkheden en beperkingen

Op de korte termijn zijn alleen de 1D modellen operationeel voor de Westerschelde (ESTMORF en EENDMORF). Hiermee kunnen globale berekeningen van de morfologische dynamiek uitgevoerd worden. Gekeken kan worden naar de effecten van autonome processen zoals zeespiegelstijging of naar menselijk ingrijpen zoals zandwinning en baggeren/storten. Echter voorspellingen op het detailniveau van geulmigratie, plaatopbouw en dergelijke kunnen niet gedaan worden.

In de nabije toekomst moeten de 2D en/of 3D modellen beschikbaar komen, waarmee deze detailberekening uitgevoerd moeten kunnen worden. In eerste instantie zal er alleen gerekend kunnen worden met het getij-effect. In een latere fase kan ook gekeken worden naar het effect van golven, met name in het mondingsgebied van de Westerschelde. De 2D en 3D modellen hebben echter de beperking dat er op kortere tijdschalen gerekend wordt, welke op zich al met enorme rekentijden gepaard gaan. Hierdoor kunnen geen lange termijn voorspellingen gemaakt worden.

5. VOORSTEL VOOR MODELBOUW

5.1 Beschikbare modellen

Op het gebied van morfologische modellen is bij het RIKZ alleen ervaring opgedaan met 1D modellen. Binnenkort worden het middellange termijn model EENDMORF en het lange termijn model ESTMORF opgeleverd. Deze twee modellen onderscheiden zich onderling door het al of niet dynamische berekenen van de sedimenttransporten. Bij EENDMORF wordt volledig dynamisch gerekend en bij ESTMORF wordt er (semi-)dynamisch gerekend.

Voor meerdimensionale berekening van de morfologie zijn voorsnog geen operationele modellen beschikbaar. De toepassingen, welke voor Rijkswaterstaat uitgevoerd zijn bij het Waterloopkundig Laboratorium, maken gebruik van het DELFT2D/3D systeem. Binnen SIMONA is er wel een sedimenttransport routine onder WAQUA beschikbaar, genaamd WAMORF. Maar afgezien van de acceptatietest met het Keeten-Volkerak model is hiermee geen ervaring opgedaan. In bijlage I zijn de 4 sediment- transport formuleringen weergegeven, welke in WAMORF zitten.

Enige tijd geleden is een haalbaarheidsonderzoek (Duizendstra e.a., 1994) uitgevoerd waarin onderzocht is of binnen DELFT2D en SIMONA dezelfde morfologische module gebruikt kan worden. Gebleken is dat dit wel uitvoerbaar is, maar dat dit met een aanzienlijke inspanning (ook financieel) gepaard gaat. Momenteel wordt onderzocht hoe hier mee omgegaan kan worden.

5.2 Gewenst adviesmodel

Uitgaande van de adviesvragen, welke in hoofdstuk 2 genoemd zijn, is er sterk behoefte aan een meerdimensionaal model, waarmee de morfologische veranderingen op de korte en eventueel middellange termijn berekend kunnen worden. Dit model moet voldoende gedetailleerd kunnen rekenen om de effecten van bochtstromingen, plaat/geul interacties en residuele transporten te kunnen weergeven. Voor de advisering is in eerste instantie een 2D model met (eventuele) berekening van secundaire stroming voldoende. Gedacht wordt aan een morfologisch model op de schaal van het WAQUA-model SCALDIS100, dat de Zeeschelde vanaf Rupelmonde en de Westerschelde tot de IJn Zeebrugge - Westkapelle omvat.

De studies, die met dit model uitgevoerd kunnen worden, zullen in eerste gebruikt worden om "gevoel" voor het model te krijgen. Uit gevoeligheidsonderzoek en vergelijkingen met specifieke metingen kan afgeleid worden wat de maatgevende processen zijn en of deze door het model goed weergegeven worden. Na deze fase kan het model toegepast worden in vergelijkende studies. Zo kan bijvoorbeeld een wijziging in het beheer onderzocht worden door de situatie zonder en met de wijziging door te rekenen. Echte voorspel mogelijkheden worden pas na uitgebreide verificatie mogelijk geacht.

5.3 Gewenst onderzoeksmodel

Ter ondersteuning en ter kalibratie van het voorgestelde adviesmodel is een parallelle ontwikkeling met een volledig 3D onderzoeksmodel gedacht. In dit model kunnen de verschillende hypothesen, welke vanuit het procesonderzoek geformuleerd zijn of nog worden, getest en gevalideerd worden. Tevens kan met een dergelijk model ondersteuning geboden worden aan dit proces- en modelonderzoek. Zo is reeds vanuit het drempelonderzoek aangedrongen op 3D berekeningen van sedimenttransporten. Verder kunnen verbeteringen en uitbreidingen van het adviesmodel gestuurd worden vanuit de ontwikkeling van het 3D model, door bijvoorbeeld parameterisatie van processen ("downgrading").

6. REALISATIE

6.1 Tijdpad

Voor de bouw van een morfologisch adviesmodel voor de Westerschelde in het kader van het project VERDIEP is een voorlopige planning opgesteld. Hierbij zijn een beperkt aantal stappen weergegeven. Deze grove planning zal in overleg met deskundigen nader ingevuld en geconcretiseerd moeten worden. Hiervoor zal een werkgroep opgezet moeten worden.

Voorlopige tijdsplanning

- 1996
- toepassing transportroutine WAMORF voor initieel zandtransport
 - opzet generiek morfologisch model in samenwerking met het RIZA
 - opzetten van strategische samenwerking met het Waterloopkundig Laboratorium
 - toepassing van / ervaring opbouwen met DELFT2Dmor (bijv. project Maasvlakte)
- 1997/1998
- uitwerking van de strategische samenwerking met het Waterloopkundig Laboratorium
 - opzetten van specifieke studies bij Technische Universiteit Delft en Universiteit Utrecht
 - ontwikkeling generiek morfologisch model in samenwerking met het RIZA
 - ontwikkeling specifiek morfologisch model voor de Westerschelde
 - eerste toepassing specifiek morfologisch onderzoeksmodel voor de Westerschelde
- 1999/2000
- uiteindelijke oplevering morfologisch adviesmodel voor de Westerschelde

Zoals uit het bovenstaande blijkt, is er een lange doorlooptijd voorzien. De inschatting is dat er een ontwikkelingstraject van 4 - 5 jaar nodig is voor de oplevering van het adviesmodel. Tussentijds kan er voor de advisering gebruik gemaakt worden van de resultaten van het onderzoeksmodel voor de Westerschelde.

6.2 Organisatie en samenwerking

De ontwikkeling van een morfologisch model voor de Westerschelde zal plaatsvinden in relatie met de ontwikkeling van een generiek morfologisch model onder SIMONA. Dit generiek model is bedoeld voor morfologische berekeningen met betrekking tot rivieren (bij het RIZA in Arnhem), estuaria (bij het RIKZ in Middelbrug) en kusten en zeeën (bij het RIKZ in Den Haag). Voor de coördinatie van deze modelontwikkeling voor de morfologie zal binnen Rijkswaterstaat een werkgroep actief moeten worden. Hierin draait de projectleider voor het Westerscheldemodel mee, samen met de projectleiders voor rivier-, kust- en zee-toepassingen. Ook de projectleider SIMONA*SYS zal hier aan deelnemen.

De ontwikkeling van een generiek morfologisch modelsysteem zal in samenwerking met het Waterloopkundig Laboratorium opgezet moeten worden. Eerder is al een haalbaarheidsstudie verricht naar de mogelijkheid om de morfologische modules van DELFT2D in SIMONA te plaatsen. Deze samenwerking zal niet alleen deze omzetting moeten bevatten, maar ook de verdere ontwikkeling van het morfologisch (model)onderzoek. Hiervoor zal onder regie van een gezamenlijke stuurgroep een duurzame samenwerking opgezet moeten worden.

Naast het project VERDIEP wordt er ook vanuit het project KUST*2000 gewerkt aan de Westerschelde en dan met name aan het mondingsgebied. De verdieping zal zich voortzetten in het mondingsgebied (o.a. in de Wielingen), dus is het vrij logisch als het morfologisch model ook het mondingsgebied zal omvatten. Binnen KUST*2000 zal gekeken worden naar de verbetering van de kustverdediging en de mogelijke reductie van de kustsuppleties. Verder wordt er in het project INR*EST gekeken naar de morfologische ontwikkeling in relatie met habitat-typen en ecologische potenties. De resultaten van het toekomstige morfologische model kunnen hierbij gebruikt worden.

Tot slot vindt er in het project DYNASTAR ontwikkeling van de kennis en prognosetechnieken op het gebied van morfologie en sediment-transport in estuaria plaats. Vanuit de disciplines waterloopkunde, morfologie en sedimentologie worden bijdragen geleverd aan verschillende adviesprojecten. De ontwikkeling van een morfologisch adviesmodel voor de Westerschelde kan profiteren van de kennisopbouw binnen DYNASTAR. Maar de ontwikkeling van een model voor de Westerschelde zal ook bijdragen aan de opbouw van meer algemene kennis over estuaria. De kennis ontwikkeling zal in samenwerking met de kennis-instituten en de universiteiten uitgewerkt worden. In paragraaf 3.3 is hier al een voorbeeld van gegeven.

6.3 Financiële en personele planning

De kosten van de ontwikkeling van het Westerschelde-model zullen betaald moeten worden uit verschillende projecten, zoals VERDIEP (40%), KUST*2000 (25%), DYNASTAR (25%) en SIMONA*SYS (10%). De versleuteling in percentages is een eerste inschatting en is bedoeld voor de gedachtenvorming. Daarnaast zal de ontwikkeling van een generiek morfologisch model binnen het project SIMONA*SYS een investering kosten van 500 - 750 kfl. De financiering hiervan zal eveneens door de verschillende (toekomstige) gebruikers opgebracht moeten worden.

De ontwikkeling en toepassing van het morfologische model voor de Westerschelde kan deels in huis (bij de afdelingen OSF en ABD) plaatsvinden, maar zal ook deels extern (bij EDS en WL) uitgevoerd worden. Verwacht wordt dat de ontwikkeling van de modellen extern plaatsvindt. De eerste toepassing zal, in nauwe samenwerking met de externe ontwikkelaars, door de onderzoekers bij het RIKZ moeten plaatsvinden. De toepassing van het uiteindelijke adviesmodel moet volledig binnen het RIKZ kunnen plaatsvinden. Hierbij wordt overigens wel een samenwerking met de regionale beheerder voorzien. Ter ondersteuning van de ontwikkeling van het adviesmodel wordt er een 3D morfologisch model gebouwd. Dit zal echter een onderzoeksmodel blijven, dat alleen door de externe ontwikkelaars en de onderzoekers bij het RIKZ gebruikt zal worden.

De inschatting van de randvoorwaarden is nog zeer moeilijk te maken, aangezien het ontwikkelingstraject nog niet duidelijk is. Als eerste schatting wordt de volgende randvoorwaarden gegeven. Deze schatting is echter alleen gericht op de ontwikkeling van een model voor de Westerschelde.

Personele en financiële planning

	personeel [weken]		financieel [kfl]	
	OSF	ABD	intern	extern
1996	25	10	100	-
1997	50	20	150	200
1998	50	20	150	200
1999	50	20	100	200

De personele inbreng van OSF (vooral OSFD) en ABD is aanzienlijk. De vraag is of dit wel reëel is, gezien de huidige bezetting. Op dit punt wordt een aanzienlijk knelpunt verwacht. De interne financiering is de bijdrage van het RIKZ aan dit project. De externe bijdrage moet door de regionale beheerder ingebracht worden.

7. REFERENTIES

E. Allersma (1994)

Geulen in estuaria, 1-D modellering van evenwijdige geulen, Waterloopkundig Laboratorium, H 1828, in opdracht van Rijkswaterstaat, directie Zeeland en dienst Getijdewateren, februari 1994.

L.A. uit den Boogaard (1995)

Resultaten zandbalans Westerschelde 1955 - 1993, Universiteit Utrecht, Instituut voor Marien en Atmosferisch Onderzoek, R 95-08, in opdracht van Rijkswaterstaat, RIKZ, project Oostwest, februari 1995.

J.M.C. Duiker (1996)

Substraatdynamiek als schakel tussen morfologie en ecologie, Rapport vooronderzoek DYNASTAR*ECOMOR, Universiteit Utrecht, Instituut voor Marien en Atmosferisch Onderzoek, R 96.03, in opdracht van Rijkswaterstaat, RIKZ, project DYNASTAR, maart 1996.

H.D. Duizendstra, F.C. Groenendijk, J. Lander, J.A. Roelvink, A. Staakman & Th.L. van Stijn (1994)
Haalbaarheidsonderzoek naar het overzetten van morfologische programmatuur van DELFT2D naar SIMONA, Rijkswaterstaat, RIKZ in samenwerking met ICIM, RIZA en WL, werkdocument RIKZ/OS-94.133X, juni 1994.

S.W.E. Huijs (1995)

Geomorfologische ontwikkeling van het intergetijdegebied in de Westerschelde 1935-1989, Universiteit Utrecht, Instituut voor Marien en Atmosferisch Onderzoek, R 95-03, in opdracht van Rijkswaterstaat, RIKZ, 1995

S.W.E. Huijs (1996)

De ontwikkeling van morfologie in de Westerschelde in relatie tot de waterbeweging en menselijke ingrepen 1955-1994, Universiteit Utrecht, Faculteit der Ruimtelijke Wetenschappen, vakgroep Fysische Geografie, in opdracht van Rijkswaterstaat, RIKZ, project MOS, februari 1996

M.C.J.L. Jeuken (1996)

Hydrodynamics of connecting channels in the Westerschelde Estuary (The Netherlands), abstract for the International Conference of Coastal Engineering, 1996, Orlanda, Florida.

S.A. de Jong, E. Turkstra, F.L.G. de Bruijckere, N.L. Houtekamer & L.L.P.A. Santbergen (1995)

Beheersvisie AXW 1996 t/m 2000, Beheren: Inzien is vooruitzien, Rijkswaterstaat, directie Zeeland, nota AX 95.063, concept, december 1995.

B. Karssen & Z.B. Wang (1991)

Morphological modelling in estuaries and tidal inlets, Part I: a literature survey, Delft Hydraulics, Z743, prepared for Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, december 1991.

A.W. van Kleef (1993)

Empirisch-morfologisch model voor het Schelde estuarium, Rijkswaterstaat, directie Zeeland, nota NWL 93-18, april 1993.

A. Langerak (1989)

Ontwikkeling algemeen morfologisch zandmodel voor kustwateren en estuaria, Rijkswaterstaat, DGW, notitie GWA0-89.1325.

R.C. Stelijn & G. Hartsuiker (1992)

Morphodynamic response of a tidal inlet after a reduction in basin area, Delft Hydraulics, Report H840.40, in opdracht van Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, Coastal Genesis Project, august 1992.

C. Storm (1995)

Residuele zandtransporten in de Westerschelde, Rijkswaterstaat, RIKZ, project Oostwest, concept werkdocument 95....x, maart 1995.

C. Storm, J. Vroon, L.A. uit den Boogaard & S.W.E. Huijs (1995)

Morphological changes in the Westerschelde estuary as a result of channel deepening. Relevance for Estuarine Management, ECSA 25, september 1995, Dublin, Ireland.

F.T.G. Tank (1995)

Het gedrag van drempels in de Westerschelde, Een verkennende studie, Universiteit Utrecht, Instituut voor Marlen en Atmosferisch Onderzoek, R 95-18, in opdracht van Rijkswaterstaat, RIKZ en directie Zeeland, augustus 1995.

F.T.G. Tank (1996^a)

Het gedrag van drempels in de Westerschelde, Literatuurstudie en hypothesen, Universiteit Utrecht, Instituut voor Marien en Atmosferisch Onderzoek, in opdracht van Rijkswaterstaat, RIKZ en directie Zeeland, maart 1996.

F.T.G. Tank (1996^b)

Het gedrag van drempels in de Westerschelde, Parameterisatie, Universiteit Utrecht, Instituut voor Marien en Atmosferisch Onderzoek, in opdracht van Rijkswaterstaat, RIKZ en directie Zeeland, maart 1996.

H.J. de Vriend (1996)

Stroming en Morfologie in sterk gekromde Estuaria, Concept projectvoorstel, Technische Universiteit Delft, Faculteit der Civiele Techniek.

Waterloopkundig Laboratorium (1996)

Kwaliteitsstoets OOSTWEST; Westerschelde, rapportage expert commissie, Waterloopkundig Laboratorium, Z1021, maart 1996.

Z.B. Wang, T. Louters & H.J. de Vriend (1995^a)

Morphodynamic modelling for a tidal inlet in the Wadden Sea, Marine Geology, 126, 289-300.

Z.B. Wang, R.J. Fokking, M. de Vries & A. Langerak (1995^b)

Stability of river bifucations in 1D morphodynamic models, Journal of Hydraulic Research, 33, 6, 739-750.

Interview Tom Pieters

van: RIKZ, afdeling ABD

datum: 18 januari 1996

Stand van Zaken

Tom Pieters is betrokken geweest bij de opzet en uitvoering van het project OOSTWEST. Bij dit project is met name gekeken naar de invloed van het baggerwerk op de morfologische ontwikkeling. Vastgesteld is dat in het oostelijk deel van de Westerschelde de veranderingen volledig door het baggerwerk gestuurd worden. In het middendeel worden de veranderingen voor een deel door het baggerwerk gestuurd, naast de natuurlijke ontwikkeling. In het westelijk deel van de Westerschelde is de natuurlijke ontwikkeling dominant.

Huidige Problemen

Tijdens de pilot-studie voor het project OOSTWEST zijn er een aantal hypothesen opgesteld over de relaties tussen menselijke ingrepen en de ontwikkeling van het estuarium. Binnen het morfologisch onderzoek is ten aanzien van de onderbouwing hiervan niet voldoende resultaat bereikt. De aanbevolen veranderingen in het stort- en zandwinbeleid zijn nauwelijks onderbouwd. Ook kon aan het eind van het project OOSTWEST niet met zekerheid gezegd worden dat vergroting van de komberging door ontpolderen bijdraagt aan een beperking van het baggerwerk. Het inzicht in de lange termijn gevolgen van verdergaande verdiepingen is niet verbeterd.

Urgente vragen

De vraag die blijft staan is: Hoe zit het systeem in elkaar? Er is sterk behoefte aan conceptontwikkeling voor het totale systeem. De interactie tussen verschillende aspecten is nog niet duidelijk, zoals de gevolgen op de langere termijn van verdere verdiepingen met bijbehorende stort-activiteiten.

Gewenste ontwikkeling

Er is momenteel geen generiek voorspelmodel voor de Westerschelde beschikbaar. Er zijn mogelijkheden tot gedragsmodellering, zoals met MEMO-SE en MOS. De gedachte volgens Tom Pieters is om het probleem in te sluiten. Wat zijn de transporten aan de randen van het systeem? Hoe verdelen deze transporten zich binnen het systeem? Hoe verdeelt het sediment zich tussen geulen en plaatgebieden?

Het hydraulisch/morfologisch hoofdsysteem is betrekkelijk stabiel en heeft nog weinig vrijheidsgraden over, mede door het op overdiepte onderhouden van een deel van het hoofdgeulensysteem. Dit moet op dit niveau te modelleren zijn in een "gedrags"-model.

Reële mogelijkheden

De verwachting is dat een betrouwbaar generiek voorspelmodel voor de Westerschelde op de termijn van 3 - 5 jaar niet beschikbaar komt. Binnen deze termijn wordt er wel resultaat verwacht met de gedragsmodellering. Op beide terreinen moet je echter actief blijven!

Interview Kees Storm

van: RIKZ, afdeling OSFD

datum: 19 januari 1996

Stand van Zaken

Kees Storm is met name actief op het gebied van de "veldmorfologie". Vanuit de waarnemingen wordt geprobeerd de verschijnselen te beschrijven. Binnen OOSTWEST heeft hij meegewerkt aan de interpretatie van de grootschalige morfologische veranderingen onder invloed van het baggeren en storten. Hierbij zijn meetcampagnes uitgevoerd met aandacht voor de debietverdeling, het zandtransport en de bodemopbouw. De bevindingen vanuit het project OOSTWEST zijn onder andere gebundeld in een artikel (Storm e.a., 1996).

Naast de grootschalige veranderingen werkt Kees Storm aan onderzoek naar de achteruitgang van slikken en schorren door erosie. Er is een inventarisatie in het buitenland gedaan (Engelse oostkust, Amerikaanse oostkust) naar de mogelijkheden van nieuwbouw van schorren, variabele kustverdediging en het gebruik van erosie-beperkende maatregelen.

Tot slot werkt Kees Storm mee aan verbetering van meetmethodieken ten aanzien van de morfologie, zoals de verwerking van lodingsgegevens. Door middel van de toepassing van remote sensing wordt gewerkt aan verbetering van hoogtemetingen in het intergetijdegebied en aan de identificatie van substraatsamenstelling.

Huidige Problemen

Momenteel treedt er grootschalige erosie van schorren op (langs 70 - 80 % van de schorranden). De vraag is of dit komt door zeespiegelrijzing of doordat de Westerschelde met zijn verdiepte geulen in een beperkte ruimte vastgelegd ligt. Momenteel wordt er gezocht naar de meest waarschijnlijke verklaring.

Urgente vragen

Hoe kom je aan goede gegevens? Er is namelijk relatief veel gemeten, maar niet altijd in relatie met het meest dominante proces. Voor de bepaling van meetlocaties, meetfrequentie en nauwkeurigheid zijn goede hypothesen nodig, die het verwachte proces beschrijven. Met een beter gebruik van GIS kunnen de beschikbare data beter toegankelijk gemaakt worden. Een nadeel is wel dat door de vele mogelijkheden het gevaar voor vastlopen in grote databestanden in het onderzoek is toegenomen ("information overload")

Gewenste ontwikkeling

Het Westerschelde-systeem moet in meer detail onderzocht worden. Tijdens OOSTWEST is een indeling oost - midden - west gehanteerd. Nu moet de stap naar het meso-niveau gemaakt worden, naar de schaal van platen en geulen (zoals in MOS, gekoppeld aan de lokale hydrodynamica). Hierbij kan de erosie van schorren beter geanalyseerd worden. Daarnaast is ook aandacht nodig voor veranderingen op micro-schaal, zoals de substraat dynamiek. Momenteel wordt hier al onderzoek aangedaan in relatie met de ecologie (uitbesteed aan de Universiteit Utrecht, uitgevoerd door Macro Duiker).

Reële mogelijkheden

Hierbij wordt gedacht aan de toepassing van ESTMORF en een 2D/3D model

Interview Ad Langerak

van: RIKZ, afdeling OSFD

datum: 19 januari 1996

Stand van Zaken

Ad Langerak werkt mee aan verschillende ontwikkelingen op het gebied van morfologische modellen. Zo loopt er de ontwikkeling van ESTMORF en EENDMORF bij het Waterloopkundig Laboratorium. ESTMORF is een model, dat op basis van ééndimensionale, getijgemiddelde transporten en empirische relaties de morfologische verandering van een estuarium voorspelt. Dit model is ontwikkeld in het kader van het project DYNASTAR. In opdracht van directie Zeeland is het model EENDMORF ontwikkeld. Dit model berekent op basis van ééndimensionale, getij-afhankelijke debieten de directe morfologische veranderingen (binnen SOBEK).

De modellen zijn qua interne respons sterk afhankelijk van de randvoorwaarden. In samenwerking met Arnold Heemink (TU Delft) wordt er o.a. gewerkt aan de relatie tussen de randvoorwaarden en de oplossing. Dit wordt uitgevoerd door een AIO-er Karin de Jong. Over de stabiliteit van splitsingspunten is in samenwerking met enkele WL-medewerkers een artikel geschreven (Wang e.a., 1996)

Huidige Problemen

Bij de afregeling van modellen is een betere transport formulering nodig. Verder blijft de stabiliteit een punt van zorg. Ook zijn er onvoldoende gegevens voor de afregeling, met name op de oevers boven 0.0 m N.A.P.

De kennisvraag over "hoe functioneert het systeem?" moet opgelost worden om te kunnen komen tot een model-parameterisatie. Voor de schatting van coëfficiënten in de modellen moet er voldoende fysische basis zijn in de vorm van theoretische kennis en meetgegevens.

Urgente vragen

Er is behoefte aan een 3D model. Hiervoor moet echter onderzocht worden of er een goede fysische beschrijving van de transporten beschikbaar is. Als voorbeeld kan er gekeken worden naar het transport van gegradeerd materiaal in meanders van rivieren.

Naast deze fysische vragen blijft de vraag naar de stabiliteit van de 2D en 3D modellen staan. Er moet gezocht worden naar processen, die stabiliserend werken op de oplossing van een model, zoals bijvoorbeeld het toevoegen van meer viscositeit of het 'down slope' effect.

Gewenste ontwikkeling

Een team van deskundigen van Rijkswaterstaat, Waterloopkundig Laboratorium en Technische Universiteit Delft moeten een inventarisatie maken van de blinde vlekken ten aanzien van morfologisch modellen. Vanuit de theoretische kennisontwikkeling moet geprobeerd worden deze gaten te vullen.

Reële mogelijkheden

Het onderzoek naar de dynamiek van drempels, uitgevoerd door Fred Tank, geeft goed inzicht in het effect van menselijk handelen in een estuarium. Door de uitgebreide meetcampagne komt er veel materiaal beschikbaar voor de afregeling van modellen. Het onderzoek van Claire Jeuken geeft inzicht in het belang van kortsluitgeulen. De vraag hierbij is hoe ze ontstaan en verdwijnen en wat het belang is voor de grootschalige dynamica.

De voorkeur gaat uit naar een volledig opgetuigd 3D model in plaats van een serie koppelingen tussen modellen. De noodzakelijke detaillering kan geleverd worden door in een globaal model een detailmodel te nesten. Ervaring kan opgedaan worden met wat speelmodellen, zoals van Karin de Jong. Daarnaast is ESTMORF en SUTRENCH beschikbaar. Het voordeel van een 3D model is, dat de oplossing minder afhankelijk is van de empirische coëfficiënten in het model. Er kan dus minder gerommeld worden!

Interview Onno van Kleef en Paul Sijstermans
van: directie Zeeland, afdeling Rivierkunde (NWL)
datum: 26 januari 1996

Stand van Zaken

De directie Zeeland is nauw betrokken bij de ontwikkelingen in de Westerschelde. De vergunning voor het baggerwerk in vaargeulen en in havens wordt door haar verstrekt. Momenteel ligt de verdieping van de Westerschelde naar 48 ft. vastgelegd in een verdrag met Vlaanderen. Dit verdrag moet nog door de Tweede en Eerste Kamer behandeld worden. Na goedkeuring kan de verdieping starten. De vergunning die dan afgegeven wordt is geldig tot eind 2000. Er kunnen in de tussentijd alleen marginale veranderingen in de vergunning opgenomen worden op basis van de monitoring en niet van voorspellingen.

Huidige Problemen

Bij de keuzes ten aanzien van het onderzoek in de Westerschelde heeft de invloed van het menselijk handelen de nadruk gekregen. De vraag naar de reactie van het natuurlijke systeem is een beetje blijven staan. Dit is tot uiting gekomen in de discussie over kombergingsvergroting in relatie met de baggerhoeveelheden. Het verhaal vanuit RIKZ was toen gericht op de positieve effecten op de lange termijn, terwijl vanuit directie Zeeland vraagtekens gezet worden bij de korte termijn. Bij een dergelijk verhaal is er behoefte aan overeenstemming van de belangen. Uit het bovenstaande blijkt een verschil in denken ten aanzien van effecten.

Urgente vragen

Momenteel is het terugdringen van de baggerintensiteit gekozen als beleidsuitgangspunt. Maar de vraag is wat slechter is voor het systeem: een intensieve, kleinschalige circulatie of een geringe, grootschalige circulatie. Door de nu voorgesteld verschuiving van de stort-locaties naar het westelijk deel van de Westerschelde wordt een groter gebied beïnvloed door menselijk handelen. De effecten op de verschuiving van de geulen is nog niet bekend.

Daarnaast speelt de vraag naar het effect van zandwinning. Al enkele decennia vindt er winning van zo'n 2.500.000 m³/jaar plaats. De vraag is wat de invloed hiervan is op het termijn, aangezien dit een éénrichtingseffect is. Wat is het effect op platen, slikken en geulen en op de waterbeweging/waterstand op termijn? Er ontstaat een verstelling van het estuarium met grote ecologische effecten. Er is alleen geen instrument beschikbaar om de effecten op bijvoorbeeld de visserij of de ecologie af te schatten.

Gewenste ontwikkeling

Er is een sterke behoefte aan morfologische modellen. Een eerste stap is ESTMORF, dat met name voor de kennisontwikkeling van belang is. Dit instrument wordt niet reëel geacht voor beleidsvragen, met name door de vastlegging van geulen in het model. Vanuit de ecologie zijn er veel vragen naar de morfologische ontwikkeling. De kennisontwikkeling moet zich gaan richten op meerdimensionale morfologische modellen.

Vanaf 1998 is een aanpassing van het zandwinbeleid mogelijk. Hiervoor moet eind 1996 al een voorstel gemaakt worden. Op dat moment moet enig inzicht bestaan in het effect van zandwinning op de ontwikkeling van het estuarium.

Rond de verdieping kunnen alleen aanpassingen gedaan worden in de vorm van alternatieven. Vanuit het drempel onderzoek kan mogelijk iets gedaan worden. Na afronding van de verdieping wordt er een nieuwe vergunning voor baggeren en storten opgesteld. Aan het eind van 1999 zijn dan nieuwe voorspellingen nodig op basis waarvan het nieuwe beleid geformuleerd kan worden. Momenteel zijn de effecten van de grootschalige verdieping op het totale systeem nog niet duidelijk.

De vraag blijft: Hoe vertaal je modelresultaten naar concrete advisering?

Beheersvisie AXW 1996 t/m 2000

van: directie Zeeland, afdeling integraal waterbeheer (AXW)
in: De Jong e.a. (1995)

Doelstelling

Vanuit de hoofddoelstelling van de Derde Nota Waterhuishouding worden de beheersvragen afgeleid. Hierbij worden (toekomstige) conflicten tussen natuur- en gebruiksfuncties in beginsel gewogen vanuit een watersysteembrede benadering (opzet Vierde Nota Waterhuishouding). Gelijktijdig wordt in de Ecosysteemvisie Delta gesteld dat de hoogste prioriteit gegeven moet worden aan de samenhang in het deltagebied en aan behoud en herstel van estuaria.

Visie op ecosysteemontwikkeling

Door de veranderde begrenzingen tengevolge van menselijke ingrepen is de van nature aanwezige morfologisch/hydraulische dynamiek in de watersystemen Grevelingenmeer, Veerse Meer en Oosterschelde afgenomen en in de Westerschelde juist toegenomen. De vroeger aanwezige grootschalige, geleidelijke overgangen van zoet naar zout zijn grotendeels verdwenen. Alleen in de Westerschelde zijn ze nog te vinden. Kleinschalige overgangen van land naar water staan in alle watersystemen onder druk. De beheersplannen die zijn opgesteld zijn vooral gericht op het herstellen en/of instandhouden van het karakter wat het betreffende watersysteem opgelegd werd (zout, brak of zoet).

De nog jonge ecosystemen ontwikkelen zich nog steeds. Extra veranderingen in de fysische en chemische factoren vertalen zich direct door in het biologisch systeem. De effecten van het menselijk ingrijpen worden overwegend als ongewenst beoordeeld. Problemen voor de beheerder ontstaan wanneer de ecologische kwaliteit van het gebied, en daarmee het duurzaam functioneren ervan, aangetast wordt. Toch is het samengaan van mens en natuur op een ecologisch verantwoorde wijze mogelijk. Natuurontwikkeling is geen kwestie van een stap terug doen. Het is een stap vooruit. Geef de delta ruimte, gun haar de tijd en laat de nodige dynamiek toe.

Toekomstig Beleid

Voor het realiseren van de gewenste toestand moeten allereerst de huidige, negatieve ecosysteemontwikkelingen geneutraliseerd worden. Voor alle watersystemen geldt dan dat het (opnieuw) toelaten van ruimte voor dynamiek en ecologische processen een eerste stap is. Als de koers voor natuurherstel is ingezet op behoud van natuurlijke processen (lange termijn strategie) is het zaak dit vast te houden. Tijd is belangrijk voor ecologische ontwikkeling.

Om een evenwichtig beleid voor het hele deltagebied op te stellen dient als eerste:

- * een integraal watersysteem-breed streefbeeld opgesteld te worden, waarin de volledige reeks van gebruiksfuncties en natuurlijke habitats vertegenwoordigd is.

De huidige streefbeelden voor de verschillende watersystemen dienen kritisch bekeken te worden:

- * Het eerste aandachtspunt wordt het zoveel mogelijk concreet maken en eventueel bijstellen van streefbeelden.

Er wordt (voorlopig) uitgegaan van handhaven van de huidige compartimentering en getijsituatie:

- * Het optimaliseren van karakteristieke kenmerken per watersysteem is het tweede aandachtspunt.
- * Als derde aandachtspunt het uitwerken van een integraal streefbeeld per watersysteem, waarbij als randvoorwaarde geldt dat economie en ecologie elkaar, waar mogelijk, versterken.

De mogelijkheden voor het duurzaam functionerend watersysteem zijn bepalend voor het menselijk gebruik ervan en dus is het nodig dat:

- * Het bestuurlijk draagvlak vergroten door (interactief) betrekken van betrokkenen en belanghebbenden bij de beheersproblemen.

Interview Zheng Bing Wang en Han Winterwerp

van: Waterloopkundig Laboratorium

datum: 9 februari 1996

Stand van zaken

Bij het Waterloopkundig Laboratorium is grote ervaring opgebouwd met morfologische modellen. Deze ervaring is deels gebaseerd op onderzoek in opdracht van Rijkswaterstaat. Onlangs is er een integratie uitgevoerd tussen de verschillende WL-modellen, wat geresulteerd heeft in het 2DH model DELFT2DMOR (onderdeel van DELFT2D/3D). Dit is een morfologisch model dat zeer volledig opgetuigd is met getijdebeweging, golven, golfgedreven stroming en morfodynamica.

Het model DELFT2DMOR is toegepast op het Friesche Zeegat in het kader van het Kustgenese-onderzoek. Door Wang e.a. (1995^a) is hierover een artikel geschreven. De resultaten zijn zeer bevredigend te noemen gezien de moeilijkheidsfactor voor morfologische berekeningen. Bij deze toepassing is echter zonder golven gerekend. Er zijn ook initiële berekeningen uitgevoerd door Steijn & Hartsuiker (1992) met een veel fijner model en met de golfeffecten meegenomen.

Vraag in het kader van VERDIEP

In het kader van de VERDIEP wordt er onder andere onderzoek gedaan naar het gedrag van drempels. Voor nadere analyse is een lokaal 3D-model nodig, waarmee de stroming rond de drempel goed beschreven kan worden. Koppeling met een zandtransportmodel levert vervolgens het initieel transport.

Er worden bij dit plan wel wat kanttekeningen geplaatst. Let op:

- hoe definieer je de randvoorwaarde?
- het effect van demping van de turbulentie door de suspensie-concentratie
- het effect van bodemruwheid en bodemvormen afhankelijk van de stroomrichting
- het effect van hogere harmonische getij-componenten op het residuele transport
- de invloed van golven op het zandtransport, met name op platen
- de plaat-geul uitwisselingen
- hoe kalibreer je zo'n model?

Toepasbaarheid en beperkingen ten aanzien van de modellering

Voordat een morfologisch model voor het project VERDIEP verder opgezet kan worden, moeten er een aantal essentiële keuzes gemaakt moeten worden. Is het nodig om volledig gekoppeld (koppeling waterbeweging - zandtransport - morfodynamica) te rekenen of juist ontkoppeld? En wat is het doel van de modellering: inzicht in het autonome gedrag of simulatie van de menselijke beïnvloeding en de effecten hiervan? Op een wat grovere schaal kun je je afvragen wat je wilt: een "weersmodel" of een "klimaatmodel"?

De tijdschalen in het morfologische model worden bepaald door het zandtransport. Doorgaans wordt verondersteld dat het zandtransport lokaal aangepast is aan de stromingscondities. In een uitgebreid model geldt dit alleen voor het bed load transport. Het suspensief transport kan opgelost worden met een advectie-diffusie model. Dit kan met een 3D-model of met een 2DH-model met uitbreidingen. Dit laatste is onder andere uitgewerkt door Galappatti en toegepast door Wang.

Complicaties bij de berekening van zandtransport is de aanwezigheid van slib in het zand. Dit geeft duidelijk waarneembare interacties. Het ligt in de bedoeling om in de komende tijd hieraan onderzoek te gaan doen. Een STW-aanvraag is hiervoor in voorbereiding.

Inbreng van het Waterloopkundig Laboratorium

Het Waterloopkundig Laboratorium wil graag samenwerken met het RIKZ op het gebied van de ontwikkeling van morfologische modellen. In het verleden is de ontwikkeling van de WL-modellen ook deels bekostigd met gelden vanuit de Rijkswaterstaat. Voorlopig wacht men de ontwikkelingen af, zoals het overleg over data-assimilatie (de aktie van Gerritsen-WL en Robaczewska-RIKZ).

Interview Huib de Vriend en Zheng Bing Wang

van: Technische Universiteit Delft, vakgroep Waterbouwkunde

datum: 19 februari 1996

Vraagstelling vanuit het project VERDIEP

Voor het project VERDIEP is er behoefte aan een uitbreiding van de morfologische modellen. Tot nu toe is alleen ervaring opgebouwd met 1D-modellen, zoals ESTMORF en EENDMORF. Hiermee kunnen alleen globale veranderingen in beeld gebracht worden en met name ten aanzien van de lange termijn morfologie. De behoefte is om te komen tot meerdimensionale modellen.

De beoogde toepassing van deze meerdimensionale modellen is ten aanzien van de korte termijn voorspelling voor de advisering van de directie Zeeland. Het gaat hier dan om bijvoorbeeld het lokale effect van baggeren en/of storten op het sedimenttransport in een geul of op een plaat. Maar ook de opbouw van slikken en schorren is hieraan gekoppeld. Verondersteld wordt dat de sterke verlanding het gevolg is van het stortregime in eroderende ebgeulen. In het kader van de Verdieping worden een aantal stort-locaties verplaatst naar het westelijk deel van de Westerschelde. Met een meerdimensionaal model wordt het mogelijk geacht de effecten van deze verplaatsing zichtbaar te maken.

Een ander beheersvraagstuk is het effect van de zandwinning. In de Westerschelde wordt al heel lang zo'n 2.5 milj. m³/jaar zand gewonnen. Het effect hiervan op de hydrodynamica is niet duidelijk. Aan de kustzijde is een zandhonger waarneembaar, maar koppeling met de zandwinning is (nog) niet gemaakt.

Een meer fundamentele vraag wordt vanuit het fenomenologisch onderzoek gesteld. Er wordt bijvoorbeeld onderzoek gedaan naar de morfodynamica van drempels in de Westerschelde. Koppeling met de gemeten en gemodelleerde hydrodynamica is wel mogelijk, maar de bepaling van initiële transporten en de gemodelleerde morfodynamica is nog niet mogelijk.

Reële mogelijkheden

Bij de meerdimensionale modellen kunnen een aantal tekortkomingen aan ESTMORF expliciet onderzocht worden, zoals: uitbochtiging van geulen, verdeling van sediment bij splitsingspunten en het effect van geulverlegging (vrije topografie). Deze mogelijkheden geven gelijk ook beperkingen, aangezien de effecten ook reëel gemodelleerd moeten worden. Hiervoor is een fysische beschrijving nodig, welke nog niet (volledig) beschikbaar is. Aan de hand van experimenten in de praktijk (zoals de verplaatsing van de stort-locaties in de Westerschelde) kan gekeken worden of de modellen voldoen. Dit vraagt overigens expliciete aandacht voor dit fenomeen bij de monitoring van het verdiepingsprogramma.

Een andere mogelijkheid is om de uitkomsten van verschillende modellen te combineren. Zo kunnen er verbanden gelegd worden tussen EENDMORF en ESTMORF. Maar dit kan ook door zogenaamde "downgrading". Hierbij wordt uit berekeningen met een hoger model (met meer modelleer-dimensies) door middel van ruimtelijke middeling resultaten voor een lager model afgeleid. Deze kunnen direct vergeleken worden met resultaten, welke direct uit het lagere model komen. Door "upgrading" (het aanpassen van het lagere model) kan met het lagere model een beter resultaat bereikt worden. Een voorbeeld van dit laatste is de toevoeging van secundaire stroming aan een 2D-model, waardoor een 2½D-model ontstaat. Afregeling van het 2½D model kan dan plaatsvinden aan de hand van 3D-berekeningen en meetgegevens.

Toepasbaarheid en beperkingen

Voor het Friesche Zeegat is in het kader van KUSTGENESE door het Waterloopkundig Laboratorium onderzoek gedaan naar de morfodynamica. Gebleken is dat bij de wiskundige modellering daarvan rekening gehouden moet worden met een aantal aspecten, zoals:

- de geulen vormen een bepaald patroon, dat zich verplaatst en in de tijd evolueert; daarbij verdwijnen geulen en ontstaan er nieuwe
- met name rond de eilandkoppen treden sterke krommingseffekten op (bochtstroming)
- het getransporteerde sediment is voor een belangrijk deel in suspensie; de grootte van het optredende transport wijkt in het algemeen af van de transportcapaciteit.

In een model in twee horizontale dimensies moeten secundaire stroming en vertragingseffekten in het suspensietransport dan ook worden meegenomen.

Het gebruik van 3D-modellen is nog niet operationeel. Binnen RIKZ zijn er momenteel allerlei ontwikkelingen gaande en er staan er nog meer op de rol. Zo kunnen modellen nog niet dynamisch gekoppeld worden (door toepassing van domein-decompositie). De toepassing van 3D-modellen voor morfologische modellering wordt vooral gezien ter verificatie van berekeningen met een 2½D-model. Met een 3D-model kunnen bochtstromingen en dergelijke expliciet gemodelleerd worden. Ook kan inzicht verkregen worden in stromingen, die niet volgens het geulpatroon lopen. Dit verschijnsel doet zich bijvoorbeeld voor bij hoge waterstanden, als de stroming scheef over de geulen heen trekt.

De 3D-waterbewegings- en sedimenttransportmodellen zijn inmiddels ver genoeg ontwikkeld voor praktische toepassing, maar volledige 3-D morfodynamische modellen zijn nog onvoldoende ontwikkeld voor operationeel gebruik door anderen dan de ontwikkelaars.

Inbreng van de vakgroep Waterbouwkunde

Onder de afstudeerders bij deze vakgroep kan gezocht worden naar geschikte kandidaten voor een afstudeerstage bij het RIKZ. Er liggen een groot aantal vragen die om nader onderzoek vragen, m.b.t. drempels, ontpolderen, plaat-geul uitwisseling, verplaatsing stortlokaties, etc. Inmiddels is reeds een aantal afstudeerprojecten op dit gebied gestart (bijv. plaat-geul uitwisselingen, grootschalig box-model).

Daarnaast wordt de mogelijkheid onderzocht om een promotieplaats te creëren rond de opzet van een volledig 3-D model voor morfologische veranderingen in een sterk gekromd estuarium. Het RIKZ kan deze plaats wellicht sponsoren op basis van een samenwerking met de Technische Universiteit Delft.

Interview Huib de Swart en Leo van Rijn

van: Universiteit Utrecht, Instituut voor Marien en Atmosferisch onderzoek Utrecht (IMAU)
datum: 21 februari 1996

Introductie

In het kader van de projecten OOSTWEST en VERDIEP is het IMAU nu alleen betrokken bij de fenomenologische studies zoals de morfodynamica van drempels en de morfologische kartering van de Westerschelde. Deze onderzoeken worden vanuit de universiteit begeleid vanuit de vakgroep Fysische Geografie door dr. J.H. van den Berg. Er zijn binnen het IMAU echter meer mogelijkheden, met name ten aanzien van de modellering van estuarine morfologie.

De Swart houdt zich met name bezig met de lange termijn morfodynamiek onder invloed van niet-lineaire effecten. Dit speelt in de kustzone, maar ook in de estuaria. Momenteel is de AIO-er Henk Schuttelaars hiermee bezig. Dit werk is qua methodiek vergelijkbaar met het onderzoek van de AIO-er Karin de Jong bij de Technische Universiteit Delft (vakgroep Toegepaste Wiskunde en Informatica) onder leiding van prof.dr. A.W. Heemink

Van Rijn doet met name het korte termijn onderzoek met 2D en 3D modellen (onder gebracht in DELFT2D-MOR van het Waterloopkundig Laboratorium). Zijn belangstelling gaat uit naar zandstromen op de termijn van 0-5 jaar, waarbij gekeken wordt naar de zandbalans en de initiële veranderingen. De ervaringen hiermee zijn toepasbaar op de effecten van zandwinning en de effecten van baggeren en storten, zoals in de Westerschelde

Stand van Zaken

Het zandtransport in estuaria is binnen grenzen redelijk bekend. Het onderzoek concentreert zich momenteel op de invloed van beddingsvormen op de ruwheid van het systeem. Deze beddingsvormen hebben vaak een voorkeursrichting (eb- of vloedgedomineerd). In de kustzone is het zandtransport minder goed bekend, aanzien er hier een sterke interactie tussen stroming en golven plaatsvindt. In het projekt KUSTGENESE is een schatting gemaakt van het netto transport voor de gesloten kust. Voor de open kust (zeegaten, estuaria) ligt dit nog moeilijker.

De morfologie op de lange termijn kan redelijk voorspeld worden met grootschalige semi-empirische 1D modellen, zoals beschikbaar bij het Waterloopkundig Laboratorium. Voor de morfologie op de korte termijn zijn 3D modellen nodig, waarin ook de effecten van golven en bochtstroming meegenomen moeten worden. In een estuarium als de Westerschelde hoeft men hoogstwaarschijnlijk alleen rekening te houden met lokaal opgewekte golven op platen en in ondiep water. In de monding is een combinatie met golfmodellen (HISWA) nodig.

Lopend onderzoek

Bij het IMAU-oceanografie wordt momenteel onderzoek gedaan naar de stabiliteit van morfologische berekeningen, afhankelijk van de sediment-eigenschappen. De toepassing van een geïdealiseerd 1D model is gereed. Het uitgebreide 2D model wordt momenteel onderzocht. Hierbij wordt gekeken naar het dynamisch gedrag bij een initiële verstoring van de bodemligging. Het blijkt dat de stabiliteit dan een functie is van de korreleigenschappen en het golfgetal van de verstoring. In de nabije toekomst wordt het geïdealiseerde model vergeleken met het DELFT2D-MOR pakket van het Waterloopkundig Laboratorium.

Vragen en mogelijkheden

Bij Rijkswaterstaat leeft de vraag naar meer inzicht in het zandtransport langs de kust. Binnen het onderzoeksprogramma KUST*2000 zal hier aandacht aan besteed gaan worden. Er is een model van Zimmerman en Ridderinkhof (NIOZ - Texel) voor zandhonger. Dit model geeft afhankelijk van de vorm en grootte van het getij en de vorm van het estuarium met behulp van een evenwichtsmodel kentallen voor zandhonger. Andere modellen zijn gebouwd door Van Dongeren & De Vriend, De Jong & Heemink en Schuttelaars & De Swart.

Ook binnen KUST*2000 moet het zandtransport in het mondingsgebied van de estuaria onderzocht worden in relatie met het transport langs de Nederlandse Kust. De schatting is dat hiervoor een uitbesteding naar het Waterloopkundig Laboratorium nodig is.

Afspraken

Onder leiding van Van Rijn en anderen is Claire Jeuken bij directie Zeeland bezig met een promotie-onderzoek naar de invloed van kortsluitgeulen op het zandtransport in de Westerschelde. Volgens Van Rijn zijn hierbij 3D zandtransportberekeningen nodig, met name om bochtstromingseffekten (spiraalstroming) goed te kunnen weergeven. Samenwerking tussen directie Zeeland en het RIKZ liggen voor de hand. Verbeek zal dit verder meenemen.

Voor de lange termijn ontwikkeling in de Westerschelde kan mogelijk het geïdealiseerde model van het IMAU toegepast worden. De Swart zal hiervoor een opzet maken.

Bijlage I Sedimenttransport formuleringen uit WAMORF

Er is een onder WAQUA-in-SIMONA een sedimenttransport-routine beschikbaar, waarmee initieel transport berekend kan worden. Op basis van een WAQUA-stromingsveld wordt, afhankelijk van de gekozen transportformulering, een sedimenttransport berekend, waarbij de cumulatieve bodemverandering opgeslagen wordt.

Voor deze module zijn de volgende invoerparameters nodig:

- * keuze transportformulering (1:Meyer-Peter Müller, 2:Engelund-Hansen, 3:Bagnold, 4:Van Rijn)
- * keuze bodemherberekening [-]
- * porositeit e [-]
- * mediane diameter D_{50} [m]
- * relatieve dichtheid $\Delta = \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}$ [-]
- * efficiency coëfficiënt bed load e_b [-]
- * efficiency coëfficiënt suspended load e_s [-]
- * wrijvingscoëfficiënt c_f [-]
- * valsnelheid W [m/s]
- * interne wrijvingshoek voor sediment $\tan(\phi)$ [-]

Uit de WAQUA-berekening zijn de volgende gegevens nodig:

- * Chezy coëfficiënt C [$m^{1/2}/s$]
- * waterdiepte h [m]
- * stroomsnelheid U [m/s]
- * viscositeit ν [m^2/s]
- * bodemhelling $\tan(\beta)$ [-]

Verder wordt de konstante valversnelling g [$= 9.81 \text{ m/s}^2$] gebruikt.

Hieronder worden de verschillende formuleringen weergegeven.

1: MEYER-PETER MULLER

Bodemtransport S [m^2/s]:

$$S = 8 \frac{\sqrt{g \Delta D_{50}^3}}{(1 - e)} (\mu \theta - 0.047)^{\frac{3}{2}}$$

met μ - rimpel parameter [-] en θ - Shields parameter [-]

$$\mu = \frac{C}{21} \left(\frac{D_{50}}{h} \right)^{\frac{1}{6}}$$

$$\theta = \frac{U^2}{C^2 \Delta D_{50}}$$

2: ENGELUND-HANSEN

Totaal transport S [m^2/s]:

$$S = 0.05 \frac{\sqrt{g \Delta D_{50}^3}}{(1 - e)} \frac{C^2}{g} \theta^{\frac{3}{2}}$$

met θ - Shields parameter [-]

$$\theta = \frac{U^2}{C^2 \Delta D_{50}}$$

3: BAGNOLD

Totaal transport S [m^2/s] bestaande uit bodemtransport- en suspensietransportdeel

$$\langle \bar{S} \rangle = \rho c_r \frac{e_B}{\tan \phi} \left[\langle |u_t|^2 \bar{u} \rangle - \frac{\tan \beta}{\tan \phi} \langle |u_t|^3 \bar{t} \rangle \right] + \rho c_r \frac{e_S}{W} \left[\langle |u_t|^3 \bar{u} \rangle - \frac{e_S}{W} \tan \beta \langle |u_t|^5 \bar{t} \rangle \right]$$

4: VAN RIJN

Apart te berekenen bodemtransport S_b [m^2/s] en suspensietransport S_s [m^2/s]:

$$S_b = \frac{Uh}{1-e} 0.005 \left(\frac{U - U_{cr}}{\sqrt{g\Delta D_{50}}} \right)^{2.4} \left(\frac{D_{50}}{h} \right)^{1.2}$$

$$S_s = \frac{Uh}{1-e} 0.012 \left(\frac{U - U_{cr}}{\sqrt{g\Delta D_{50}}} \right)^{2.4} \left(\frac{D_{50}}{h} \right) (D_{gr})^{-0.6}$$

met een dimensieeloze korreldiameter

$$D_{gr} = D_{50} \left(\frac{g\Delta}{v^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

en een kritieke stroomsnelheid welke afhankelijk is van de korreldiameter

$$U_{cr} = 0.19 (D_{50})^{0.1} \log \left(\frac{12h}{3D_{50}} \right) \quad \text{voor } 100 < D_{50} < 500 \mu m$$

$$U_{cr} = 8.50 (D_{50})^{0.6} \log \left(\frac{12h}{3D_{50}} \right) \quad \text{voor } 500 < D_{50} < 2000 \mu m$$