

Opdrachtgever:

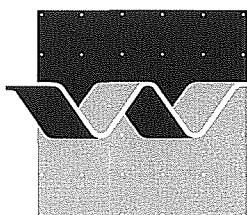
Rijkswaterstaat / RIKZ

Morfologisch model Westerschelde

Verslag Workshop

C. Kuijper, J.C. Winterwerp

November 2001



wL | delft hydraulics

Inhoud

1	Samenvatting workshop.....	1
2	Inleiding	6
2.1	Doel workshop	6
2.2	Opzet workshop	6
2.3	Randvoorwaarden voor het morfologisch model.....	7
2.4	Indeling van het verslag	7
3	Presentaties	8
3.1	Beleidsvragen en programma van eisen (van Pagee).....	8
3.2	Geïdealiseerde modelsystemen (Schuttelaars)	9
3.3	Ontstaan van eb- en vloedgeulen in de Westerschelde (Hibma).....	10
3.4	Dynamica van geulontwikkeling en onerodeerbare lagen (Jeuken)	12
3.5	Overzicht beschikbare data en voorgenomen meetcampagnes (Verbeek).....	13
3.6	SCALWEST (2dh) en TRISCAL (3D) modellen (Bliek).....	13
3.7	DELFT2D-MOR, RAM-MOR, DELFT3D-FLOW (met on-line sediment en morfologie) en toepassing op de Westerschelde (Roelvink).....	15
3.8	ESTMORF voor de Westerschelde (Wang)	17
3.9	Cellenconcept voor de Westerschelde (Winterwerp).....	18
3.10	Samenvatting bevindingen.....	19
4	Resultaten discussies in subgroepen.....	21
4.1	Groep 1.....	21
4.2	Groep 2.....	21
4.3	Groep 3.....	22

4.4	Groep 4.....	23
5	Hoofdpunten van de workshop en discussie.....	25
5.1	Hoofdpunten	25
5.2	Discussie	25

Bijlagen

A	Lijst van deelnemers
B	Agenda workshop
C	Indeling in subgroepen
D	Overhead sheets van de presentaties

I Samenvatting workshop

Kader

De beheerder van de Westerschelde, de Directie Zeeland van Rijkswaterstaat, is verantwoordelijk voor de *Veiligheid*, *Toegankelijkheid* en *Natuurlijkheid* van het gebied. Een groot aantal specifieke beleids- en beheersvragen heeft betrekking op deze drie functies. In dit kader wordt door RIKZ van Rijkswaterstaat het project ZEEKENNIS uitgevoerd, dat de benodigde kennis op het gebied van hydrodynamica, morfologie en ecologie dient toe te leveren. De operationalisering van een morfologisch model voor de Westerschelde vormt onderdeel van dit project.

Programma van eisen morfodynamische modellering

Het te beschouwen gebied betreft de Westerschelde en de Beneden Zeeschelde. De monding (Voordelta) is niet het primaire aandachtsgebied en moet slechts worden meegenomen indien dit van belang is voor de overige gebieden. De fasering van de operationalisering van een morfologisch model dient zo te zijn dat op (zeer) korte termijn (2002) reeds vragen kunnen worden beantwoord, die o.a. verband houden met de beroepsprocedure tegen de laatste verdieping. Op de middellange termijn (5 jaar) speelt het te nemen kabinetsbesluit m.b.t. de Lange Termijn Visie Westerschelde en de daaruit voortkomende beheers- en beleidsaspecten. Reeds nu kan worden geconstateerd, dat de beheers- en beleidsvragen betrekking hebben op zowel kleinschalige (detail)problemen (bodemveranderingen in vaargeulen en t.p.v. kabels en leidingen) als grootschalige ontwikkelingen van het gebied (veranderingen in arealen van geulen en platen, ondiep water en slikken). Hiermee samenhangende tijdschalen voor morfologische veranderingen variëren tussen respectievelijk jaren en decennia met een voorspelhorizon tot 30 à 50 jaar. Teneinde het functioneren van de Westerschelde te kunnen beoordelen dienen tevens indicatoren te worden vastgesteld. Voor het morfologisch gedrag van de Westerschelde zijn voornamelijk de zandtransporten van belang. Slibtransporten zijn hieraan ondergeschikt en kunnen vooralsnog buiten beschouwing worden gelaten. Voor vragen m.b.t. het ecologisch functioneren van de Westerschelde kan in de toekomst wel de noodzaak bestaan de slibtransporten mede in beschouwing te nemen teneinde voorspellingen te kunnen doen naar de bodemsamenstelling.

(Te modelleren) fysische processen

De hydrodynamica is de primaire, sturende factor voor de morfologie. Een correcte modellering hiervan is een eerste vereiste. In dit verband is de reproductie van getijasymmetrie van belang, aangezien hierdoor de netto sedimenttransporten (vloed- of ebdominantie) worden bepaald. Bij de calibratie van een waterbewegingsmodel t.b.v. de morfologische modellering gelden daarom andere criteria. Bij de huidige hydrodynamische modellering voor de Westerschelde vormt het gedrag van de intergetijdegebieden nog een

zwakke schakel; o.a. betreft dit de onzekerheid in de hydraulische ruwheid. Dit verklaart waarschijnlijk de slechtere reproductie van de waterbeweging onder stormcondities ('events') van het operationele SCALWEST model (m.n. in het bovenstroomse deel).

De grootschalige morfologische karakteristieken van de Westerschelde betreffen het meergeulenstelsel, bestaande uit eb- en vloedgeulen, drempelgebieden, kortsluitgeulen en intergetijdegebieden. De onderliggende processen zijn in belangrijke mate driedimensionaal t.g.v. horizontale en verticale circulaties, waaronder secundaire stroming in bochten. Menselijke ingrepen hebben een significante en voortdurende invloed op de morfologie, terwijl tevens rekening moet worden gehouden met een nog merkbare historisch beïnvloeding. Dit laatste betekent dat niet gesproken kan worden van een 'vaste' referentiesituatie, waarmee het effect van een ingreep kan worden vergeleken. Daarnaast blijkt dat, afhankelijk van geometrische kenmerken en getijkarakteristieken (belang van de M_4 component), meerdere evenwichten mogelijk zijn of zelfs in het geheel geen evenwicht. Complicerende factor hierbij is dat de processen niet-lineair zijn en tot een chaotisch gedrag van het systeem en een zekere mate van onvoorspelbaarheid kunnen leiden. Een voorbeeld hiervan vormt het ontstaan van geulen. Kortsluitgeulen op de drempelgebieden vertonen een cyclisch gedrag, waarvan niet bekend is of dit autonoom is, dan wel bepaald wordt door externe factoren. Deze kortsluitgeulen spelen mogelijk een belangrijke rol bij de sedimentuitwisseling tussen bochtgroepen en kunnen als zodanig van belang zijn voor de morfologische ontwikkeling van het gehele estuarium.

De morfologische veranderingen worden bepaald door de waterbeweging en de resulterende sedimenttransporten. De (gemiddelde) korreldiameter van het sediment is hierbij een bepalende grootte. Een kleinere diameter leidt tot een snellere aanpassing van het systeem en dus tot kortere tijdschalen. Tevens kunnen erosiegebieden veranderen in sedimentatiegebieden en vice versa als de korreldiameter wordt gevarieerd. Bij de morfologische modellering zal hiermee rekening moeten worden gehouden.

De tijdschalen van de morfologische processen variëren van minder dan een jaar tot decennia en eeuwen. Deze tijdschalen zijn gerelateerd aan de ruimteschalen; kleinschalige processen, zoals lokale verdiepingen/verondiepingen, voltrekken zich snel. Kortsluitgeulen vertonen een cyclisch gedrag met een tijdschaal van jaren tot decennia, terwijl wijzigingen in het grootschalige patroon van eb- en vloedgeulen veranderingen vertonen over een periode van decennia of meer.

In het gebied kunnen door geulen moeilijk of niet-erodeerbare lagen worden aangesneden (Boomse klei), hetgeen van invloed kan zijn op de morfologische ontwikkeling.

Modeleisen: mogelijkheden en beperkingen

Voor de Westerschelde is SCALWEST als hydrodynamisch model beschikbaar in de vorm van drie versies: een grof en een fijn diepte-gemiddeld model en een drie-dimensionaal model (TRISCAL). Met het model kan ook de zoutverdeling worden berekend. Het model is gecalibreerd en gevalideerd voor een aantal perioden (spring-, dood- en gemiddeld tij), incl.

stormcondities. Nagegaan moet worden in hoeverre met het model stroomasymmetrie correct wordt weergegeven, i.v.m. het belang voor netto sedimenttransporten, en hoe de reproductie onder stormcondities kan worden verbeterd, m.n. voor de Boven-Zeeschelde. In dit verband zal de modellering van intergetijdegebieden nader moeten worden bekeken.

Naarmate een morfologisch model beter in staat is de morfologische karakteristieken te beschrijven zullen in toenemende mate betrouwbaarder uitspraken kunnen worden gedaan. Dit kan worden nagestreefd op de volgende manieren: (i) door een zo volledig mogelijke beschrijving van de (bekende) onderliggende processen, (ii) door een vermindering van het aantal ruimtedimensies (integratie over de diepte), (iii) door vereenvoudigingen en parameterisaties van de processen en (iv) door aggregatie in het tijdsdomein. Momenteel zijn er verschillende modelconcepten beschikbaar, waaraan in mindere of meerdere mate aannamen ten grondslag liggen: de procesmodellen, geïdealiseerde modellen en de dynamisch-empirische modellen. Elk van deze modelconcepten heeft een eigen toepassingsgebied.

De *procesmodellen* berekenen in detail de diverse grootheden (sedimentconcentraties, bodemveranderingen). Naarmate de mate van detail groter wordt, neemt het rekenwerk toe en wordt de simulatieduur beperkt door de beschikbare computercapaciteit.

- Een fijnmazig 3D morfologisch model voor lange-termijn berekeningen (decennia) voor de gehele Westerschelde is momenteel dan ook niet haalbaar. Wel kan een 3D model worden ingezet voor detailproblemen, waarbij een afweging moet worden gemaakt tussen de ruimtelijke resolutie van het model en de simulatieduur.
- Voor de grootschalige morfologie van de Westerschelde, met hieraan verbonden grote tijdschalen, kan een 2Dh model goed voldoen. Eventueel kan dan onderscheid worden gemaakt tussen grove schematisaties, wanneer het gaat om het begrip en gedrag van het systeem, en gedetailleerde simulaties voor specifieke problemen. In het eerste geval dient men zich te realiseren dat bijvoorbeeld het gedrag van kortsluitgeulen dan niet gemodelleerd wordt.
- Gedetailleerde 2Dh simulaties voor de middellange termijn kunnen eventueel worden uitgevoerd met RAM-MOR, middels een snelle bodem-‘updating’ op basis van regelmatig maar minder vaak ververste transportberekeningen en een eenvoudige benadering van de transporten.
- Quasi-3D vormt een uitbreiding van 2Dh, omdat secundaire stroming in bochten geparameteriseerd wordt meegenomen. De meerwaarde van quasi-3D is momenteel nog niet duidelijk en een dergelijke aanpak wordt momenteel als minder adequaat beschouwd.

Uitgevoerde simulaties met het diepte-gemiddelde 2D model DELFT2D-MOR tonen dat het hiermee mogelijk is een systeem met ebgeulen en vloedscharen te genereren. Voor de hoog-dynamische drempelgebieden kunnen met een 2Dh model nog geen betrouwbare kwantitatieve uitspraken worden gedaan. Een vergelijking tussen een 3D morfologisch model en veldmetingen is nog niet uitgevoerd.

Geïdealiseerde modellen hebben vooral waarde, waar het gaat om het verschaffen van inzicht in het systeemgedrag. Hiermee kunnen gevoeligheden worden nagegaan voor

(kleine) veranderingen in de parameters. Zij kunnen inzicht verschaffen in het vóórkomen en gedrag van evenwichten (stabiel of instabiel) en toeleverend zijn bij het definiëren van indicatoren. Verder is het (wellicht) mogelijk de vraag te beantwoorden of sprake zal zijn van één of meer geulen voor een gegeven situatie. Een lokaal geïdealiseerd model laat zien dat de initiële ontwikkeling van bodemvormen (met een lengteschaal van de getijweglengte) op identieke wijze met 2D en 3D formuleringen kan worden aangegeven.

ESTMORF is een voorbeeld van *dynamisch-empirisch model* en is bedoeld voor de simulatie van de grootschalige morfologische ontwikkeling van estuaria. De procesvergelijkingen zijn gebaseerd op getij-geïntegreerde grootheden en de afmetingen van de rekencellen zijn aanmerkelijk groter dan die bij procesmodellen. Het model is derhalve minder rekenintensief dan procesmodellen en derhalve kunnen langdurige simulaties (tot eeuwen) worden uitgevoerd. ESTMORF maakt gebruik van empirische evenwichtsvergelijkingen voor de geul en de platen, waardoor de berekening altijd zal convergeren naar een evenwicht. Het model is o.a. geschikt voor het optimaliseren van een baggerstrategie. Omdat ESTMORF uitgaat van een 1D netwerk is het niet mogelijk het ontstaan van nieuwe geulen te simuleren. Het model moet worden beschouwd als complementair aan andere benaderingen.

Het *cellenconcept* is een methodiek voor de aggregatie, interpretatie en visualisatie van de complexe processen. Het is geschikt voor de optimalisatie van de bagger- en stortstrategie en de onderlinge afstemming van diverse modellen.

Resumerend geldt:

Modelconcept	Mogelijkheden
DELFT2D-MOR grof	grootschalige morfologie over jaren
DELFT2D-MOR fijn	- detailsimulaties over 1 tot enkele jaren; - evt. combinatie met RAM-MOR voor simulaties over 5 jaar
Quasi-3D	meerwaarde t.o.v. 2Dh nog onvoldoende aangetoond
3D grof	detailsimulaties over 1 jaar met variërende condities
3D fijn	- detailsimulaties (o.a. gedrag kortsluitgeulen) voor korte periodes t.b.v. inzicht; - langduriger simulaties voor de gehele Westerschelde zijn nog niet mogelijk
Geïdealiseerde modellen	inzicht in systeemgedrag en vaststellen van indicatoren
ESTMORF	- grootschalige morfologie over decennia tot eeuwen; - geschikt voor optimalisatie baggerstrategie
Cellenconcept	interpretatie 'tool'

Calibratie modellen en benodigde meetdata

Om de betrouwbaarheid van de modellen te kunnen aangeven moeten deze worden gecalibreerd aan de hand van velddata. Voor de validatie van het lange-termijn gedrag zal gebruik gemaakt moeten worden van historische data. Dit vereist het ontsluiten van databestanden en het combineren van metingen uit verschillende, in het verleden uitgevoerde, projecten. Concreet betekent dit dat 'hindcast' studies voor de Westerschelde uitgevoerd moeten worden.

Aanvullend hierop zullen nieuwe metingen nodig zijn, waaronder meer ruimtelijk verdeelde meetdata (HF radar). Hierbij geldt dat wat gemeten moet worden, bepaald wordt door de specifieke vraag die moet worden beantwoord en door de eisen die het betreffende model stelt.

Tot besluit

Voorgesteld wordt om twee cases 'als kapstok' voor de Westerschelde te definiëren, waarvoor bovengenoemde aspecten verder uitgewerkt kunnen worden. De cases moeten uitgewerkt worden door een groep bestaande uit onderzoekers, medewerkers van Dir. Zeeland en van RIKZ. De twee cases moeten tijdens de voorstudie worden gedefinieerd.

Het belang van een continue 'monitoring' wordt sterk benadrukt: 'Gedetailleerde vragen vereisen gedetailleerde metingen'.

Tijdens de workshop is een aantal opmerkingen van algemene aard gemaakt:

- Bij de beantwoording van beheers- en beleidsvragen moet men realistisch zijn ('willen wat je kunt').
- Wanneer modellen worden ingezet, moeten onzekerheden worden vermeld (is het eventueel geoorloofd kleinschalige processen te negeren of te parameteriseren?). Aangegeven dient te worden, hoe hiermee zal worden omgegaan.
- Indien meerdere modellen worden ingezet dient er sprake te zijn van een goede onderlinge afstemming.
- Er is een goede communicatie nodig tussen de beheerder en de adviseur/onderzoeker.
- Men dient te leren ('inzicht') vanuit toepassingen van de huidige modelconcepten.
- Het effect van golven, m.n. op de platen, vereist nader onderzoek.
- Het morfologisch systeem is 'onvoorspelbaar' (of kan dit zijn). Aandacht dient uit te gaan naar hoe hiermee moet worden omgegaan.
- Systeemkennis moet worden ontwikkeld in samenhang met 'monitoring'.
- Aggregatie van resultaten is nodig t.b.v. het beheer.

2 Inleiding

Rijkswaterstaat/RIKZ heeft het voornemen om een procesgestuurd morfo-dynamisch model van de Westerschelde te operationaliseren, waarmee de beleidsvragen van de beheerder, Directie Zeeland, beantwoord kunnen worden. RIKZ heeft WL | Delft Hydraulics opdracht gegeven om door middel van een voorstudie de marsroute voor zo'n ontwikkeling op te stellen. Op een workshop, welke onderdeel vormt van de voorstudie, hebben beheerders van de Westerschelde en onderzoekers (met een morfologische en hydrodynamische achtergrond) hieromtrent van gedachten gewisseld. De workshop heeft plaatsgevonden op 16 oktober 2001 bij Rijkswaterstaat/RIKZ te Middelburg. Een lijst van deelnemers is opgenomen in Appendix A.

2.1 Doel workshop

Het doel van de Workshop is vierledig:

1. opstellen van een overzicht van de stand van zaken m.b.t. de kennis van het Westerschelde-systeem en modelontwikkelingen,
2. overzicht van de mogelijkheden en beperkingen om een procesgestuurd morfodynamisch model te ontwikkelen,
3. vaststellen van een realistisch programma van eisen,
4. discussie over de te volgen marsroute en de faseringen daarin.

2.2 Opzet workshop

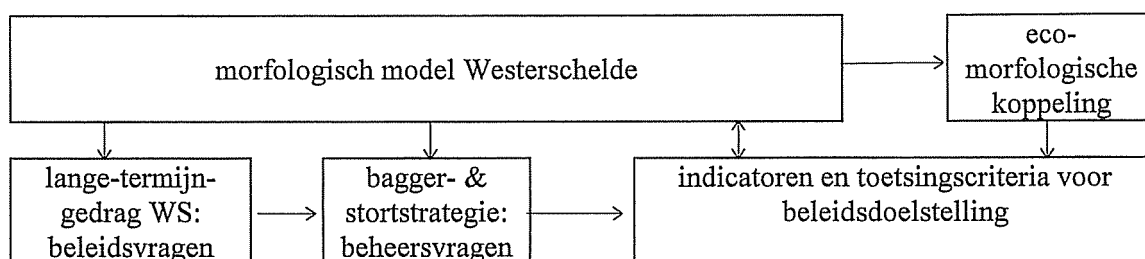
De workshop is als volgt opgezet:

- een plenair deel met presentaties over beleidsvragen, stand van zaken van onze kennis en modellen en ruimte voor enige vragen en discussie daarover;
- discussies in subgroepen, waarin de eerder gepresenteerde informatie wordt doorgesproken en geanalyseerd in relatie tot doelen van de workshop;
- een plenair deel, waarin (na terugmelding van de voorzitters van de subgroepen) convergentie tot een realistisch programma van eisen en de te volgen marsroute zal plaatsvinden.

De agenda voor de workshop is opgenomen in Appendix B.

2.3 Randvoorwaarden voor het morfologisch model

De beleidsvragen van Rijkswaterstaat dienen als randvoorwaarden bij de ontwikkeling van het morfologisch model. Tijdens de presentaties wordt nader ingegaan op deze beleidsvragen (Par. 3.1). De positie van het morfologisch model in het beheer is in onderstaande diagram geschets:



Positie van het morfologisch model in het beheer

Het morfologisch model dient, zoals in het diagram is weergegeven:

- bij te dragen aan de beantwoording van *beleidsvragen*, die gerelateerd zijn aan het middellange tot lange termijn gedrag van het estuarium (decennia tot eeuwen);
- bij te dragen aan de beantwoording van *beheersvragen*, die leiden tot besluitname omtrent de stort- en baggerstrategie op de korte tot middellange termijn (jaren tot decennia);
- indicatoren toe te leveren, waarmee het morfologisch gedrag van het estuarium kan worden bewaakt; mogelijkheden (vanuit het model) en wensen (ingegeven door het beleid) dienen in wisselwerking te worden vastgesteld;
- de mogelijkheid te bieden gegevens toe te leveren, die kunnen worden gebruikt voor de vaststelling van het eco-morfologische gedrag van het gebied;
- de eco-morfologische koppeling dient eveneens indicatoren op te leveren.

2.4 Indeling van het verslag

In Hoofdstuk 3 worden de presentaties van de workshop samengevat. De overhead sheets van elk van de presentaties zijn opgenomen in Appendix D. Hoofdstuk 3 wordt besloten met een samenvatting van de presentaties, zijnde het ochtenddeel van de workshop. Deze samenvatting heeft gediend als input voor de discussies in de vier subgroepen. Twee subgroepen besteedden aandacht aan het Programma van Eisen voor het model in relatie tot de mogelijkheden (wat kunnen we?) en twee subgroepen in relatie tot de beleidsvragen (wat willen we?). De bevindingen van de subgroepen zijn gepresenteerd in Hoofdstuk 4. Een puntsgewijze samenvatting van de workshop is tenslotte opgenomen in Hoofdstuk 5.

3 Presentaties

In dit hoofdstuk worden de presentaties samengevat. Voor nadere details wordt verwezen naar de overhead sheets die zijn opgenomen in Appendix D.

3.1 Beleidsvragen en programma van eisen (van Pagee)

Doelstelling project ZEEKENNIS

Het project ZEEKENNIS van RWS/RIKZ levert die kennis op het gebied van hydrodynamica, morfologie en ecologie (en de samenhang daartussen), die nodig is om vragen op het gebied van goederen en diensten van het Schelde-estuarium (met name t.a.v. veiligheid, toegankelijkheid en natuurlijkheid) te kunnen beantwoorden.

De operationalisering van een morfologisch model voor de Westerschelde dient in het kader van deze doelstelling te worden beschouwd.

Kernvragen en specifieke beleidsvragen

- **Veiligheid:** wat zijn de te verwachten veranderingen in waterstanden en stromingen?
 - ⇒ gevolgen van klimaatverandering (stormen, rivieraafvoer en zeespiegelstijging) voor de veiligheid;
 - ⇒ gevolgen van ingrepen op waterstanden en stromingen;
 - ⇒ effectiviteit van Getijde Overstromings Gebieden (GOG's).
- **Toegankelijkheid:** hoe om te gaan met baggeren, storten en zandwinning?
 - ⇒ optimalisatie stortstrategie (oost-west, hoofd- vs. nevengeul, suppleties;
 - ⇒ aanvaardbare combinaties van vaargeulverruiming en storten baggerspecie;
 - ⇒ primaire en lokale effecten van storten;
 - ⇒ toelaatbare verruiming van vaargeulen;
 - ⇒ mogelijke bijdrage van verruiming neven- en verbindingsgeulen aan gewenste morfologische ontwikkeling;
 - ⇒ gebruik stortmateriaal voor inrichtingswerken.
- **Natuurlijkheid:** wat zijn de gevolgen van inrichting en beheer voor vissen, vogels en zeezoogdieren (hoe beoordelen en omgaan met de vogel- en habitatrichtlijn)?
 - ⇒ toetsingscriteria voor beoordeling van de ontwikkeling van het systeem, voor de beleving van natuurwaarden en voor de waardering van belangen;
 - ⇒ voorspelling en 'monitoring' van de gevolgen van ingrepen opdat bij ongewenste ontwikkelingen het beheer kan worden aangepast;
 - ⇒ ontwikkeling van kennis t.b.v. de voorspelling van de morfologische en ecologische ontwikkeling.

Programma van eisen morfodynamische modellering (een voorzet)

1. Aansluiten op de kennis (en modellen) van waterbeweging in geulen en op platen.
2. Voorspellen van lokale gevolgen van baggeren, storten (incl. suppleties) en zandwinning.
3. Aansluiten op het cellenconcept.
4. Voorspellen van te verwachten veranderingen in arealen van geulen, platen, ondiep water, slikken e.d..
5. Voorspellen van te verwachten (autonome) veranderingen in vaargeulen, bodemligging t.p.v. kabels en leidingen en de Westerschelde tunnel.
6. Bijdrage aan invulling van behoud morfodynamische dynamiek / estuarien karakter met aanvaardbare onderhoudsbaggerwerken.
7. Basis voor Vlaams-Nederlandse samenwerking (LTV doel is beslissingen nemen op basis van kennis).

Discussie

De behoefte voor een ondersteunend morfologisch model ter beantwoording van beheersvragen speelt al op de korte termijn, d.w.z. in de loop van 2002. M.n. is dit van belang voor zaken omtrent vergunningsverlening voor het onderhoudsbaggerwerk (1 à 2 jaar) en LTV (te nemen kabinetsbesluit).

Actueel binnen RWS is het vaststellen van indicatoren t.b.v. een beoordelingskader voor het functioneren van de Westerschelde (via de 'wetenschappelijke' en de beleidskant).

De vraag wordt opgeworpen of één model moet worden ontwikkeld voor alle soorten beheers- en beleidsvragen of dat de keuze voor een model (mede) afhangt van de gestelde vraag. Deze vraag bepaalt immers hoe een model zal worden opgezet. Het zal niet altijd gewenst zijn een zeer gedetailleerd model te gebruiken met een fijne resolutie. Voor veel vraagstukken is het vaak beter een 'grof' model te gebruiken, dat voor een breed scala aan condities kan worden ingezet. Aandacht moet dan uitgaan naar de vraag of het geoorloofd is kleinschalige processen te negeren of te parameteriseren.

Het gebied dat moet worden beschouwd betreft het gehele estuarium, inclusief het Belgische deel van de Schelde. De monding is niet het primaire aandachtspunt (onderdeel van KUST2005). Wel moet dit worden meegenomen indien dit voor de overige delen van belang is.

Gediscussieerd wordt over de tijdschaal, die met het model moet kunnen worden beschouwd. Enerzijds is dit de korte termijn (m.n. bagger- en stortproblematiek) maar ook betreft dit de langere termijn in relatie tot het beleid (tot 2030).

3.2 Geïdealiseerde modelsystemen (Schuttelaars)

Bij geïdealiseerde modelsystemen worden alleen die fysische processen beschouwd, die essentieel zijn voor het beschouwde fenomeen. Vaak zijn zij voor een geschematiseerde

geometrie. De vergelijkingen worden vereenvoudigd, zodat analytische oplossingen kunnen worden verkregen. Het doel is om op deze wijze inzicht te verkrijgen in de processen.

Een voorbeeld hiervan is een geïdealiseerd, lineair *globaal* model voor de Westerschelde (1D, breedte-gemiddeld). Afhankelijk van het relatieve belang van de M_4 -getijcomponent kunnen, afhankelijk van de bekkenlengte, enkelvoudige of drievoudige evenwichten ontstaan. In geval van drievoudige evenwichten zijn er twee stabiel en één instabiel. Verder kunnen conclusies worden getrokken omtrent resonantie en de maximale bekkenlengte. Voor de Westerschelde kan een geïdealiseerd model redelijk de amplituden en fasen van de M_2 - en M_4 -componenten reproduceren.

Een geïdealiseerd *lokaal* model laat zien dat 2D- en 3D-formuleringen tot dezelfde resultaten leiden voor de initiële ontwikkeling van korte bodemvormen ($\sim$ getijweglengte). Evenzo geven lineaire en niet-lineaire wrijvings-parameterisaties gelijke uitkomsten. De fysische mechanismen in 2D en 3D zijn dus identiek, zodat geconcludeerd kan worden dat een 2D beschrijving voor wat betreft dit aspect voldoende is.

Nog nader te beantwoorden vragen zijn:

- Kunnen de bodemvormen in het lokale en globale model met elkaar worden vergeleken?
- Kunnen drempels met 2D modellen worden beschreven?
- Zijn de bodemvormen in de Westerschelde vrij of geforceerd (bijv. door de geometrie)?
- Hoe dient de randvoorwaarde te worden geformuleerd en waar dient de rand te worden gepositioneerd?
- Wat is de gevoeligheid van de resultaten voor de transportformulering en/of dient gerekend te worden met suspensieconcentratievertikalen met een 'time-lag' voor uitzakken?

Discussie

Het cellenconcept m.b.t. de integriteit van het meergeulenstelsel is momenteel binnen RWS een belangrijk uitgangspunt voor morfologische beheersvragen. Geïdealiseerde modellen kunnen het ontstaan van geulen voorspellen. Het is ook mogelijk de vraag te beantwoorden of sprake zal zijn van één of meer geulen voor een gegeven situatie, althans voor wat betreft de initiële ontwikkelingen. Geïdealiseerde modellen kunnen wellicht bijdragen aan het vaststellen of interpreteren van indicatoren.

3.3 Ontstaan van eb- en vloedgeulen in de Westerschelde (Hibma)

De Westerschelde wordt gekarakteriseerd door een meanderend stelsel van eb- en vloedgeulen en tussengelegen platen en drempels. Centrale vraag hierbij is welke de bepalende factoren zijn voor het ontstaan (en laten bestaan) van een dergelijk meergeulenstelsel. Met DELFT2D-MOR (dus diepte-gemiddeld) zijn voor een geschematiseerde geometrie (100 km lang, 2,5 km breed en een lineair verlopende bodem van -10 m naar 0 m) simulaties uitgevoerd. Er werd een geringe bodemverstoring aangebracht, waarna de bodemveranderingen zijn berekend over een periode van tenminste 70 jaar. Als externe 'forcing' werd alleen gebruik gemaakt van een M_2 -component voor het

vertikale getij. De resultaten laten zien, dat na ongeveer 20 jaar bodemvormen ontstaan en dat zich na 70 jaar een geulenpatroon heeft ontwikkeld. Deze tijdschalen hangen af van de korreldiameter: bij een geringere diameter verloopt de aanpassing sneller en is de tijdschaal dus korter. Het geulenpatroon toont grote gelijkenis met dat van de Westerschelde, d.i. een doorgaande meanderende ebgeul en doodlopende vloedgeulen (zoals mede aangegeven door de getijgemiddelde stroming en transporten). Opvallend is dat in het verleden (van Veen, 1950) 3D effecten zijn genoemd als mogelijke verklaringen voor het ontstaan van de vloed- en ebscharen en de daarbij behorende drempels (verschil in transportweg voor sediment bij het oppervlak en bij de bodem). In het diepte-gemiddelde model ontbreken echter deze effecten.

Wat leert het onderzoek ons van het Westerschelde systeem?

- Een vlakke bodem ontwikkelt zich tot een plaat- en geulenstelsel als gevolg van een positieve terugkoppeling tussen stroming en sedimentatie/erosie (vnl. advectioneel transport);
- Het geulenpatroon (golflengte) wordt o.a. beïnvloed door de bekkengeometrie met de opgelegde randen.

Welke vragen over het morfologisch functioneren van het systeem leven er?

- In hoeverre kan men spreken over een eindtoestand of evenwicht?
- Hoe groot is de rol van de historie?
- Wat zijn vrije bodemvormen (zelf-organisatie) en wat door de geometrie geforceerde bodemvormen?

Welke nieuwe aspecten dienen in een (toekomstig) morfologisch model meegenomen te worden?

- Droogvalprocedure;
- Rekentijd in combinatie met nauwkeurigheid en onzekerheid;
- Cohesie ondergrond en randen;
- Variatie in korreldiameter.

Conclusies

- Op de schaal van het gehele estuarium kan het ontstaan van eb- en vloedgeulen gereproduceerd en deels verklaard worden;
- De geometrie en grenzen van het estuarium hebben grote invloed op het geulenpatroon;
- Er kan geen eind- of evenwichtssituatie gevonden worden;
- Met het vastleggen van de grenzen van het estuarium lijkt ook het geulenpatroon (de golflengte) vastgelegd te zijn;
- De dynamica is dan beperkt tot een kleinere schaal, waarop de geometrie minder beperkingen oplegt. Dit heeft betrekking op veranderingen van deelgebieden van de geulen, in het bijzonder op het schaalniveau van de drempels.

Discussie

De vraag bestaat in hoeverre 3D effecten van belang zijn. De gepresenteerde DELFT2D-MOR resultaten laten zien dat een meanderende geul met vloedscharen al kan worden

gereproduceerd met een diepte-gemiddeld model, terwijl verklaringen hiervoor van van Veen (1950) berusten op 3D-effecten. Verondersteld wordt dat 3D effecten m.n. initieel (voor de beginbodem) een rol kunnen spelen en wellicht is dit in een later stadium minder of niet het geval. De discussie wordt besloten met de constatering dat het belang van 3D effecten in deze nog niet kan worden aangegeven.

Verder wordt vastgesteld dat tijdschalen, die verband houden met het ontstaan van (en veranderingen in) een meergeulenstelsel, spelen over een periode van orde 20 jaar (afhankelijk van de korreldiameter in de simulaties) en dus relevant zijn voor beheersaspecten.

3.4 Dynamica van geulontwikkeling en onerodeerbare lagen (Jeuken)

De Westerschelde kan worden onderverdeeld in zes bochtgroepen, elk met een eigen gedrag. Deze bochtgroepen bestaan uit de macro- en mesocellen volgens het cellenconcept (Par. 3.9). De drempelgebieden, op de overgangen van de bochtgroepen, zijn morfologisch erg dynamisch. Met name geldt dit voor de kortsluitgeulen over de drempels in de hoofd vloedgeulen. Deze vertonen een cyclisch gedrag m.b.t. het ontstaan en weer verdwijnen. Dit gedrag en veranderingen in het patroon van kortsluitgeulen kunnen gepaard gaan met erosie (verdiepingen) en sedimentatie (verondiepingen) op een vloedgeuldrempel.

Eén en ander kan worden geïllustreerd a.d.h.v. de bochtgroep bij Terneuzen. Vóór 1986 erodeert de drempel. Het geërodeerde materiaal wordt afgezet in de aangrenzende Hansweert-bochtgroep en de grote ebgeul in de Terneuzen-bochtgroep. De verandering in het patroon van kortsluitgeulen rond 1988 leidt tot sedimentatie. De vele naast elkaar gelegen kortsluitgeulen induceren kleinschalige sedimentcirculaties, die het sediment als het ware vasthouden op de drempel.

Wat leert het onderzoek ons van het Westerschelde systeem?

- Het gedrag van de kortsluitgeulen (meso schaal) kan de hoofdgeulen en platen op macro schaal beïnvloeden;
- Kortsluitgeulen kunnen een rol spelen in de sedimentuitwisseling tussen bochtgroepen (macrocellen);
- Kortsluitgeulen zijn de meest dynamische (flexibele) elementen;
- Kortsluitgeulen geven het systeem veerkracht.

Welke vragen over het morfologisch functioneren van het systeem leven er?

- Zijn er meerdere evenwichten mogelijk, en wat is evenwicht?
- Wat is de invloed van historie / antecedente morfologie?

Welke nieuwe aspecten dienen in een (toekomstig) morfologisch model meegenomen te worden?

- Gedrag van kortsluitgeulen op tijdschaal van jaren / enkele decennia;
- 3D model (spiraalstroming, stroomversnellingen en -vertragingen).
- rekening houden met het voorkomen van dagzomende, moeilijk erodeerbare lagen (eerst dient hiervan een overzicht te worden gemaakt).

Discussie

Voor het beantwoorden van beheers-/praktijkvragen is het belangrijk, dat het gedrag van kortsluitgeulen goed met toekomstige modellen wordt beschreven. De vraag is ook in hoeverre ingrepen het gedrag van de kortsluitgeulen heeft gestuurd danwel dat het gedrag van deze geulen autonoom is. De invloed van de korrelgrootte is groot en een verandering hierin kan in simulaties van een sedimentatiegebied een erosiegebied maken.

3.5 Overzicht beschikbare data en voorgenomen meetcampagnes (Verbeek)

Vanaf 1931 zijn voor de Westerschelde dieptekaarten beschikbaar. Momenteel worden deze om de 1 à 2 jaar herhaald op een 20x20 m grid. De lodingen worden uitgevoerd vanaf een boot en de resultaten zijn daardoor vooral beperkt tot de geulen. Op de intergetijdegebieden is de informatie veel beperkter en lokaler van karakter (bijv. op de Schor van Waarde drie raaimetingen, waarvan één sedimentatie en erosie geeft). Waterstandsmetingen zijn beschikbaar in de vaste 'monitoring' stations. Debietmetingen worden tegenwoordig met een ADCP uitgevoerd. Hiermee kunnen in verticale profielen snelheden worden gemeten, van belang voor de circulaties, evenals suspensieconcentraties. Dit laatste is nog niet gedaan voor de Westerschelde. Dwarsstroommetingen zijn éénmalig (op projectbasis); in een aantal vaste meetraaien worden wel dwarsstroommetingen op regelmatige basis uitgevoerd (zie Appendix D). Historische stroombeelden kunnen worden gereproduceerd op basis van dieptekaarten en modelberekeningen. Informatie over de bodemsamenstelling is te ontleen aan de gebiedsdekkende McLaren meting van 1993. Kennis omtrent de bodemsamenstelling is belangrijk voor de modellering.

Conclusies

Rond de Westerschelde zijn beschikbaar:

- gebiedsdekkende dataset met hydrodynamische en morfologische parameters in de geulen;
- lokale dataset voor intergetijdegebied;
- een combinatie van meettechnieken is mogelijk voor de modelafregeling (calibratie en verificatie);

De keuze voor een model is echter eerst nodig om vast te stellen waar en wat moet worden gemeten!

3.6 SCALWEST (2dh) en TRISCAL (3D) modellen (Bliet)

Het SCALWEST model is een 2Dh kromlijng waterbewegingsmodel, gebaseerd op WAQUA. Het omvat de Westerschelde, de Zeeschelde en de Voordelta. De 'forcing' bestaat uit het getij (waterstanden op de zeerand en debieten op de rivierrand), rivierafvoer en wind (richting en snelheid). Er zijn drie versies van het model: grof (9.000 roosterpunten), fijn (82.000 roosterpunten) en het drie-dimensionale model TRISCAL voor het oostelijk deel van de Westerschelde (25.000 roosterpunten met 7 lagen d.w.z. 175.000 rekenpunten). De calibratie voor SCALWEST is gedaan voor een doottij en een springtij in 1996; de verificatie

voor een gemiddeld tij en voor een storm, beiden eveneens in 1996. Het Zeeschelde model is apart gecalibreerd en geverifieerd voor condities in 1995. De verschillen tussen het fijne en grove model bedragen enkele cm's voor de waterstanden. De modelresultaten kunnen orde 0,1 m van de metingen verschillen. Bij Antwerpen zijn deze verschillen groter: onder stormcondities 0,3 à 0,4 m.

Met TRISCAL is de secundaire stroming vergeleken met zowel het quasi-3D model (geparameteriseerd) als met veldwaarnemingen. In het laatste geval is sprake van een redelijke, tenminste kwalitatieve, overeenkomst.

De ruwheden op de ondiepe delen (platen) vormen nog een onzekere factor, omdat de calibratie o.a. gebeurt op basis van debieten, maar dan in de diepe geulen. Onder stormcondities hebben de platen een verslechterende invloed op de algehele waterbeweging.

Op de rivier zijn de Courant getallen groot en de resulterende rekentijdstappen klein. Verder is het gebied gevoelig voor opslinging. Voor de zoutverdeling is een lange inspeeltijd benodigd, die het gevolg is van de relatief lage bovenafvoer van de Schelde; de resultaten zijn gevoelig voor kleine veranderingen.

Conclusies

- de water- en zoutbeweging van de Westerschelde zijn goed te reproduceren;
- er zijn veel toepassingen mogelijk;
- de randvoorwaarden onder stormcondities moeten worden aangepast;
- de reproductie van de waterbeweging op de boven-Zeeschelde is matig (ten tijde van de bouw van het model waren er weinig waterstands- en debietmetingen en geen digitale bodemgegevens).

Aanbevolen wordt de zoutverdeling te laten inspelen met het SCALWEST-grof model. Op dit moment wordt er gewerkt aan de calibratie/validatie van het model voor de situatie na de laatste verdieping. Hierbij wordt ook aandacht besteed aan de Zeeschelde en de zijrivieren.

Discussie

Er bestaat geen duidelijkheid of de hydrodynamische modellen goed omgaan met *stroom*-asymmetrie; met name de M_4 -getijcomponent is hierop van invloed. Stroomasymmetrie bepaalt of een estuarium vloed- dan wel ebdominant is en heeft derhalve consequenties voor de morfologische ontwikkeling van het gebied. Er zijn geen permanente stroommetingen beschikbaar, waaruit een betrouwbare set getijcomponenten kan worden afgeleid; wel kan informatie hieromtrent worden onttrokken aan incidentele metingen.

3.7 DELFT2D-MOR, RAM-MOR, DELFT3D-FLOW (met on-line sediment en morfologie) en toepassing op de Westerschelde (Roelvink)

DELFT2D-MOR

Met DELFT2D-MOR worden sedimenttransporten en resulterende bodemveranderingen onder invloed van stroming en golven berekend. De koppeling is off-line, d.w.z. de waterbeweging wordt niet beïnvloed door de (gelaagdheid van de) concentratievertikalen middels damping van de turbulentie. Andere karakteristieken zijn:

- 2D ondiepwatervergelijkingen;
- diverse formuleringen voor het evenwichtstransport van zand;
- quasi-3D aanpassing via advection-diffusie vergelijking volgens Galappatti (vertraagd oppikken en sedimenteren van sediment), met bochtstroming en het hellingseffect;
- bodemveranderingen via een expliciet schema, getijgemiddeld;
- continuïteitscorrectie.

De berekeningen voor roosters met een fijne resolutie zijn vaak intensief; simulatieperioden van 1 tot enkele jaren zijn mogelijk. Toepassing voor de Drempel van Hansweert over een periode van 1 jaar geeft weliswaar een patroon van erosie- en sedimentatiegebieden, echter de berekende sedimentatie treedt niet op in het gebied waar veel moet worden gebaggerd.

In de quasi-3D versie wordt de spiraalstroming dwars op de hoofdstroming en afhankelijk van de kromtestraal verondersteld. Er wordt geen onderscheid gemaakt tussen een geforceerde bochtstroming door de geometrie en een 'vrije' stroming. Uitgevoerde simulaties met quasi-3D zijn nog relatief kort, d.w.z. er kan nog sprake zijn van een inspeelgedrag.

Conclusies m.b.t. DELFT2D-MOR voor de Westerschelde zijn:

- Uitgevoerde simulaties zijn kort t.o.v. optredende tijdschalen;
- Patronen liggen 'in de buurt' maar grootte-veranderingen zijn erg onnauwkeurig;
- Model speelt in feite nog in; veel langere simulaties zijn gewenst om echt gedrag te zien;
- Quasi-3D geeft verbetering t.o.v. 2D, en is nog verder te verbeteren, maar blijft onvolledig in complexere systemen.

Mogelijke oplossingen:

- enerzijds naar grotere tijdschalen door snelle bodem-updating, op basis van regelmatig maar minder vaak ververste transportberekeningen en eenvoudige benadering transporten met RAM-MOR;
- anderzijds naar meer detail door volledig 3D berekeningen daar waar dit noodzakelijk is (bijv. de simulatie van kortsluitgeulen, zie Par. 3.4).

RAM-MOR

Een toepassing van RAM-MOR betreft de morfologische veranderingen van de monding van de Oosterschelde en de Grevelingen, zie Appendix D. Er zijn weliswaar verschillen met waarnemingen maar ook overeenkomsten, ofwel het morfologische gedrag zit besloten in het model.

DELFT3D-FLOW (met on-line sediment en morfologie)

Kenmerken:

- 3D ondiepwatervergelijkingen;
- Bodemconcentratie zand volgens van Rijn (2000);
- Slib volgens Partheniades-Krone;
- 3D advection-diffusie met meerdere zand-slib fracties;
- Terugkoppeling concentratie op dichtheid is mogelijk en dus op de turbulentie en dichtheidsstroming;
- Bodemverandering iedere flow-tijdstap, maar met een tijdschaalfactor;
- Koppeling met bodemmodule van Van Ledden en Fluid Mud model.

Voor de Drempel van Hansweert is met een simulatie van 1 maand een vergelijking uitgevoerd tussen quasi-3D en 3D (zonder zout-zoet verschillen). De verschillen zijn klein voor dit geval. Er is meer vergelijking met metingen nodig.

Conclusies

- Op basis van de bestaande modellen 2D berekeningen over langere tijdschalen doorzetten;
- Verder gaan met 3D toepassingen;
- Simultaan zand en slib meenemen, indien beheers-/beleidsvragen dit expliciet vereisen (bijv. vragen m.b.t. de bodemsamenstelling). Echter, voorlopig de aandacht concentreren op zand.
- Hoe om te gaan met de ruwheid op de platen.

Discussie

Een 3D *hydrodynamisch* model is superieur aan een 2Dh model (dichtheidsstromingen door zout-zoet verschillen, bochtstromingen). De keuze voor een 3D dan wel een 2Dh *morfologisch* model wordt bepaald door het type probleem. Een 2Dh model kan goed voldoen voor vragen, die verband houden met de grootschalige morfologie met hieraan gerelateerde grote tijdschalen. Voor detailproblemen vormt een 3D benadering wellicht een betere aanpak. Een quasi-3D modellering wordt vooralsnog als minder adequaat beschouwd. In de praktijk zal voor een 3D model een afweging moeten worden gemaakt tussen de ruimtelijke resolutie en de simulatieduur. Desnoods moet worden ingeleverd op de resolutie, zodat langere runs kunnen worden gemaakt (een vergroving met een factor 2 maakt een 8-maal langere simulatieduur mogelijk). Het vaststellen van maatgevende

condities is dan voor een relatief grof model minder van belang, omdat jaarsimulaties met variërende condities kunnen worden gemaakt. Eventueel kan onderscheid worden gemaakt tussen grove schematisaties wanneer het gaat om begrip van het systeem en gedetailleerde simulaties voor specifieke beheersproblemen. In het eerste geval kan dit betekenen dat kortsluitgeulen, die een belangrijke morfologische functie hebben, niet gemodelleerd worden. De mogelijke consequenties hiervan dient men zich dan te realiseren. Kortom: een fijnmazig 3D morfologisch procesmodel voor lange-termijn berekeningen (decennia) voor de gehele Westerschelde wordt momenteel als niet haalbaar beschouwd. Voor praktische problemen op deelgebieden kan wel de toepassing van een fijnmazig 3D model worden overwogen.

3.8 ESTMORF voor de Westerschelde (Wang)

ESTMORF is een dynamisch-empirisch model voor estuarine morfologie. Karakteristieken zijn:

- ontwikkeld door WL | Delft Hydraulics en Rijkswaterstaat sinds begin 90-er jaren;
- voorspelling van de morfologische gevolgen van menselijke ingrepen op getijsystemen met inbegrip van baggeren en storten;
- gebruikmaking van een 1D netwerk waterbewegingsmodel (IMPLIC of SOBEK);
- toepassing van empirische evenwichtsrelaties;
- gebruik van de advectie-diffusie vergelijking voor de lange-termijn gemiddelde concentratie;
- met plaat-geul interactie.

Bijvoorbeeld, met ESTMORF kan een baggerstrategie worden geoptimaliseerd. Toepassingen zijn: het Friesche Zeegat (Waddenzee), de Westerschelde, het Noordelijk Deltabekken, Southampton Water (UK), de Humber (UK) en de Yangtze (China). Voor de Westerschelde is de oorspronkelijke IMPLIC-schematisatie uitgebreid met de Voordelta en het Land van Saafdinge. De calibratie van het Westerschelde model is uitgevoerd voor de periode 1968-1997. Belangrijkste calibratieparameters zijn de evenwichtsconstanten. Resultaten zijn voor de geulen nauwkeuriger dan voor de intergetijdegebieden. ESTMORF is toegepast in het kader van de projecten MOVE (invloed van verdieping) en LTV (vaststellen baggerhoeveelheden). Een volgende toepassing zal zijn met inbegrip van de Voordelta.

Conclusies

- ESTMORF is complementair aan andere benaderingen (grotere tijd- én ruimteschalen).
- Afhankelijk van de vraagstelling is de inzet van bijv. ESTMORF dan wel DELFT3D gewenst;
- Simulatie van lange-termijn ontwikkelingen is mogelijk;
- Lange termijn toepassing impliceert tevens grootschalig;
- het 1D-netwerk ligt vast, d.w.z. er kunnen geen nieuwe geulen ontstaan. Wel kunnen zij in afmetingen veranderingen.

Nog ongebruikte potenties van het model zijn:

- een grotere nauwkeurigheid m.b.t. de intergetijdegebieden (d.w.z. een uitgebreidere functionaliteit);
- een grotere nauwkeurigheid m.b.t. voorspellingen van baggerhoeveelheden (subgrid);
- het effect van de zeespiegelstijging;
- het effect van een verandering van de getijslag (bijv. de 18,6 jaar cyclus).

Discussie

Omdat ESTMORF uitgaat van een 1D netwerk, liggen de geulen al bij de aanvang van de simulatie vast. Er kunnen geen nieuwe geulen ontstaan; wel kunnen zij van afmetingen veranderen. Voor de Westerschelde behoeft dit geen probleem te zijn, aangezien de (hoofd)geulen, afgezien van hun oppervlak, niet veranderen. Kortsluitgeulen kunnen echter wel ontstaan of van plaats veranderen, hetgeen niet door ESTMORF wordt gesimuleerd.

3.9 Cellenconcept voor de Westerschelde (Winterwerp)

Het cellenconcept is een schematisatie en aggregatie van de transportcapaciteit in het meergeulenstelsel van de Westerschelde om de stabiliteit van dat meergeulenstelsel te bestuderen als functie van ingrepen.

Basisaannamen zijn:

- de Westerschelde verkeert nu in een dynamisch evenwicht;
- het meergeulenstelsel blijft gehandhaafd als de macro-cellen gehandhaafd blijven;
- analyses zijn daarom gerelateerd aan de morfologische tijdschaal(/-schalen) van het systeem;
- effect van ingrepen moet dus ook gezien worden in relatie tot die morfologische tijdschaal.

Cellen zijn plaat-geulcomplexen op meso- of macroschaal. Op basis van een stabiliteitsanalyse voor een elementaire cel kan worden aangetoond dat de stort in één van de geulen niet meer mag bedragen dan ca. 10% van de bruto transportcapaciteit van die geul.

Het cellenconcept is in 2000 in het kader van het LTV-project opgezet en met waarnemingen rondom Bath en de Schaar van de Spijkerplaat getoetst. In 2001 heeft een verificatie plaatsgevonden voor een aantal macro-cellen (vloedgeulen Honte, Everingen, Schaar van Waarde en Schaar van de Noord en de ebgeul Middelgat). Voor de Westerschelde blijkt dat momenteel de totale stortcapaciteit waarschijnlijk is bereikt.

Toepasbaarheid van het cellenconcept kan worden gevonden in de optimalisatie van het bagger-/stortbeleid op basis van:

- bagger-/stortkosten;
- invloed op de integriteit (of stortcapaciteit) van het systeem, bijv. via een kostenfunctie;
- integratie bagger-, stort- en zandwinbeleid.

Gerealiseerd moet worden dat het cellenconcept nieuw is en nog niet uitvoerig is toegepast.

Verdere ontwikkelingen (kunnen) zijn:

- effect van variërende korrelgrootte;
- gebruiken voor schematisatie bruto en netto sedimenttransporten;
- uitwisseling tussen de cellen (momenteel ontbreekt dit);
- geometrie van de geulen;
- lokaties van baggeren en storten;
- gedrag van de kortsluitgeulen en de dynamica;
- bepaling baggervolumina;
- meenemen effecten van autonome ontwikkelingen.

Discussie

Gevraagd wordt naar de nauwkeurigheid van de bruto transporten, welke binnen LTV zijn gebruikt. Deze nauwkeurigheid wordt geschat op enkele tientallen procenten, echter minder dan een factor twee. Verder wordt gesuggereerd om de methode van McLaren te hanteren als alternatief voor het cellenconcept. Deze methode heeft een fysische achtergrond, gebaseerd op de verandering in de korrelverdeling van het bodemsediment. Echter, bedacht moet worden dat de McLaren methode is gebaseerd op waarnemingen en derhalve geen voorspellende potentie heeft. Daarnaast bestaan er nog vragen m.b.t. de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de methode.

3.10 Samenvatting bevindingen

Beleidsaspecten:

- Veiligheid, toegankelijkheid en natuurlijkheid:
 - ⇒ wat zijn de te verwachten veranderingen in waterstand en stromingen?
 - ⇒ hoe om te gaan met baggeren, storten en zandwinning?
 - ⇒ wat zijn de gevolgen van inrichting van het estuarium op de biologie?
- Domein:
 - ⇒ voordelta, Westerschelde en Beneden Zeeschelde
- Schalen:
 - ⇒ grootschalig/langjarig, én
 - ⇒ kleinschalig/kortlopend (kortsluitgeulen!)
- Voorspel horizon:
 - ⇒ tot 30 à 50 jaar
- Indicatoren:
 - ⇒ nader vast te stellen t.b.v. beheer en beleid

Kennis en modellen

- Geïdealiseerde modellen zijn nodig voor een beter begrip;
- Ondersteuning bij het vaststellen van indicatoren;

- Modellen naast elkaar te gebruiken;
- Historisch besef is cruciaal (incl. geologie);
- Tijdschalen: beleidshorizon ~ voorspel horizon
- Dynamiek en cyclisch gedrag: vrije en geforceerde ontwikkelingen
- Veel data zijn beschikbaar.

Mogelijkheden en beperkingen

- 3D-effecten (2Dh vs. quasi-3D vs. 3D);
- Gedrag intergetijdegebieden;
- Calibratieproblemen / data;
- Rekentijd vs. nauwkeurigheid/resolutie;
- Korreldiameter en bodemsamenstelling.

Programma van eisen

- Aggregatie is nodig voor beheer/beleid;
- Domein/schalen enz - zie 'Beleidsaspecten';
- Aangeven van onzekerheden van de verschillende modelconcepten en hoe hiermee moet worden omgegaan.

Fasering

- Over 1 jaar beroepsprocedure huidige verdieping;
- Over 5 jaar: LTV;
- Parallelle ontwikkelingen?

4 Resultaten discussies in subgroepen

Zoals aangegeven in Par. 2.2 is in vier subgroepen de eerder gepresenteerde informatie doorgesproken en geanalyseerd in relatie tot doelen van de workshop. De samenstelling van de subgroepen is vermeld in Appendix C.

4.1 Groep 1

Groep 1 heeft de problematiek benaderd vanuit de technologie (wat kunnen we?).

Allereerst zijn de bevindingen van het ochtenddeel (de presentaties) samengevat:

Gewenste en benodigde ontwikkelingen zijn:

- een goede cq. verbeterde communicatie tussen de beheerders en de modelleurs;
- een betere afstemming op wat mogelijk is;
- een combinatie van modellen;
- integratie van kennis in verschillende modellen;
- meerwaarde van procesmodellen t.o.v. ESTMORF, het cellenconcept etc.
- meer (en voor modellen specifieke) velddata;
- verbetering van de toetsing van de modellen (middels 'hindcast' studies?);

Programma van eisen voor een operationeel morfologisch model

- vaststellen domein (ruimte en tijd) op basis van te beschouwen ingrepen;
- onderbouwing en evaluatie nauwkeurigheid van het cellenconcept;
- integratie van kennis en combinatie van modellen;
- op korte termijn (max. 5 jaar) kwantitatief (baggeren en storten);
- op lange termijn (30-50 jaar) kwalitatief;
- ontwikkeling intergetijdegebied kwantitatief;
- effecten van doottij-springtij, stormen en hoge rivierafvoeren onderzoeken;
- 3D effecten (apart) onderzoeken.

Marsroute

- Leren vanuit toepassingen van huidige modelconcepten, d.w.z. kennis opbouwen en uitwisselen vanuit de toepassingen;
- Effecten (3D, events, springtij-doottij) apart onderzoeken op belang.

4.2 Groep 2

Groep 2 heeft de problematiek benaderd vanuit de technologie (wat kunnen we?).

- *Op welke relevante tijd- en ruimteschalen kan zo'n model voorspellingen doen? (de vraag is geïnterpreteerd als: wanneer kan een morfologisch model operationeel zijn?)*

⇒ Simulatie van het gedrag van kortsluitgeulen met een 3D model is over 1 jaar technisch mogelijk;

- ⇒ Simulatie van de grootschalige morfologie met RAM-MOR is over 5 jaar technisch mogelijk;
- ⇒ Daarom deze toepassingen met het beschikbare instrumentarium aanpakken en testen;
- ⇒ Andere modellen als ESTMORF, geïdealiseerde modellen erbij betrekken.
- *Welk domein (Voordelta, Beneden Zeeschelde?) kan gemodelleerd worden?*
 - ⇒ Alle domeinen kunnen gemodelleerd worden, maar lastig zijn het slibgedrag (definitie randvoorwaarden, zie hierna) en het voorkomen van onerodeerbare lagen.
 - ⇒ slibgedrag is m.n. van belang voor de ecologie en minder voor de morfologie op korte termijn.
- *Kan met maatgevende condities gewerkt worden, en zo, welke?*
 - ⇒ zand: ja, één en ander situatie-afhankelijk;
- *Zijn er leemtes in kennis van belang voor modelontwikkeling?*
 - ⇒ ruwheid als functie van stroming en sediment
 - ⇒ erosieweerstand materiaal (slib) en invloed onerodeerbare lagen;
 - ⇒ effect golven en droogvallende platen.
- *Kennisintegratie: hoe kan bestaande of nog te ontwikkelen kennis geïntegreerd worden?*
 - ⇒ meer velddata is nodig voor (de validatie van) modellen;
 - ⇒ toepassing van modellen in samenhang met elkaar (vergelijken).
- *Welke output, c.q. parameters kan het model leveren in relatie tot bijv. indicatoren?*
 - ⇒ bepaling arealen en geuldoorsnedes is mogelijk;
 - ⇒ slib en morfodynamiek is lastiger te karakteriseren.
- *Hoe kan het model gecalibreerd worden en welke nauwkeurigheds, c.q. betrouwbaarheid kan gehaald worden en welke data zijn daartoe noodzakelijk?*
 - ⇒ meer ruimtelijke metingen (toepassing HF radar);
 - ⇒ meer combineren van metingen uit verschillende projecten;
 - ⇒ nauwkeurigheid van metingen is bepalend.

4.3 Groep 3

Groep 3 heeft de problematiek benaderd vanuit de vraagkant (wat willen we?).

- Richten (eerst) op verkrijgen van *inzicht*:
 - ⇒ via meerdere modellen
 - ⇒ op basis van conservatieve aannamen
 - ⇒ op verschillende schalen;
- Realistische benadering, d.w.z. je moet willen (vragen) wat je kunt (met modellen);
- De referentiesituatie (T0) moet goed bekend zijn; hier vanuit tendensen onderzoeken;
- Waterbewegingsmodellen moeten beter worden om door te gaan naar sedimenttransporten en vervolgens morfologie; waterbewegingsmodellen dienen dus geoperationaliseerd en gedetailleerd verbeterd te worden;
- Systeem is 'onvoorspelbaar'; aandacht dient uit te gaan naar hoe hiermee omgegaan moet worden;
- Het beleid is variabel en wordt globaal elke 5 jaar aangepast ('instabiel'), d.w.z. dit is een randvoorwaarde voor de voorspellingshorizon; in het kader van de Europese wetgeving is er minder vrijheid beheer en beleid te variëren ('stabiel');

- Het scala aan gedetailleerde vragen van de Directie Zeeland is omvangrijk. Dit vereist een onderzoeksprogramma maar ook een 'monitoring' programma. Metingen dienen op 'maat' te zijn, d.w.z. passend bij de modellen.

4.4 Groep 4

Groep 4 heeft de problematiek benaderd vanuit de vraagkant (wat willen we?).

M.b.t. de vraagkant is eerst een drietal hoofdpunten onderscheiden, die te maken hebben met het 'in de vingers krijgen' van het morfologisch gedrag:

- **effect huidig menselijk ingrepen;** gegevens zijn beschikbaar per vak en per maand in m³; toekomstscenario's moeten worden opgesteld voor baggeren, storten en onttrekkingen met als centrale vraag: hoe ziet de bodem eruit?
- **historisch materiaal opwerken;** tussenperiodes moeten onderscheiden kunnen worden; 'hindcasts' geven vertrouwen in voorspellingen met modellen;
- **klimaat invloeden kwantificeren;** duidelijke scenario's definiëren (18,6 jr cyclus en 60 cm/eeuw zeespiegelstijging);

Het morfologisch modellensysteem moet zowel voor beleids- als beheersaspecten een functie vervullen:

<u>Beleid</u>		<u>Beheer</u>
aggregatie	← morf. modellen systeem →	detaillering
lange termijn doelstelling	≠ (strijdig met)	korte termijn doelstelling
beleidsindicator	koppeling met	beheersindicator
behoud meergeulenstelsel	→	mesoschaal dynamiek: kortsluitgeulen behouden
arealen platen/slikken + schorren/ondiep water	→	idem
ecologisch functioneren	→	differentiatie in bodemsamenstelling en beweeglijkheid → ecotopenstelsel

- Voor een goede analyse is onderscheid nodig tussen:
 - ⇒ natuurlijk gedrag;
 - ⇒ exogene ontwikkeling;
 - ⇒ historische ingrepen;
 - ⇒ huidige (voorgenomen) ingrepen.

- Dit moet worden geëvalueerd door:
 - ⇒ relatieve benadering;
 - ⇒ absolute inhoudsbepaling.
- Eisen aan het modelsysteem zijn:
 - ⇒ flexibel in schaalniveaus (ruimte en tijd);
 - ⇒ inzet van meerdere modellen kan nodig zijn en blijven;
 - ⇒ in het laatste geval moet er een goede afstemming van bestaande modellen zijn.

5 Hoofdpunten van de workshop en discussie

5.1 Hoofdpunten

1. Systeemkennis ontwikkelen in samenhang met 'monitoring';
2. Belang onderkennen van de historie voor de resultaten;
3. Ervaring opdoen met meerdere modellen;
4. Afweging wanneer 3D en wanneer 2D; afhankelijk van case;
5. Belang ruwheid/hydraulische weerstand, m.n. voor de intergetijdegebieden;
6. Belang goede reproductie waterbeweging, incl. die voor de intergetijdegebieden;
7. Communicatie tussen beheerder en onderzoeker: *wat willen we?* vs. *wat kunnen we?*;
8. Voorspelbaarheid en voorspelhorizon; is er sprake van een evenwicht?
9. Onzekerheden kunnen aangeven; belang hiervoor van 'hindcast' studies;
10. Inbrengen expertise van gebruiker (historie);
11. Beleid vraagt om aggregatie; beheer verlangt detail;
12. Voor opstellen van indicatoren is een goed begrip van het systeem vereist;
13. Relatieve benadering d.w.z. veranderingen vaststellen t.o.v. een referentie.

5.2 Discussie

Een constatering is dat niet alle vragen zonder meer met een alles overkoepelend model kunnen worden beantwoord. Het onderzoek moet zo gestuurd worden, dat dit in de toekomst wel het geval is. Mogelijke aanpak zou kunnen zijn: de toepassing van eerst een grof model en vervolgens inzoomen op deelgebieden, waarna specifieke (3D-)effecten meegenomen kunnen worden. Opgemerkt wordt dat veel vragen 3D gerelateerd zijn en dat een 2D aanpak een te sterke schematisatie kan zijn.

Voorgesteld wordt om twee cases 'als kapstok' voor de Westerschelde te definiëren, waarvoor bovengenoemde aspecten verder uitgewerkt kunnen worden. De cases moeten uitgewerkt worden door een groep bestaande uit onderzoekers, medewerkers van Dir. Zeeland en van RIKZ. De twee cases moeten tijdens de voorstudie worden gedefinieerd.

Het belang van een continue 'monitoring' wordt sterk benadrukt 'Gedetailleerde vragen vereisen gedetailleerde metingen', ook al heeft dit voor Rijkswaterstaat nogal wat consequenties. Het beschikbaar stellen van data sets (ook van bestaande metingen) is van groot belang.

A Lijst van deelnemers

De volgende personen hebben deelgenomen aan de workshop 'Morfologisch model Westerschelde' (in alfabetische volgorde):

B. Blik	SVASEK
L. Dekker	Directie Zeeland
C. Israel	RIKZ Middelburg
A. Hibma	Technische Universiteit Delft
R. Hoeksema	RIKZ Middelburg
M.C.J.L. Jeuken	WL Delft Hydraulics
B. Kornman	RIKZ Middelburg
C. Kuijper	WL Delft Hydraulics
G.J. Liek	RIKZ Middelburg
P. Lievense	Directie Zeeland
C. van der Male	RIKZ Middelburg
Y. Meersschaut	WL Borgerhout (België)
T. de Mulder	WL Borgerhout (België)
J.A. van Pagee	RIKZ Middelburg
B.G.T.M. Peters	RIKZ Middelburg
T. Pieters	Bureau Getijdewateren Vlissingen
P. Roelse	RIKZ Middelburg
J.A. Roelvink	WL Delft Hydraulics
H. Schuttelaars	Rijksuniversiteit Utrecht/Technische Universiteit Delft
G.S. Stelling	WL Delft Hydraulics
R. Termaat	Directie Zeeland
H. Verbeek	RIKZ Middelburg
H.J. de Vriend	WL Delft Hydraulics
T. Walhout	RIKZ Middelburg
Z.B. Wang	WL Delft Hydraulics
C. van Westenbrugge	Directie Zeeland
J.C. Winterwerp	WL Delft Hydraulics

Totaal aantal deelnemers Workshop: 27

B Agenda workshop

9:00 - 9:30	ontvangst met koffie/thee
9:30 - 9:45	Han Winterwerp (WL) - dagvoorzitter: opening en doel bijeenkomst
9:45 - 10:00	Hans van Papee (RWS/RIKZ): toelichting beleidsvragen en programma van eisen
10:00 - 10:15	Henk Schuttelaars (RUU/TUD): geïdealiseerde modelsystemen
10:15 - 10:30	Anneke Hibma (TUD): ontstaan eb- en vloedgeulen in de Westerschelde
10:30 - 10:45	Claire Jeuken (WL): de dynamica van geulontwikkeling en onerodeerbare lagen
10:45 - 11:00	Harm Verbeek (RWS / RIKZ): overzicht beschikbare data en voorgenomen meetcampagnes
11:00 - 11:15	koffie-/theepauze
11:15 - 11:30	Bram Blik (SVASEK): SCALWEST (2Dh) en TRISCAL (3D) modellen
11:30 - 11:45	Dano Roelvink (WL): DELFT2D-mor en toepassing op de Westerschelde
11:45 - 12:00	Zheng Bing Wang (WL): ESTMORF voor de Westerschelde
12:00 - 12:15	Han Winterwerp (WL): het cellenconcept
12:15 - 13:15	lunch
13:15 - 14:45	discussie in subgroepen
14:45 - 15:00	koffie-/theepauze
15:00 - 15:30	terugmelding van discussies subgroepen aan plenaire vergadering
15:30 - 16:30	plenaire discussie over genoemde aandachtspunten
16:30 - 16:55	Han Winterwerp en Cees Kuijper (WL): samenvatting van discussies
16:55 - 17:00	sluiting

C Indeling in subgroepen

De indeling in de vier subgroepen is hieronder weergegeven. De in vet gedrukte namen zijn de voorzitters/-ster en rapporteurs. Groepen 1 en 2 leggen het accent op *Wat kunnen we?* en groepen 3 en 4 op *Wat willen we?*

Groep 1	Groep 2
Hibma	Hoeksema
Liek	Kornman
van Pagee	Meersschaut
Pieters	Roelse
Schuttelaars	Roelvink
van Westenbrugge	Termaat
Wang	de Vriend

Aandachtspunten groep 1 & 2 (wat kunnen we?):

- op welke relevante tijd- en ruimteschalen kan zo'n model voorspellingen doen,
- welk domein (Voordelta, Beneden Zeeschelde?) kan gemodelleerd worden,
- kan met maatgevende condities gewerkt worden, en zo, welke,
- zijn er leemtes in kennis van belang voor modelontwikkeling,
- kennisintegratie: hoe kan bestaande of nog te ontwikkelen kennis geïntegreerd worden,
- welke output, c.q. parameters kan het model leveren in relatie tot bijv. indicatoren,
- hoe kan het model gecalibreerd worden en welke nauwkeurigheid, c.q. betrouwbaarheid kan gehaald worden en welke data zijn daartoe noodzakelijk,
- welke eisen worden gesteld aan de nauwkeurigheid van de waterbeweging (bijv. M₄-component),
- modelgedrag - is bijvoorbeeld evenwicht mogelijk, c.q. realistisch,
- kunnen/moeten korrelverdeling, bodenvormen en asymmetrie daarin meegenomen worden,
- welke mogelijkheden biedt de informatica.

Groep 3	Groep 4
Blik	Dekker
Lievense	Israel
van der Male	Jeuken
Peters	Kuijper
Stelling	de Mulder
Winterwerp	Verbeek

Aandachtspunten groep 3 & 4 (wat willen we?):

- programma van eisen in relatie tot beheersvragen en aandacht voor o.a.:
 - ◊ koppeling met ecologie,
 - ◊ bagger-stortstrategieën,
 - ◊ compenserende maatregelen.
- op welke relevante tijd- en ruimteschalen moet zo'n model voorspellingen doen,
- welk domein (voordelta, Beneden Zeeschelde?) moet gemodelleerd worden,

- welke output moet het model leveren in relatie tot bijv. indicatoren,
- moet korrelverdeling en bodemvormen meegenomen worden
- is één model mogelijk/wenselijk - zo niet, afstemming van modellen,
- wat is de prioritering en fasering in ontwikkeling,
- wat zijn beschikbare, c.q. te vergaren data,
- informatica-aspecten (hoe het model t.z.t. te gebruiken),
- gewenste toetsingscriteria, c.q. indicatoren (denk aan getij-asymmetrie, dynamiek-parameter, enz.).

D Overhead sheets van de presentaties

Beleidsvragen en Programma van Eisen

door

Hans van Pagee

(RWS/RIKZ)

ZEEKENNIS

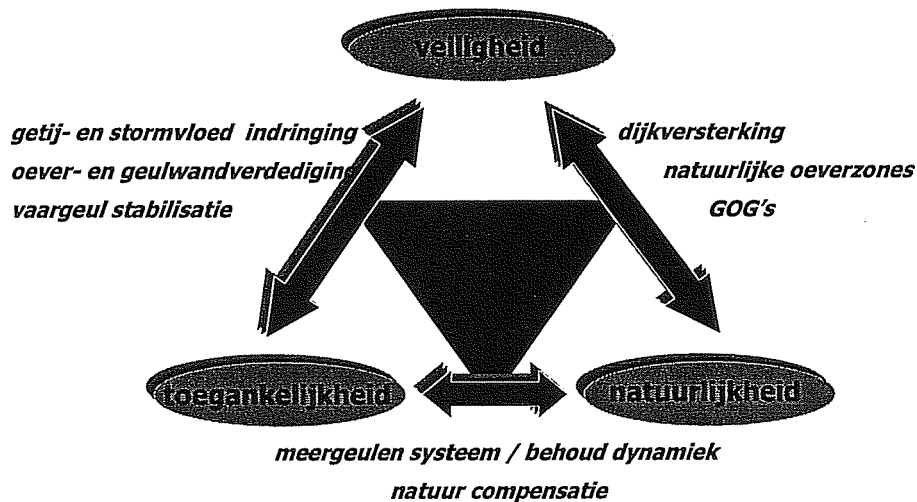
**Workshop Morfodynamische
Modellering**

16 oktober 2001

Doelstelling ZEEKENNIS

Het project ZEEKENNIS levert:
die kennis op het gebied van
hydrodynamica, morfologie en biologie,
en de samenhang daartussen,
die nodig is om vragen op het gebied van
goederen en diensten van het Schelde-
estuarium (met name t.a.v. veiligheid,
toegankelijkheid en natuurlijkheid) te
kunnen beantwoorden

LTV kerndoelen als sturing voor ZEEKENNIS



Morfodynamische Modellerling, 16 oktober 2001

Voorbeelden van beleidsvragen m.b.t. veiligheid

- wat zijn op termijn de gevolgen van klimaatverandering (zware stormen, extreme rivierafvoer) en zeespiegelstijging voor de veiligheid ?
- wat zijn de gevolgen van ingrepen op waterstanden en stromingen ?
- wat is de effectiviteit van GOG's
- Wat zijn de te verwachten veranderingen in waterstanden en stromingen ?

Morfodynamische Modellerling, 16 oktober 2001

Voorbeelden van beleidsvragen m.b.t. toegankelijkheid

- wat is een optimale stortstrategie (oost-west, hoofdgeul- nevengeul, suppleties) ?
- wat zijn aanvaardbare combinaties van vaargeul-verruiming en storten van baggerspecie ?
- wat zijn primaire (en lokale) effecten van storten ?
- welke mate van vaargeul verruiming is toelaatbaar ?
- kan verruimen van neven- en verbindingsgeulen bijdra-gen aan een gewenste morfologische ontwikkeling ?
- kan stortmateriaal worden gebruikt voor inrichtingswerken (NCP, oeverstabiliteit) ?
- Hoe omgaan met baggeren, storten en zandwinning ?

Morfodynamische Modellering, 16 oktober 2001

Voorbeelden van beleidsvragen m.b.t. natuurlijkheid

- welke toetsingscriteria hanteren voor beoordeling van de ontwikkeling van het systeem, voor beleving van natuurwaarden en voor waardering van belangen ?
- Is het mogelijk om de gevolgen van ingrepen zodanig te voorspellen en te monitoren dat bij ongewenste ontwikkelingen het beheer kan worden aangepast ?
- welke kennis moet verder worden ontwikkeld om de morfologische en ecologische ontwikkeling te kunnen voorspellen ?
- Wat zijn de gevolgen van inrichting en beheer voor vissen, vogels en zeezoogdieren ?
(hoe beoordelen , hoe omgaan met vogel- en habitatrichtlijn ?)

Morfodynamische Modellering, 16 oktober 2001

Kernvragen die sturend zijn voor Zeekennis

- **wat zijn de te verwachten
ontwikkelingen in waterstanden en
stromingen ?**
- **hoe omgaan met baggeren en storten ?**
- **wat zijn de gevolgen van inrichting en
beheer voor vissen en vogels ?**
 - **hoe beoordelen ?**
 - **hoe omgaan met vogel- en habitatrichtlijn ?**

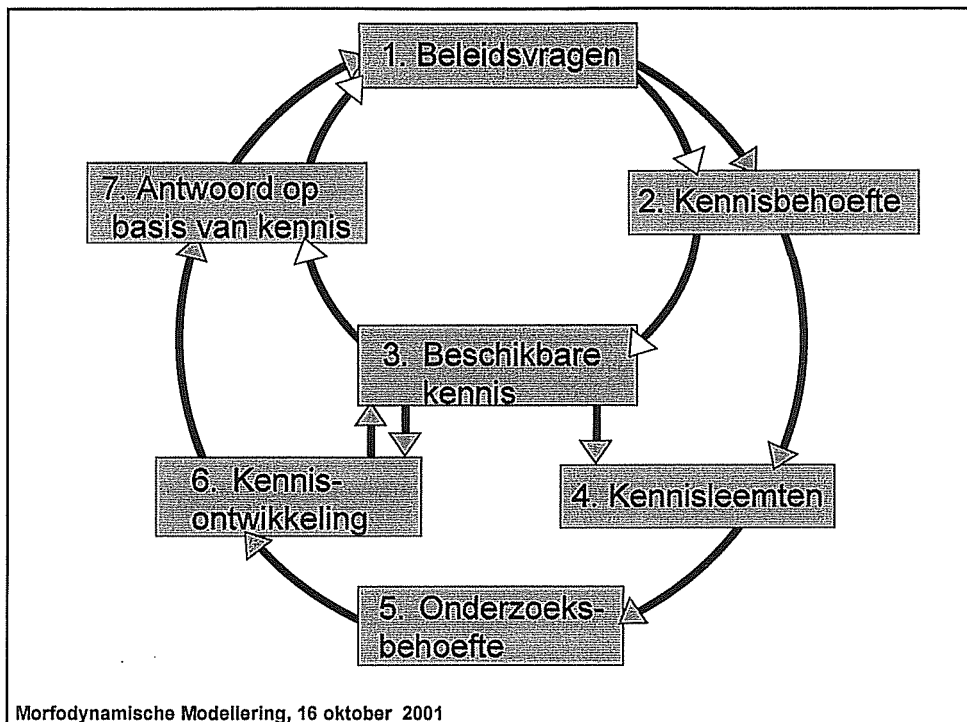
Morfodynamische Modelling, 16 oktober 2001

Van beleidsvraag naar ...

integrale kennisontwikkeling
en beleidsondersteuning

voor het Schelde estuarium

Morfodynamische Modelling, 16 oktober 2001



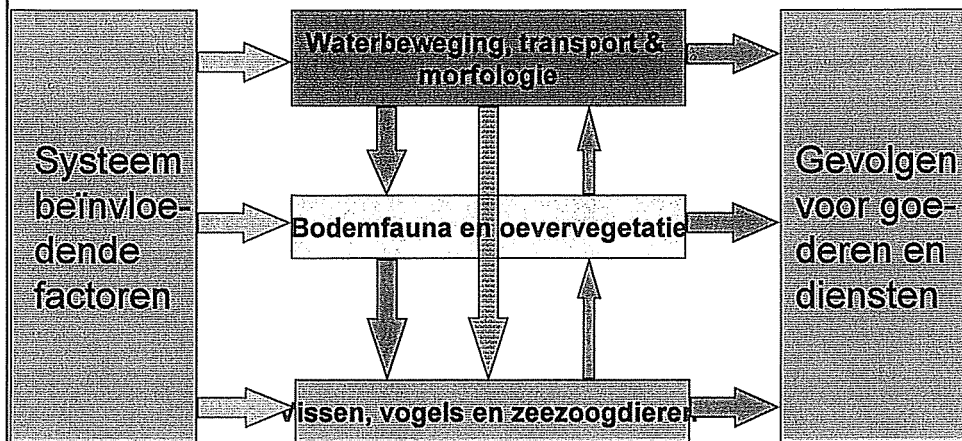
Kennisbehoefte

3 hoofcomponenten:

1. kennis van beïnvloeding door ingrepen, gebruiksfuncties en externe factoren
2. kennis van systeem toestand en doorwerking op fysische, chemische en biologische componenten
3. kennis van gevolgen voor goederen en diensten (veiligheid, natuurlijkheid en toegankelijkheid)

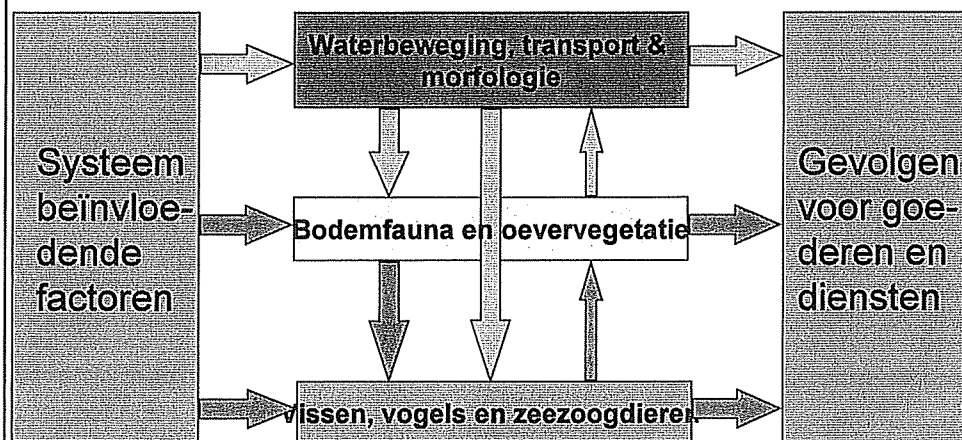
Morfodynamische Modelling, 16 oktober 2001

Systemschets Zeekennis



Morfodynamische Modelling, 16 oktober 2001

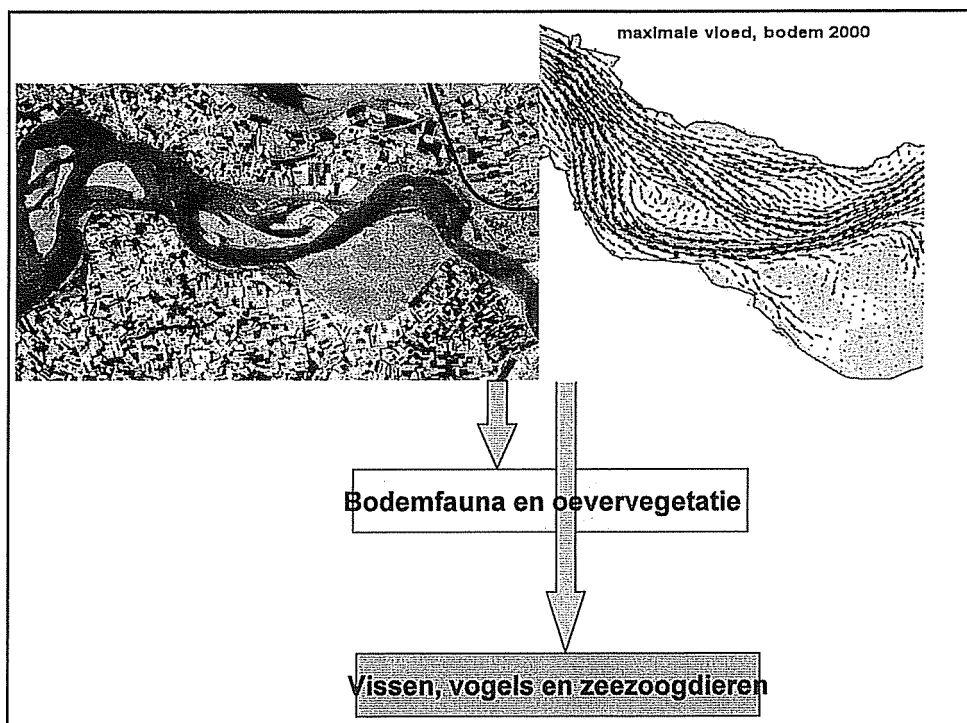
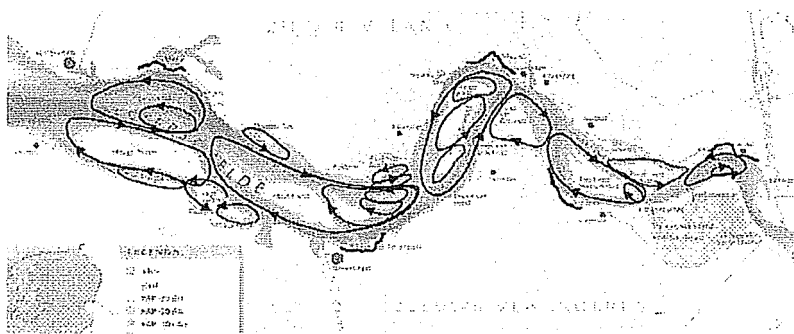
Waterbeweging, transport & morfologie

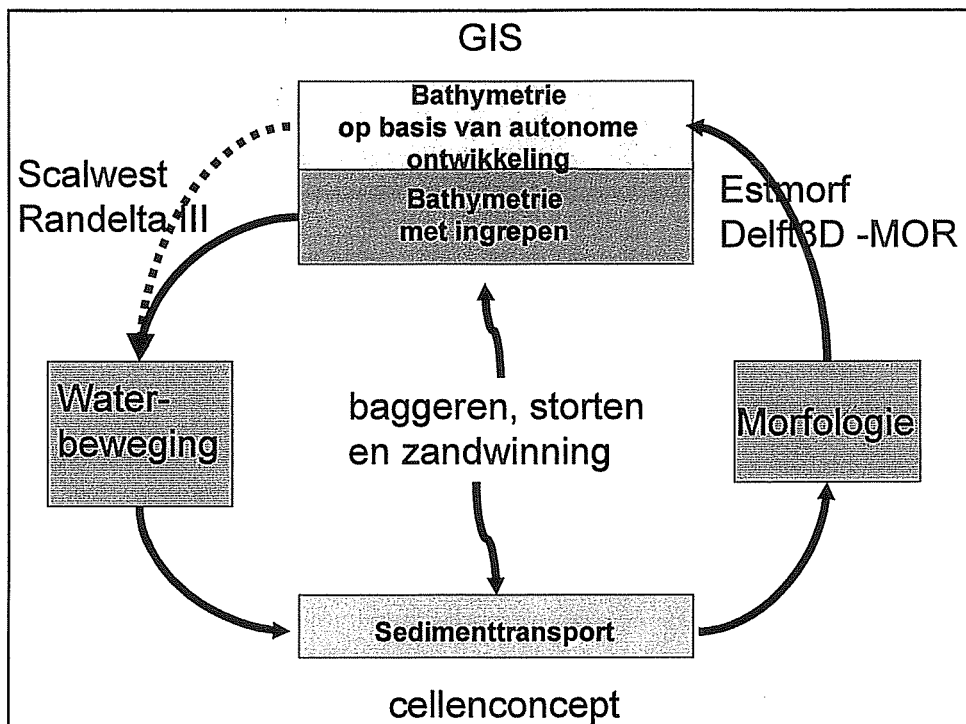


Kennisontwikkeling morfologie

Meergeulenstelsel in de Westerschelde

- ontwikkelingen 1850-1950 / 1933-2000
- stabiliteit meergeulenstelsel





Programma van eisen Morfodynamische modellering

Een voorzet:

1. Aansluiten op de kennis (en modellen) van waterbeweging in geulen en op platen
2. Voorspellen van lokale gevolgen van baggeren, storten (incl. suppleties) en zandwinning
3. Aansluiten op het cellenconcept
4. Voorspellen van te verwachten veranderingen in arealen van geulen, platen, ondiep water, slikken e.d.
5. Voorspellen van te verwachten (autonome) veranderingen in vaargeulen, bodemligging t.p.v. kabels en leidingen en WS-tunnel
6. Bijdrage aan invulling van behoud morfodynamische dynamiek / estuarien karakter met aanvaarbare onderhoudsbaggerwerken.
7. Basis voor Vlaams-Nederlandse samenwerking (LTV doel is beslissingen nemen op basis van kennis)

Morfodynamische Modellering 26 oktober 2004

morfodynamische modellering een bijdrage leveren aan:

1. Het voorspellen van de te verwachten veranderingen in bodemligging als gevolg van ingrepen en autonome ontwikkelingen
2. Inzicht in de omvang en (ruimtelijke en temporele) variabiliteit van het sediment transport, de zandbalans en de uitwisseling met de monding
3. Inzicht in de transportroutes van gestorte baggerspecie (waar gaat dit materiaal naar toe ?)
4. Het voorspellen van de ontwikkeling en stabiliteit van (neven)vaargeulen ten behoeve van betonning e.d.
5. Het voorspellen van veranderingen in de stabiliteit van de bodem ter plaatse van kabels, leidingen en het WS tunnel trace
6. Het voorspellen van veranderingen in de arealen van intergetijdegebieden (incl. slikken en platen) die worden gekenmerkt als belangrijke fourageergebieden voor vogels en/of als (potentiele) habitats voor zeehonden

Morfodynamische Modellering, 16 oktober 2001

Overzicht gerelateerd projecten Schelde estuarium

- Kust2005-Westerscheldemon, Voordelta
- Lange termijnvisie Schelde estuarium (LTV)
- ZEEMOVE - monitoring verdieping
- Natuur Compensatie Programma
- overige regionale projecten: ICBS, SIC, ZEEDELTAws, Nautilus
- WONS-gestuurde projecten (Ruimtecol, WONS-ecotopen, GEM, GEOMOD)

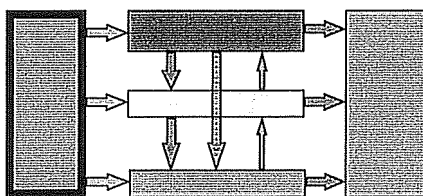
Kickoff - meeting ZEEKENNIS, 26 april 2001

Voorbeeld aanpak voor integrale kennisontwikkeling en toetsing van resultaten aan de beantwoording de beleidsvraag:

hoe omgaan met baggeren en storten ?

Kickoff - meeting ZEEKENNIS, 26 april 2001

Systeem beïnvloedende factoren



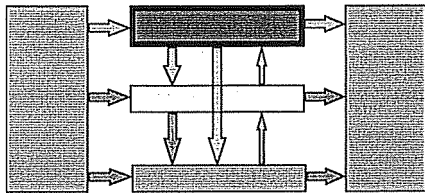
vraag:

hoe omgaan met baggeren en storten ?

- ✓ mate van verruiming
- ✓ omvang stort (verruiming, onderhoud)
- ✓ samenstelling stort
- ✓ opties stortlocatie
- ✓ zandwinning
- ✓ randvoorwaarden Noordzee/WSmond

Kickoff - meeting ZEEKENNIS, 26 april 2001

Waterbeweging, transport & morfologie



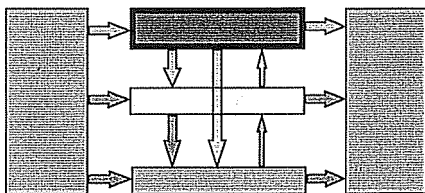
vraag:

**hoe omgaan met
baggeren en
storten ?**

- ✓ verandering bathimetrie
- ✓ gevolgen voor stroming en waterstanden (veiligheid, scheepvaart, kabels en leidingen)
- ✓ gevolgen voor ontwikkeling geulen en platen (onderhoudsbagger, estuariene natuurlijkheid, behoud dynamiek)

Kickoff - meeting ZEEKENNIS, 26 april 2001

Waterbeweging, transport & morfologie



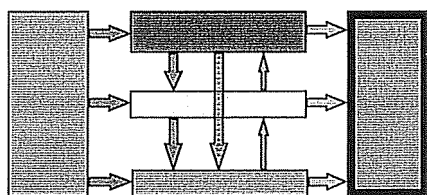
vraag:

**hoe omgaan met
baggeren en
storten ?**

- ✓ gevolgen voor plaat areaal (intergetijde gebied)
- ✓ gevolgen voor troebelheid (zichtjagers, recreatie)
- ✓ gevolgen voor kustmorfologie (Voordelta, Vlaamsebanken)

Kickoff - meeting ZEEKENNIS, 26 april 2001

Goederen & diensten



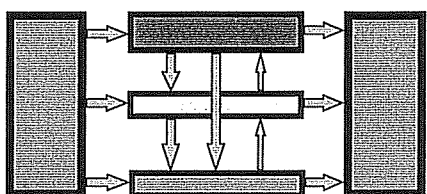
vraag:

**hoe omgaan met
baggeren en
storten ?**

- ✓ gevolgen voor veiligheid
- ✓ gevolgen voor scheepvaart
- ✓ gevolgen voor natuurlijkheid
- ✓ gevolgen voor visserij (garnalen schelpdier, vis)

Kickoff - meeting ZEEKENNIS, 26 april 2001

Beantwoording / advies



vraag:

**hoe omgaan met
baggeren en
storten ?**

- ✓ inzicht in gevolgen van baggeren en storten
- ✓ beoordeling van gevolgen voor goederen en diensten
- ✓ evaluatie van alternatieve opties voor baggeren en storten

Kickoff - meeting ZEEKENNIS, 26 april 2001

Geïdealiseerde modelsystemen

door

Henk Schuttelaars

(RUU/TUD)

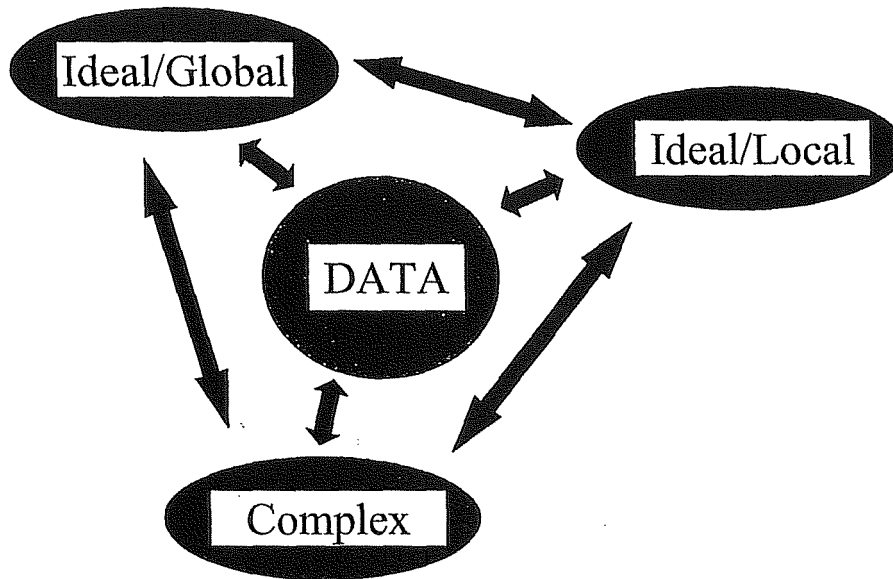
Geïdealiseerde Modellen

Toegepast op de Westerschelde

Geïdealiseerde Modellen:

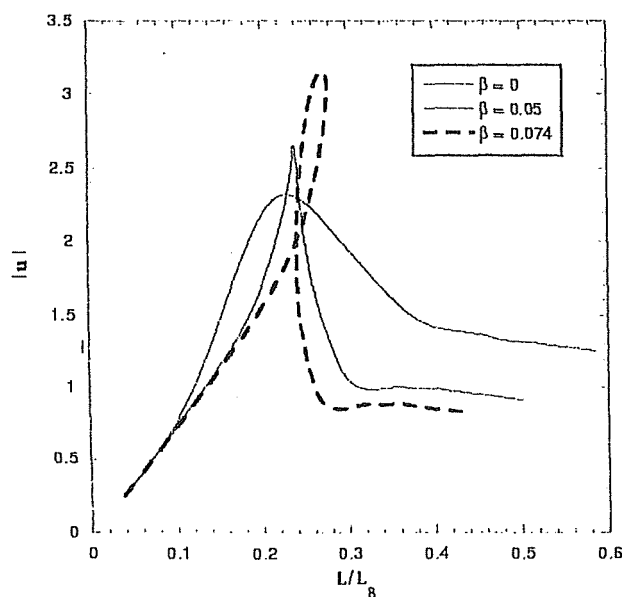
- Fundamenteel begrip: alleen die fysische processen worden beschouwd die essentieel zijn voor het genereren van de waargenomen bodemvormen/sediment transport.
- Vaak geïdealiseerde geometrie.
- De modellen kunnen worden geanalyseerd m.b.v. bekende mathematische technieken.

Relatie tot andere modellen

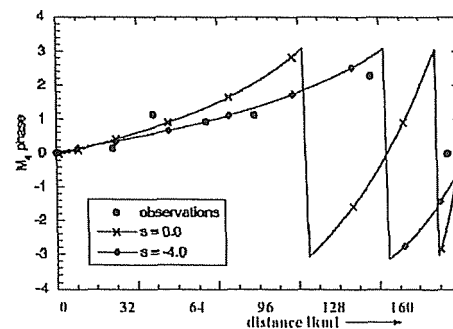
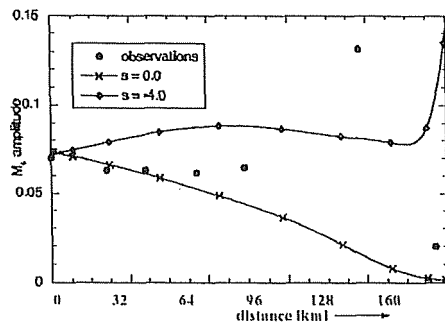
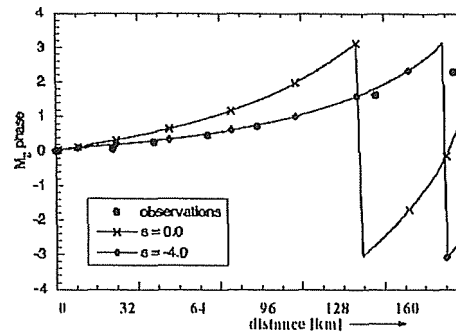
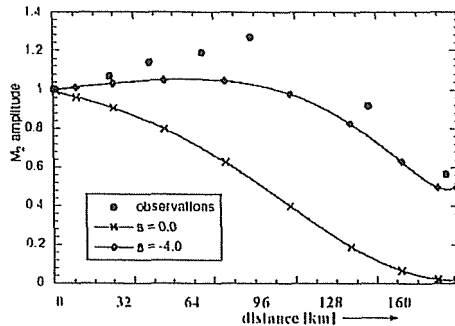


Global Model:

- Meervoudige evenwichten.
- Resonantie.
- Maximale bekkenlengte.



Vergelijking met waarnemingen:

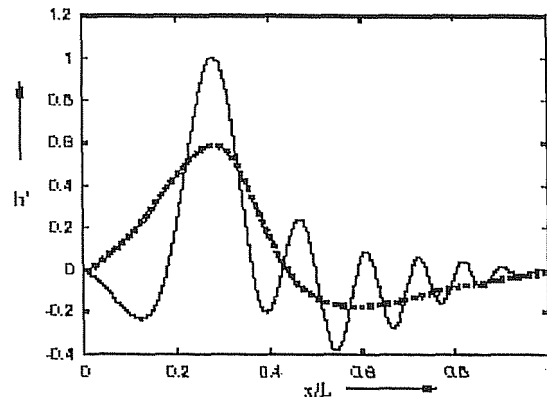


Lokaal Model (voor bodenvormen ~ 6 B):

- 2D en 3D formulering geven dezelfde resultaten.
- Lineaire en niet-lineaire wrijvingsparameterisaties geven dezelfde resultaten.
- Fysisch mechanisme in 2D en 3D identiek.

Vragen:

- Kunnen de bodemvormen in het lokale en globale model met elkaar vergeleken worden?



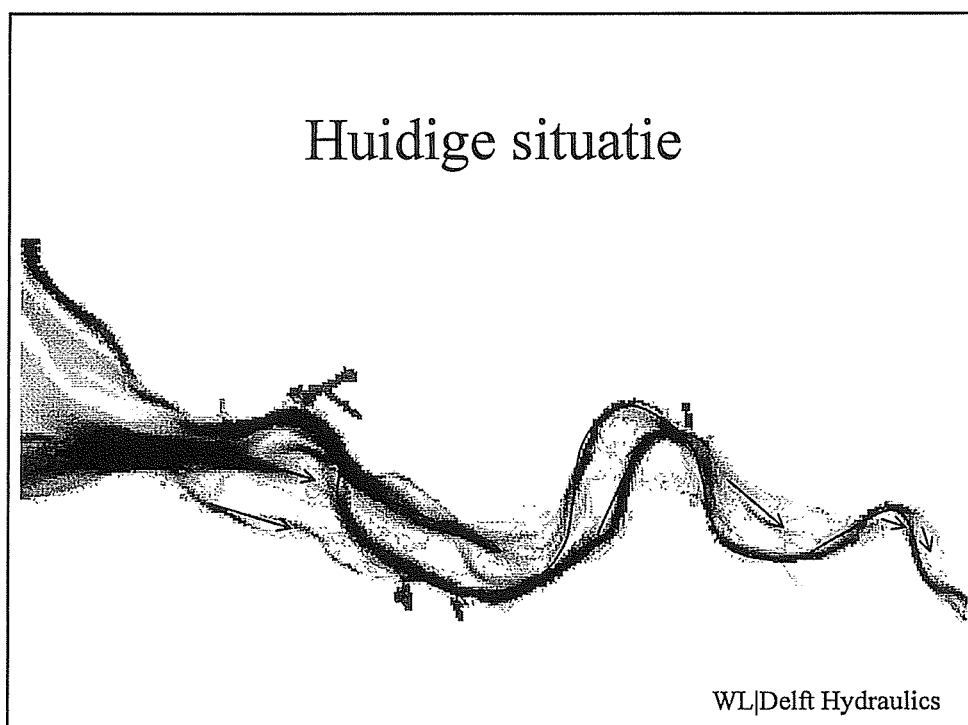
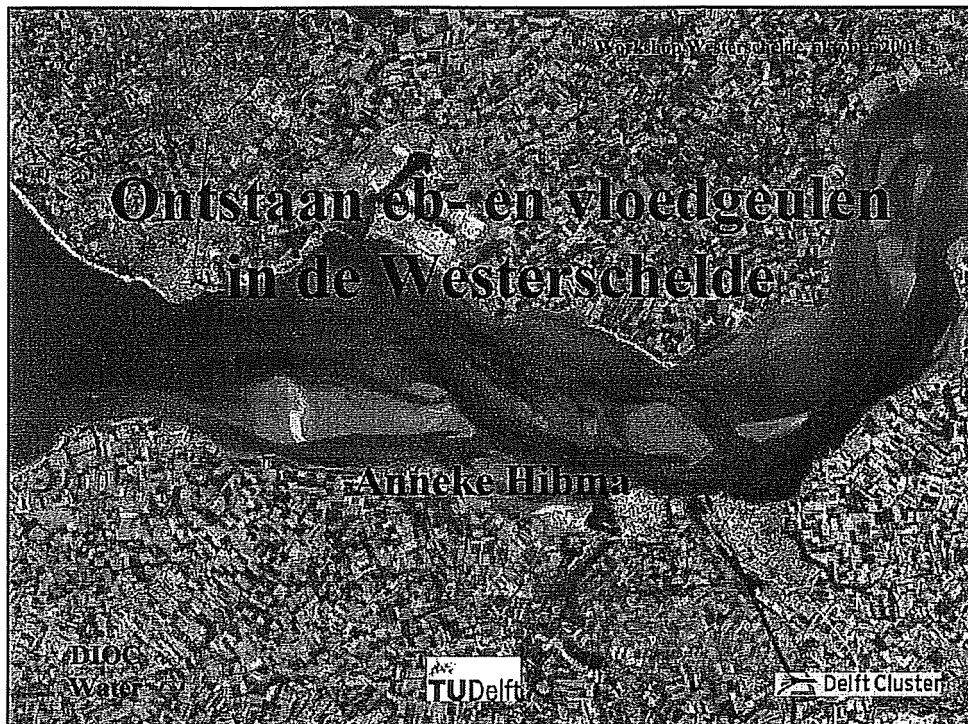
- Kunnen drempels m.b.v. 2D modellen beschreven worden?
- Wat voor bodemvormen worden waargenomen in de Westerschelde (vrij of geforceerd door bijvoorbeeld de geometrie)?
- Waar moet je de open rand van je systeem leggen?
- Gevoeligheid voor sediment-transport formulering (bijvoorbeeld 2D vs. 3D)?

Ontstaan van eb- en vloedgeulen in de Westerschelde

door

Anneke Hibma

(TUD)



Schematisatie geulensysteem

SEA Vlissingen

Hansweert

LAND Bath

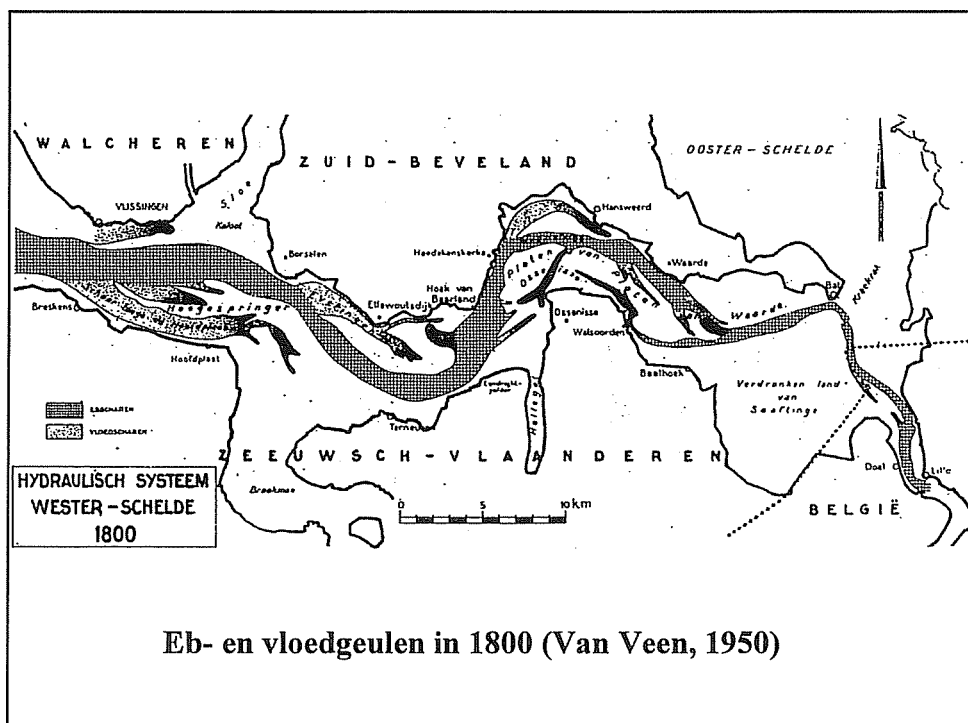
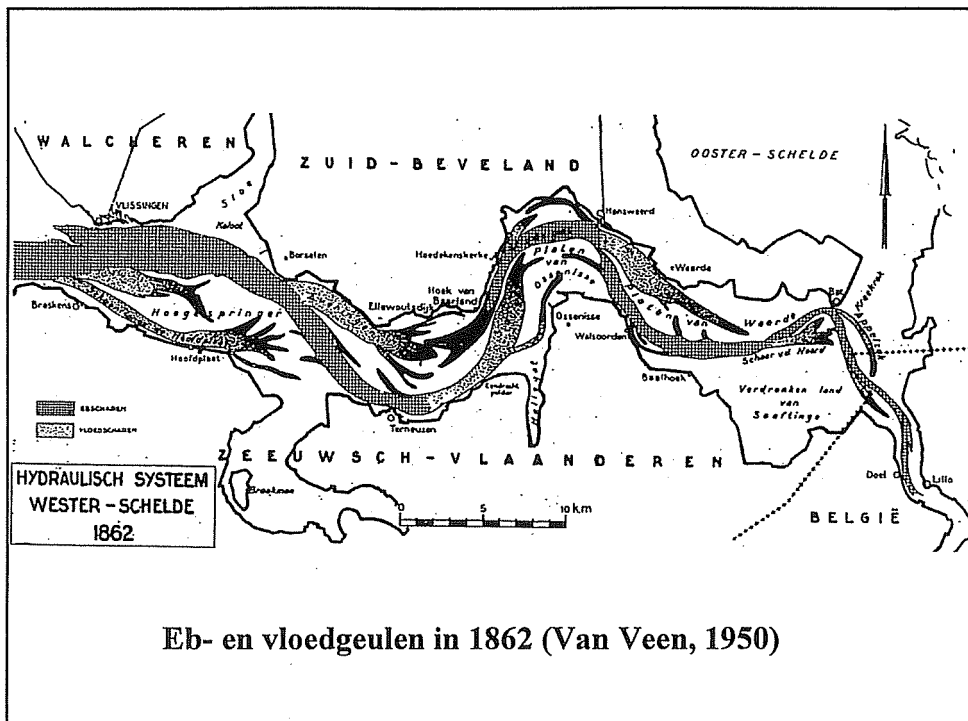
Terneuzen

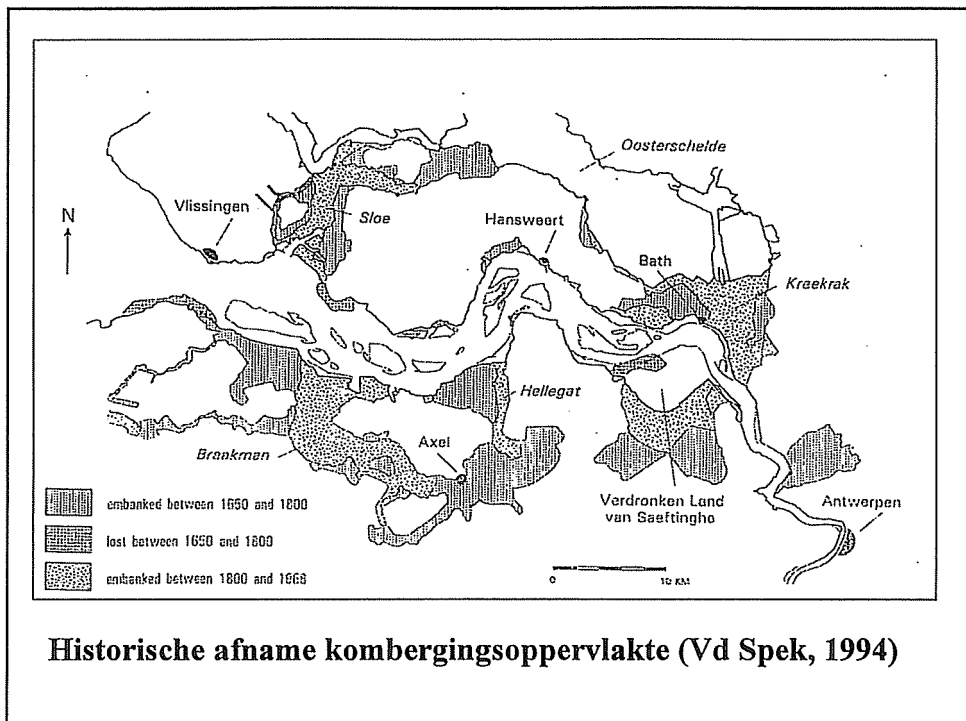
Legend:

- main channel
- connecting bar channel
- connecting cross channel
- connecting margin channel
- shallow bar in main flood channel
- former shallow bar in main flood channel
- bar in main ebb channel
- border between estuarine sections
- estuarine section

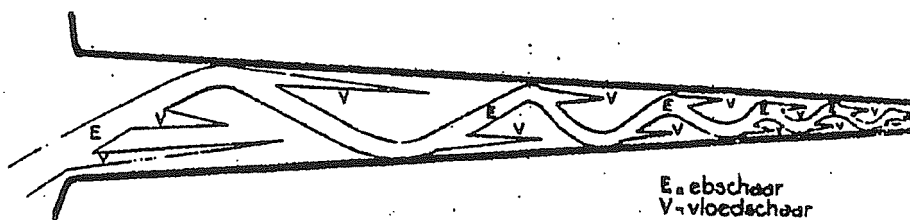
Jeuken, 2000





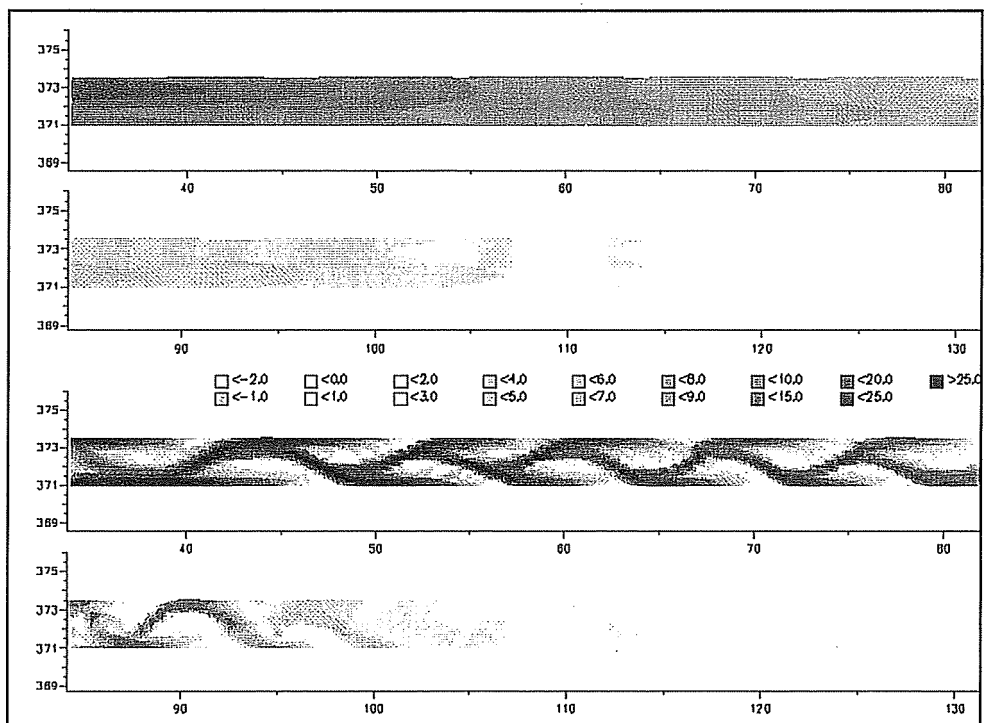
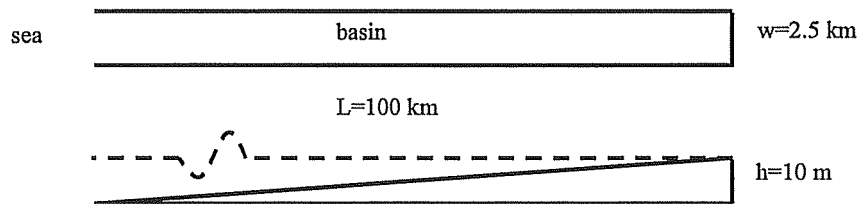


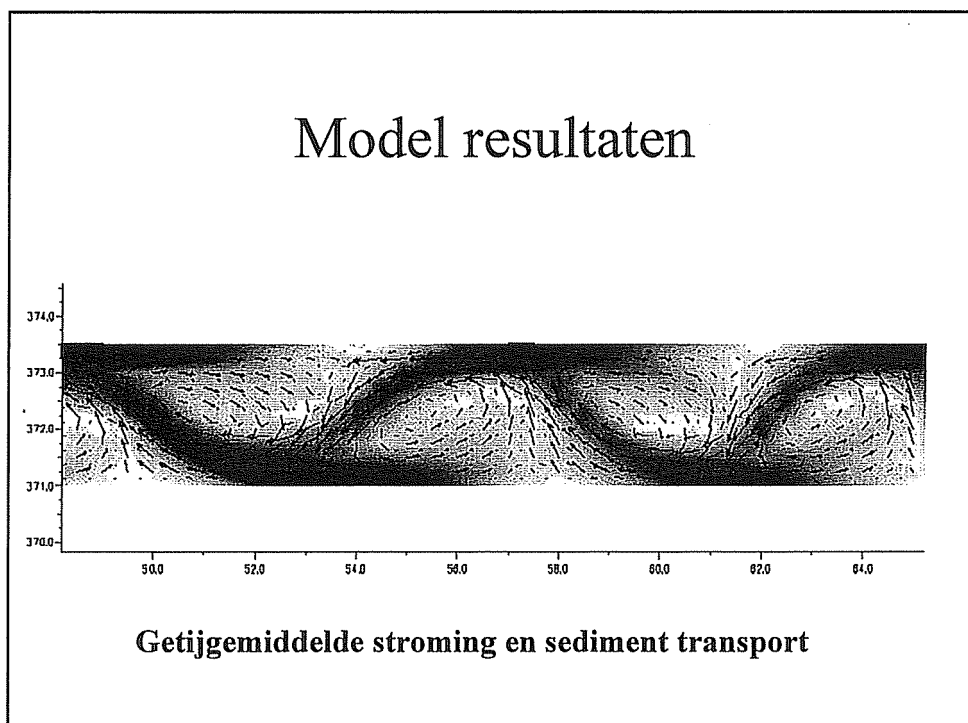
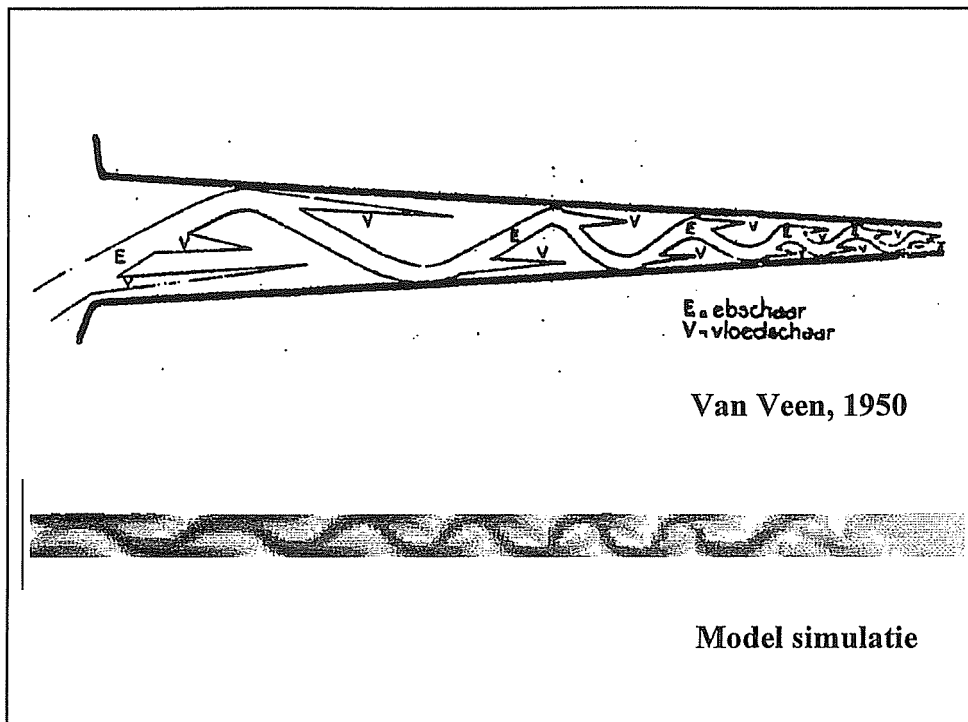
Schematisatie geulensysteem



Van Veen, 1950

Delft3D model resultaten





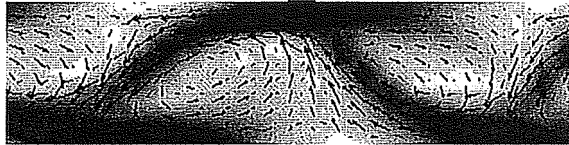
Vraag 1: Wat leert het onderzoek ons van het Westerschelde-systeem?

- Een vlakke bodem zal zich ontwikkelen tot een plaat- en geulenstelsel als gevolg van een positieve terugkoppeling tussen stroming en sedimentatie/erosie (voornamelijk advectioneel transport).
- Het geulenpatroon (golflengte) wordt o.a. beïnvloed door de bekken geometrie met de opgelegde randen.

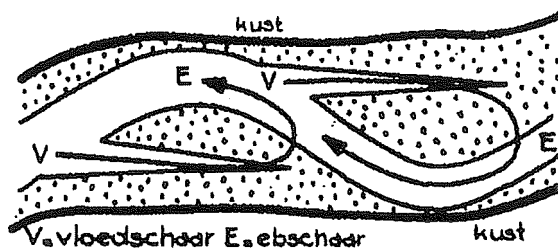
Vraag 2: Welke vragen over het morfologisch functioneren van het systeem leven er?

- In hoeverre kan men spreken over een eindtoestand of evenwicht?
- Hoe groot is de rol van de historie?
- Wat zijn vrije bodemvormen (zelf-organisatie) en wat door de geometrie geforceerde bodemvormen?

(Vraag 2) *Het morfologisch functioneren van het systeem*

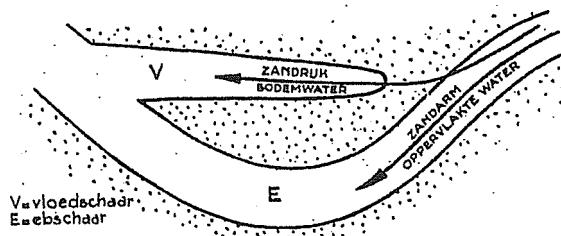


Model simulatie



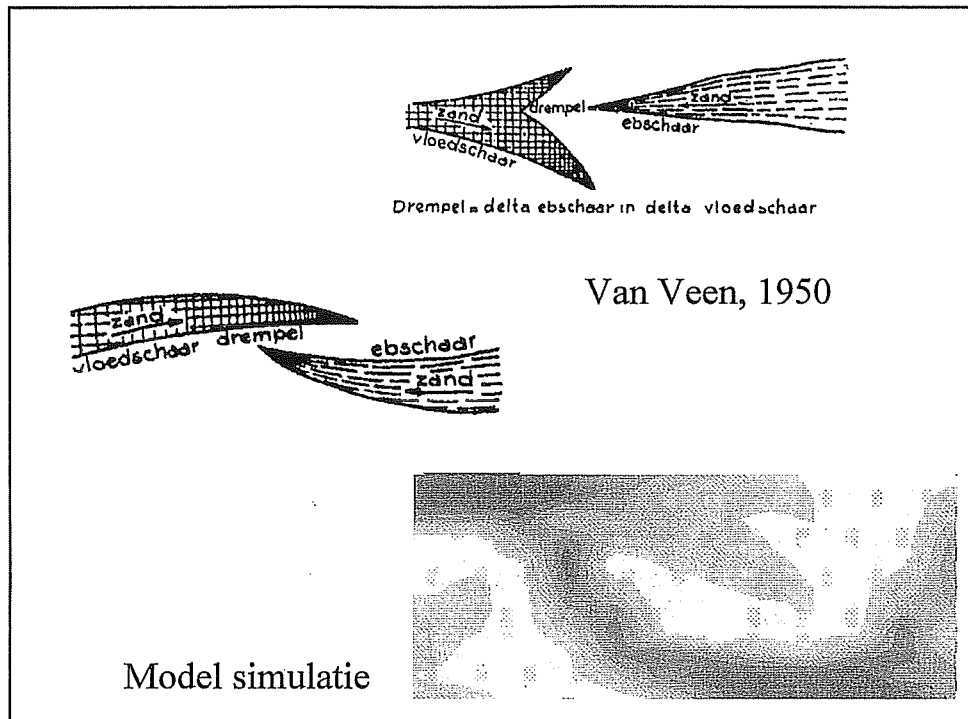
Van Veen, 1950

- Water bij de bodem: sediment rijk en langzaam stromend. Kan de bocht afsnijden.
- Water langs oppervlak: sediment arm en snel stromend. 'Vliegt' de bocht uit.



Van Veen, 1950

- Drempels en dus onderscheid in eb- en vloedgeulen kunnen zo in stand gehouden worden.



Vraag 3: Welke nieuwe aspecten dienen in een (toekomstig) morfologisch model meegenomen te worden, en op welke wijze kan dat gerealiseerd worden?

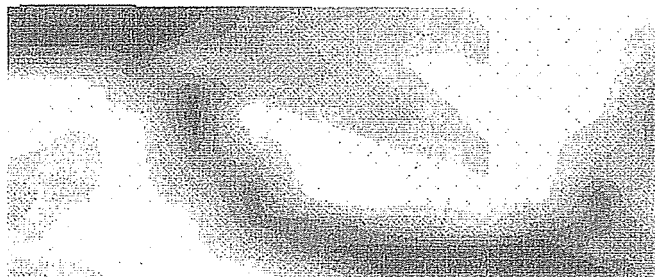
- Droogvalprocedure
- Rekentijd i.c.m. nauwkeurigheid en onzekerheid
- Cohesie ondergrond en randen
- Variatie in korrel diameter

Conclusies (1)

- Op de schaal van het gehele estuarium kan het ontstaan van eb- en vloedgeulen gereproduceerd en deels verklaard worden.
- De geometrie en grenzen van het estuarium hebben grote invloed op het geulenpatroon.
- Er kan geen eind- of evenwichtstoestand gevonden worden.

Conclusies (2)

- Met het vastleggen van de grenzen van het estuarium lijkt ook het geulenpatroon vastgelegd te zijn.
- Daarmee is de dynamica beperkt tot een kleinere schaal waarop de geometrie minder beperkingen oplegt.



Dynamica van geulontwikkeling en onerodeerbare lagen

door

Claire Jeuken

(WL)

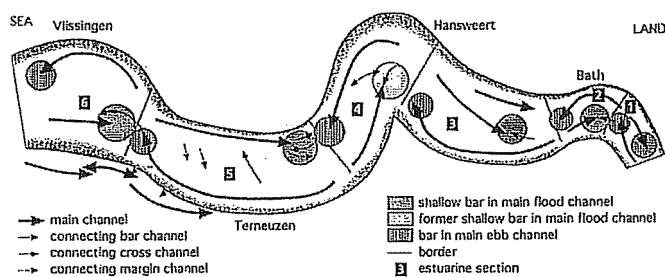
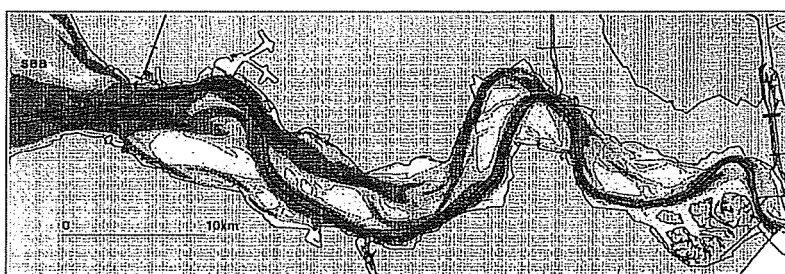
De dynamica van (kortsluit)geulen en onerodeerbare lagen

workshop 16 oktober 2001

Claire Jeuken

nr. 1

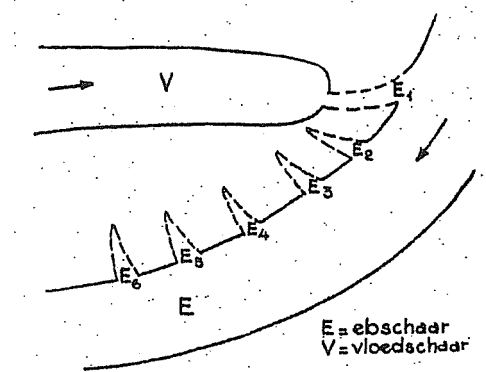
Westerschelde



nr. 2

Kortsluitgeulen

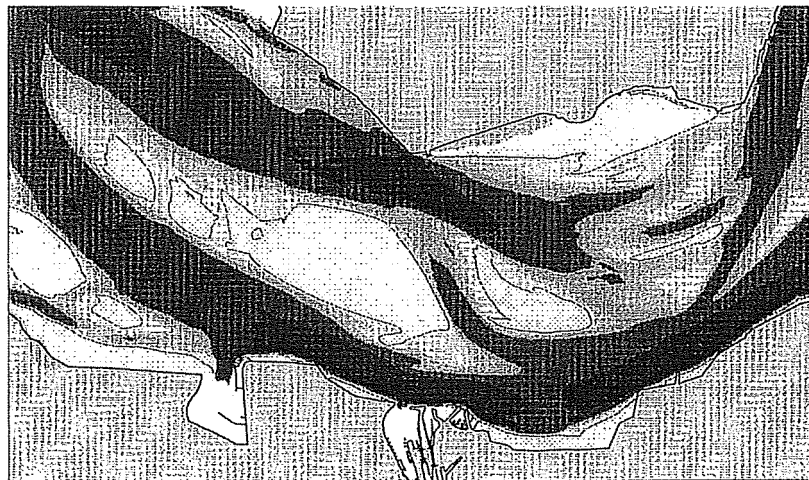
van Veen, 1950



- bochtafsnijding?
- spiraalstroming

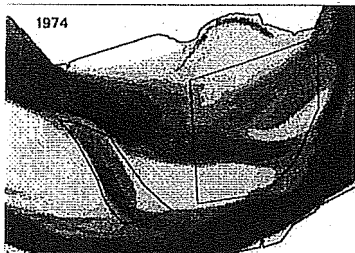
nr. 3

Terneuzen bochtgroep



nr. 4

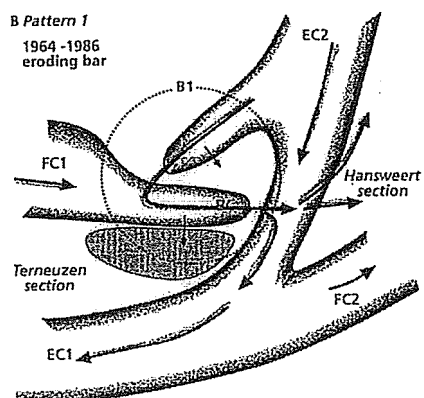
Morfologische gedrag (1) patroon van drempelgeulen



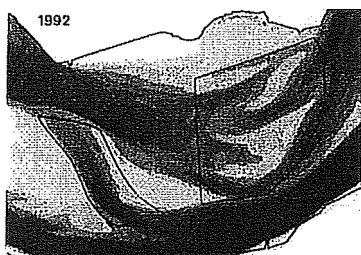
in Terneuzen section

- FC1 main flood channel
- EC1 main ebb channel
- BC bar channel
- CC cross channel
- B1 bar in main channel
- tide-averaged sand transport direction
- direction of channel migration
- shoal

nr. 5



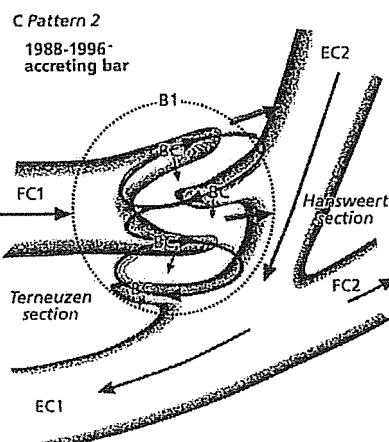
Morfologische gedrag (2) patroon van drempelgeulen



in Terneuzen section

- FC1 main flood channel
- EC1 main ebb channel
- BC bar channel
- CC cross channel
- B1 bar in main channel
- tide-averaged sand transport direction
- direction of channel migration
- shoal

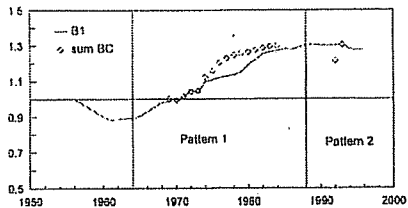
nr. 6



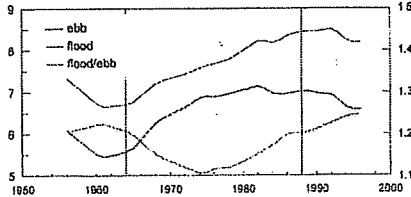
Morfologische gedrag (3)

Veranderingen drempel en aangrenzende geulen o.i.v drempelgeulen (BC)

a) Natural change of the cross-sectional area (-)

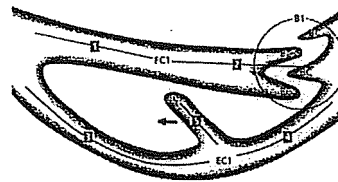


b) Net change of hydraulic radius (m) at bar B1



Verdieping drempel:

- sedimentatie CC (Re)
- sedimentatie EC1 (Re)
- erosie FC1 (Rv)
- erosie platen

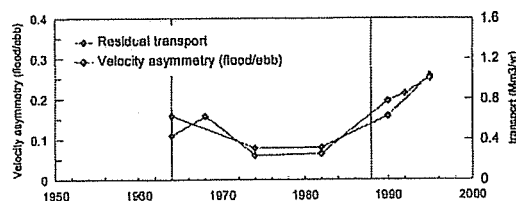
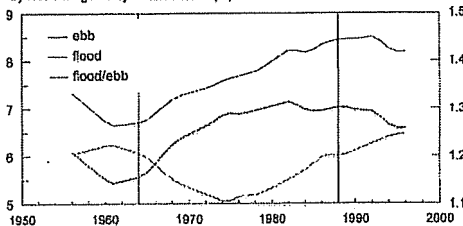


nr. 7

Morfologisch gedrag (4)

verandering in patroon van drempelgeulen

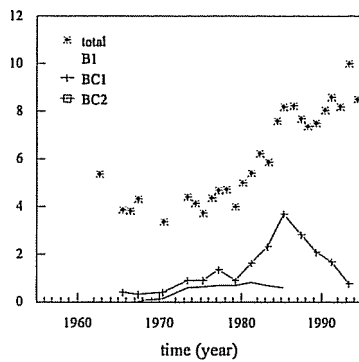
b) Net change of hydraulic radius (m) at bar B1



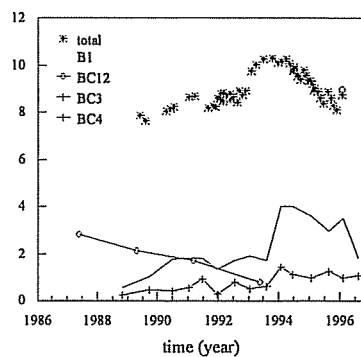
nr. 8

Morfologisch gedrag (5) sediment dynamiek en geulmigratie

a) sediment reworking (Mm³/2yr), pattern 1



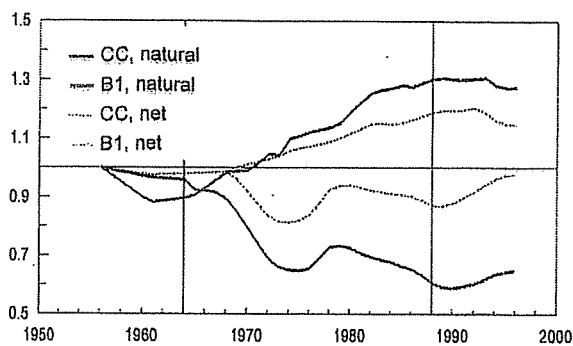
b) sediment reworking (Mm³/2yr), pattern 2



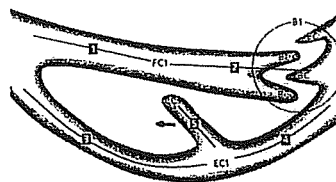
nr. 9

Morfologische gedrag (6) drempelgeulen en dwarsgeul ZE (CC)

Change of Ac (-)



Buffer?



nr. 10

Conclusies - vraag 1: Wat leert het onderzoek ons van het WS-systeem?

Gedrag kortsluitgeulen (meso-schaal):

- kunnen hoofdgeulen en platen op macroschaal beïnvloeden;
- kunnen een rol spelen in sediment-uitwisseling tussen bochtgroepen (macrocellen);
- de meest dynamische (flexibele) elementen;
- kunnen 'klappen' opvangen;

nr. 11

Conclusies - vraag 2: welke vragen over het morfologisch functioneren leven er?

- Meerdere evenwichten? Wat is evenwicht?
- Invloed van historie / antecedente morfologie ?

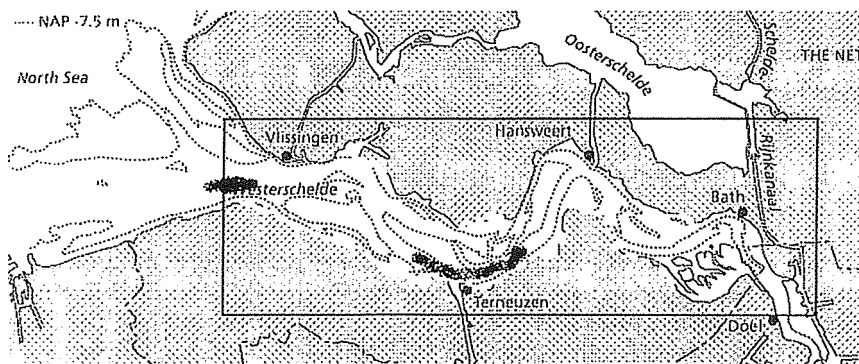
nr. 12

Conclusies - vraag 3: welke (nieuwe) aspecten dienen in een morfologisch model meegenomen te worden, en op welke wijze kan dat gerealiseerd worden?

- gedrag van kortsluitgeulen:
 - op tijdschaal van jaren - enkele decennia;
 - 3D model (spiraalstroming, stroomversnellingen en -vertragingen);

nr. 13

Conclusies - vraag 3: voorkomen van dagzomende moeilijk erodeerbare lagen en de modellering daarvan.



nr. 14

Overzicht beschikbare data en voorgenomen meetcampagnes

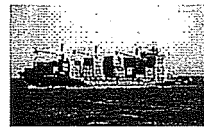
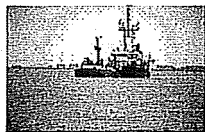
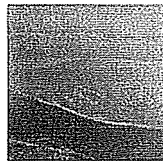
door

Harm Verbeek

(RWS/RIKZ)

Metingen in de Westerschelde

voor een morfodynamisch model



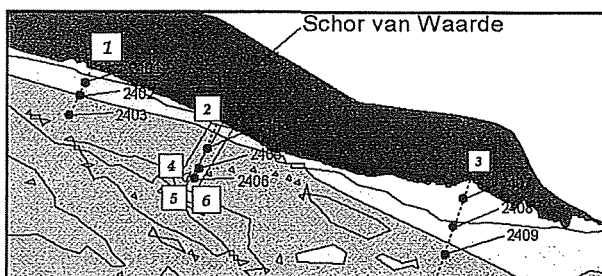
Harm Verbeek & Kees van der Male

Type metingen

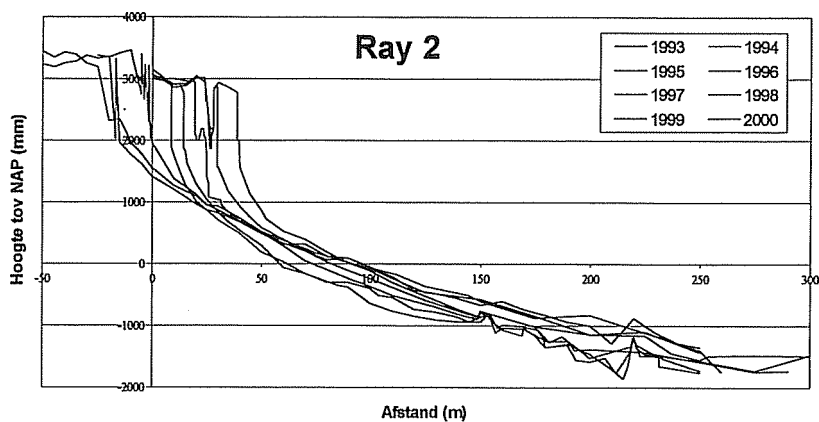
Er is een lange lijst van meetgegevens

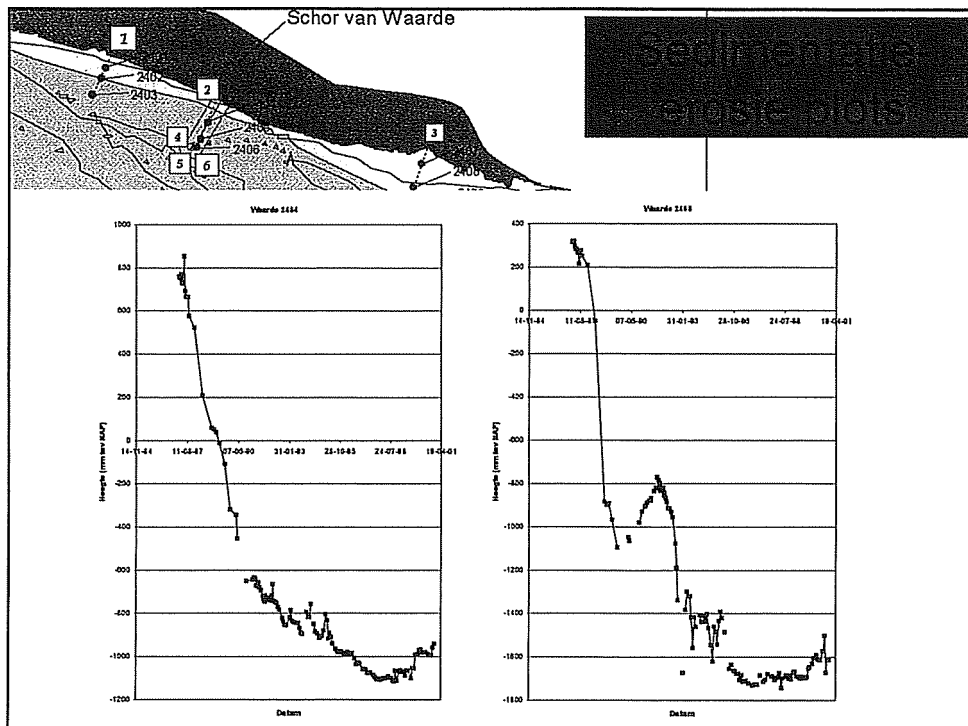
- Dieptekaarten
- Profielmetingen intergetijdengebied
- Waterstandsmetingen
- Dwarsraai stroommetingen
- --> enkele voorbeelden

Diepte kaart

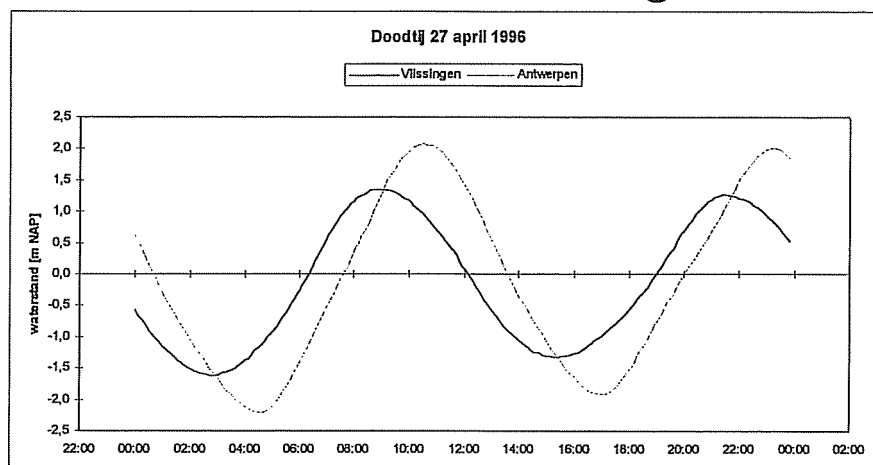


Profiel- meting slik/schor

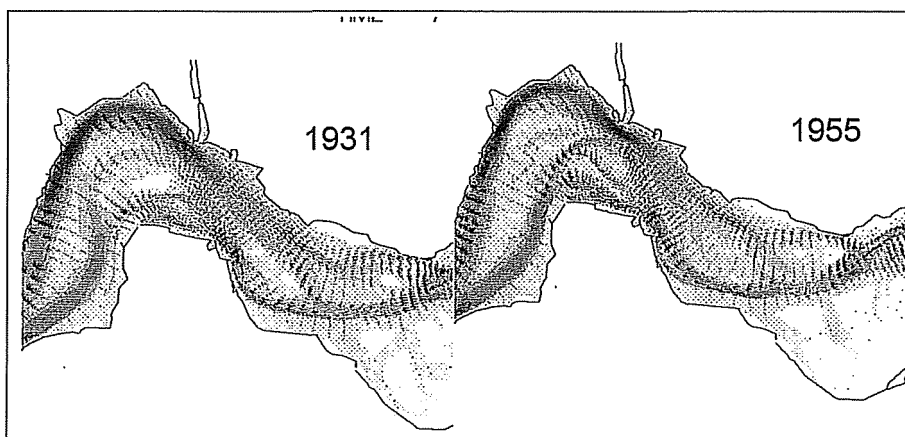




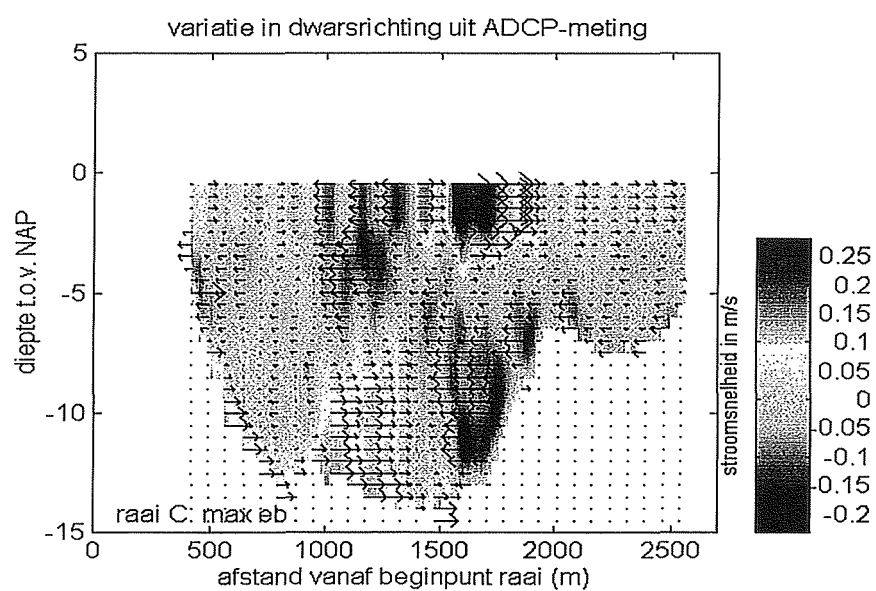
Waterstandsmetingen



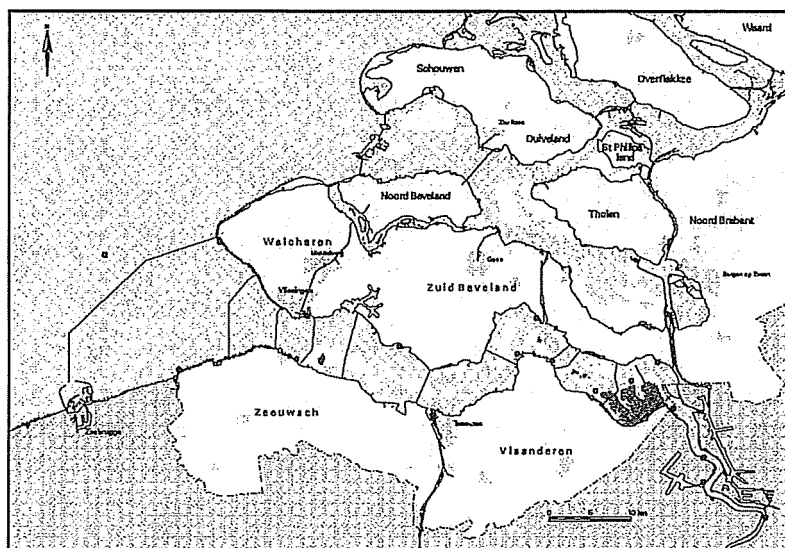
Historische stroombeelden



Dwarsraai stroommetingen



Lokatie vaste meetstations



Overzicht van recente dwarsraai metingen

raai naam	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00
1 Ned-Bel grens				x					x				x
2 Nauw van Bath - Sch vd Noord		x					x				x		
3 Overloop Valkenisse - Z.geul			x					x	x				
4 Land van Saeftinge				x			x						
5 Zuidergat - Sch v Waarde	x		x					x	x	x	x	x	x
6 Gat van Ossenis - Middelgat	x	x					x						
7 Pas van Terneuzen - Everingen		x							x	x	x	x	x
9 Honte - Sch vd Spijkerplaat - Vw				x					x				
10 Honte - Sch vd Spijkerplaat - Vw		x								x			
11 Vlissingen - Breskens								x		x			x
12 Westerscheldemon (A-B-C)				x						x		x	x
14 Monding Westerschelde					x						x		

Conclusie

Rond de Westerschelde zijn beschikbaar:

- Gebiedsdekkende dataset met hydrodynamisch / morfodynamisch parameters in de geulen
- Lokale dataset voor intergetijdengebied
- Combinatie van meettechnieken mogelijk voor modelafregeling (calibratie/verificatie)
- Maar ... eerst model nodig om vast te stellen waar wat gemeten moet worden!

SCALWEST (2Dh) en TRISCAL (3D) modellen

door

Bram Blik

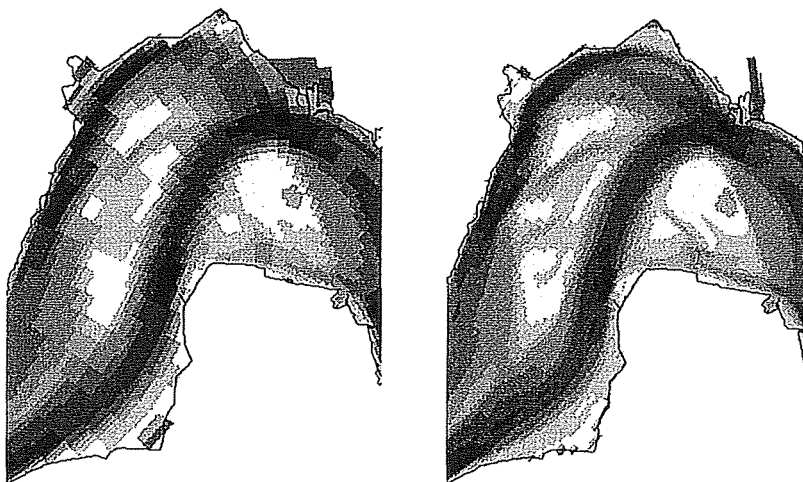
(SVASEK)

Het SCALWEST-model

Er zijn 3 versies van het model:

- ◆ SCALWEST-grof
 - 9.000 roosterpunten
- ◆ SCALWEST-fijn
 - 82.000 roosterpunten
- ◆ TRISCAL
 - oostelijk deel Westerschelde
 - 25.000 roosterpunten, 7 lagen

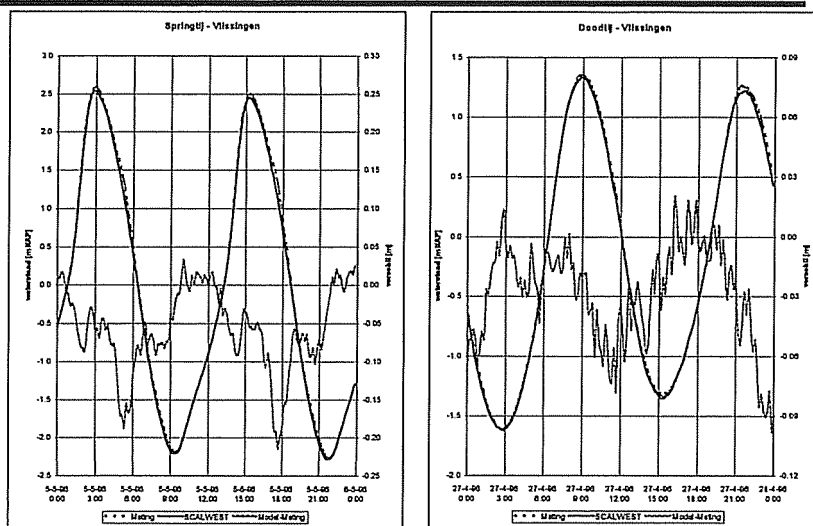
SCALWEST - grof en fijn



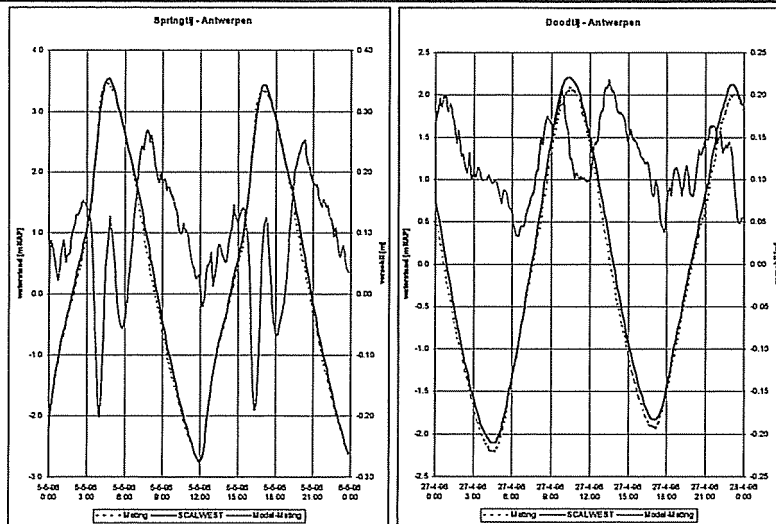
Calibratie / verificatie SCALWEST

- ◆ calibratie Westerschelde bij doodtij (27/4/96) en bij springtij (5/5/96)
- ◆ verificatie WS bij gemiddeld tij (21/7/96)
- ◆ verificatie storm (29/8/96 + 28-29/10/96)
- ◆ calibratie Zeeschelde bij doodtij (6-7/7/95) en bij springtij (12-13/6/95)
- ◆ verificatie ZS bij gemiddeld tij (27-28/6/95)

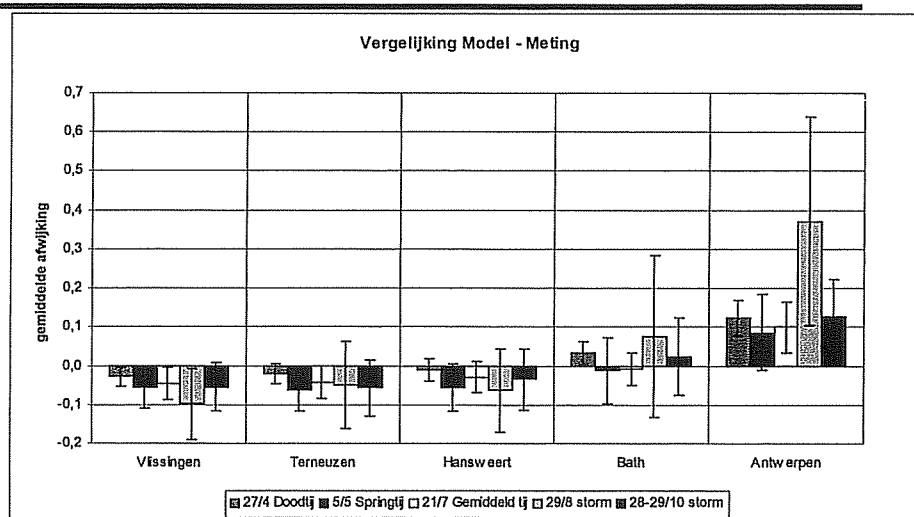
SCALWESTfijn - Vlissingen (mei/juni 1996)



SCALWESTfijn - Antwerpen



Resultaten calibratie en verificatie

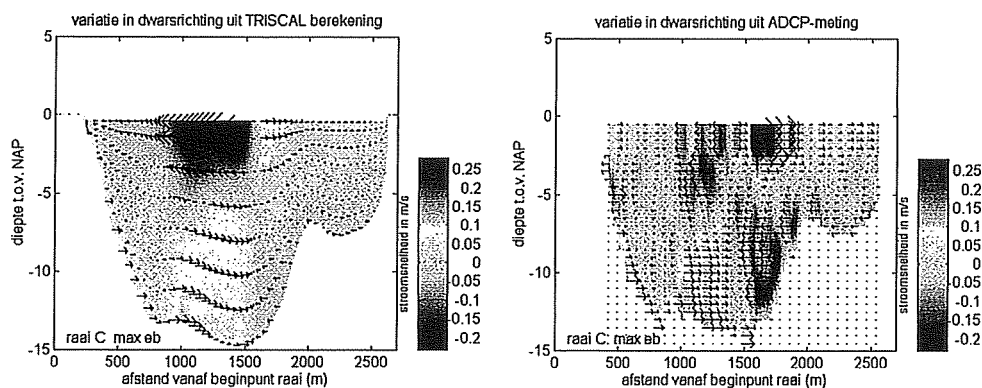


Toepassing - stroomsnelheid 3D

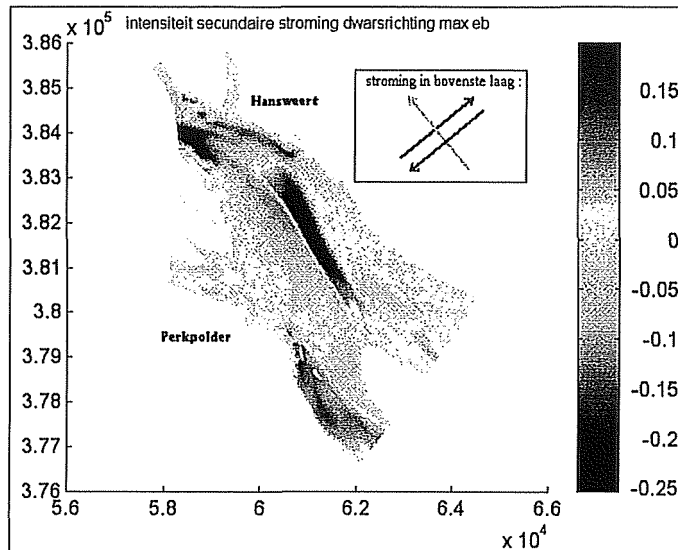
Secundaire stroming in een drempelgebied
(Koen Wouters / Maarten Jansen)

- ♦ onderscheid 2Dh en 3D stroombeeld:
primaire en secundaire stroming
- ♦ onderscheid secundaire stroming in langs-
en dwarscomponent
- ♦ vergelijking veldwaarneming - model

Variatie in de dwarsstroming



Ontbonden stroming: dwarscomponent



Conclusie

- ◆ water- en zoutbeweging Westerschelde en beneden-Zeeschelde goed weer te geven
- ◆ veel verschillende toepassingen mogelijk
- ◆ randvoorwaarden onder storm aanpassen
- ◆ waterbeweging boven-Zeeschelde matig
 - weinig waterstands- en debietmetingen
 - geen digitale bodemgegevens

Aanbeveling

- ◆ de zoutbeweging laten inspelen met SCALWESTgrof-model (nu nog uit 1976)
- ◆ presentatie en toepassing operationeel
- ◆ voorbereiding SCALWEST na verdieping
 - in 1999/2000 geografische en hydrodynamische opname nodig
 - aandacht voor boven-Zeeschelde en zijrivieren

**DELFT2D-MOR, RAM-MOR, DELFT3D-FLOW
(met on-line sediment en morfologie)
en toepassing op de Westerschelde**

door

Dano Roelvink

(WL)

Delft3D en toepassing op Westerschelde

Dano Roelvink

1

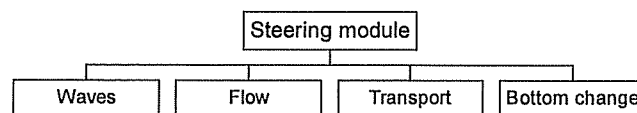
Inhoud

- **Delft2D-MOR**
- **RAM / MOR**
- **Delft3D-FLOW met online sediment en morfologie**

2

Delft2D-MOR

■ Delft3D model structure



3

Delft2D-MOR

- 2D Ondiep water vergelijkingen
- Evenwichtstransport volgens van Rijn (84), Bijker(71), Soulsby-van Rijn (97), van Rijn (2000).
- Quasi-3D aanpassing via advection-diffusion equation, volgens Galappati
- Q3D aanpassing spiraalstromingseffecten.
- Bodemveranderingen via expliciet schema, getijgemiddeld
- Continuïteitscorrectie

4

Toepassingen Westerschelde

- Groenewoud (1997) Drempel van Hansweert
 - Calibratie waterstanden, debieten, concentratieverticalen
 - Validatie erosie-sedimentatiepatronen
 - Toepassing baggerscenarios
 - tijdschaal 1 jaar
- Thoolen et al. (2000) Idem
 - Vergelijking 2DH, Q3D en 3D waterbeweging met metingen
 - Vergelijking 2DH en Q3D bodemveranderingen met metingen

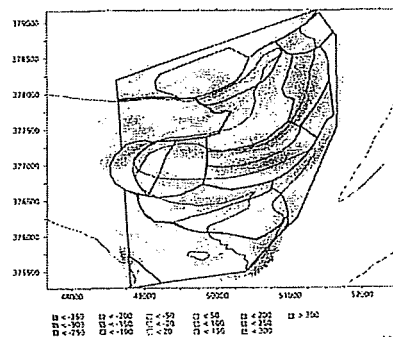
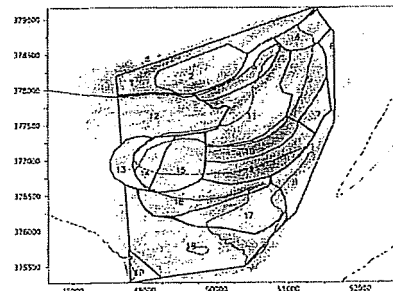
5

Toepassingen Westerschelde

Observed

- Jeuken (2000) Gedrag kortsluitgeulen
 - Vergelijking Q3D stroming met metingen
 - Vergelijking erosie-sedimentatiepatronen met metingen

Computed



Conclusies Delft2D Westerschelde

- Simulaties kort t.o.v. optredende tijdschalen
- Patronen 'in de buurt' maar grootte veranderingen erg onnauwkeurig
- Model speelt in feite nog in; veel langere simulaties gewenst om echte gedrag te zien (zie bijv. Hibma)
- Q3D geeft verbetering en is te verbeteren, maar blijft onvolledig in complexe systemen.

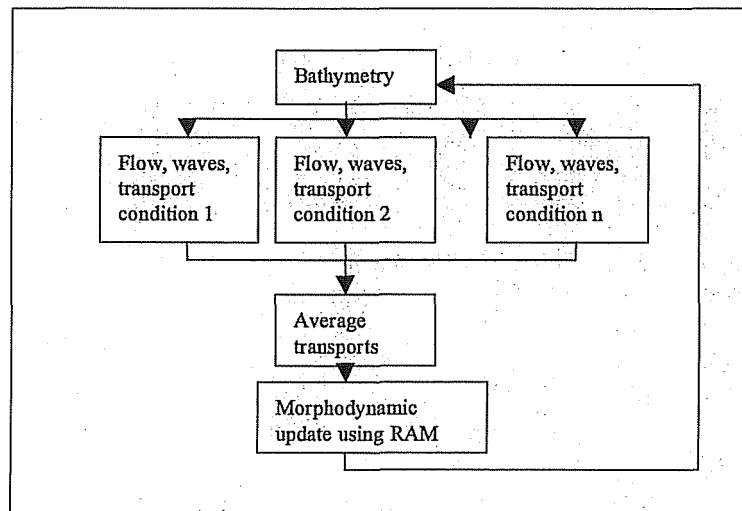
7

Oplossingen:

- Naar grotere tijdschalen door snelle bodem-updating, op basis van regelmatig maar minder vaak ververste transportberekeingen en eenvoudige benadering transporten: RAM-MOR
- Naar beter detail, door volledig 3D berekeningen

8

RAM - MOR schema



9

RAM-benadering

- Transport macht van diepte
- Benadering initiele transportveld

$$|\vec{S}| \approx a |u|^b$$

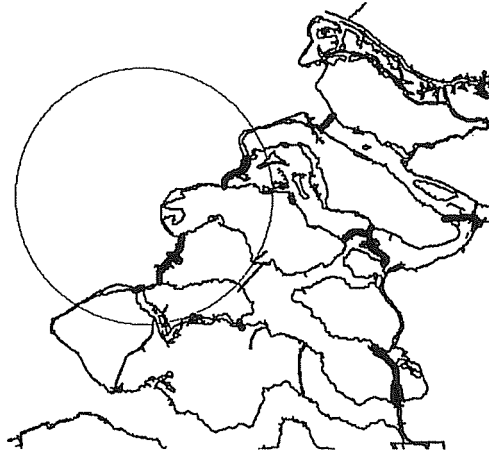
$$|\vec{u}| = \frac{|\vec{q}|}{h}$$

$$|\vec{S}| \approx a |\vec{q}|^b h^{-b}$$

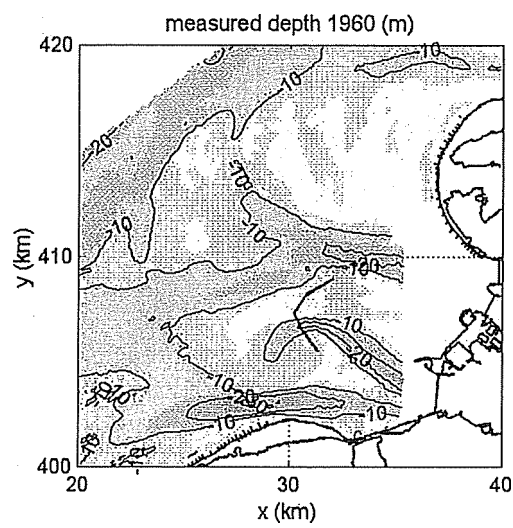
$$\approx A(x, y) h^{-b(x, y)}$$

10

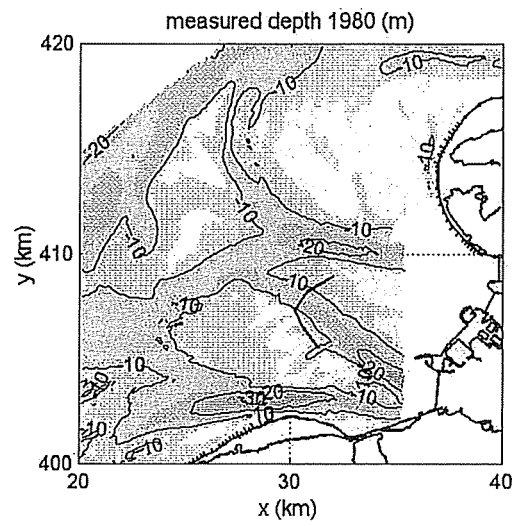
Voordelta studie



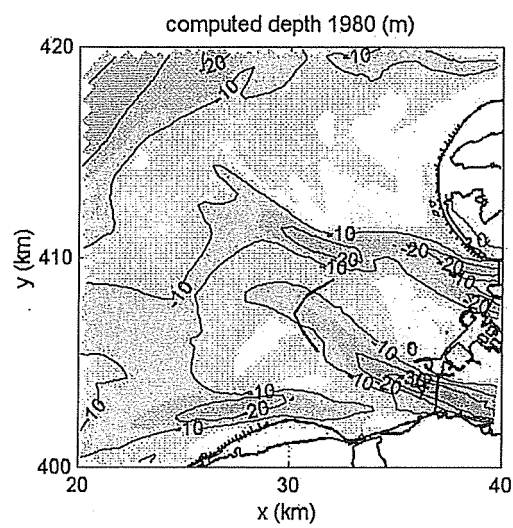
11



12



13



14

Delft3D-FLOW met online sediment en morfologie

- 3D Ondiep water vergelijkingen
- Bodemconcentratie zand volgens van Rijn (2000).
- Slib volgens Partheniades-Krone
- 3D Advectie-diffusie meerdere zand-slib fracties
- Terugkoppeling concentratie op dichtheid en dus op turbulentie en dichtheidsstroming
- Bodemverandering iedere flow-tijdstap, maar met tijdschaal-factor
- Koppeling met bodemmodule van Ledden en Fluid Mud model

15

Toepassingen Westerschelde

- Vergelijking met Thoolen et al (drempel van Hansweert)
 - Run over 1 maand
 - Q3D en 3D vergelijkbaar, bij weglaten zout/zoet
 - subtiele verschillen; meer vergelijking met metingen nodig

16

ESTMORF voor de Westerschelde

door

Zheng Bing Wang

(WL)

ESTMORF Western Scheldt Model

**Wang Zheng Bing
WL | Delft Hydraulics
October 2001, Middelburg**

nr. 1

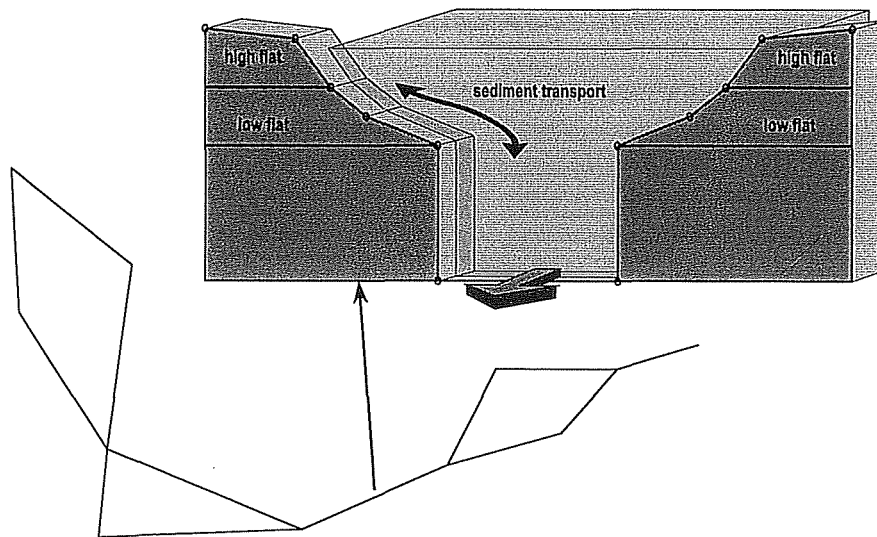
ESTMORF

**A Dynamic/Empirical Model for Estuarine
Morphology**

- **Developed by Delft Hydraulics and Rijkswaterstaat from early 90's**
- **To predict morphological impact of human interference on tidal systems**
- **Using 1D-network tidal flow model as flow module, IMPLIC and SOBEK**
- **Empirical relations for morphological equilibrium**
- **Advection-diffusion equation for long-term averaged concentration**
- **Treatment of dredging / dumping**
- **interaction channel-flat**

nr. 2

ESTMORF schematisation



nr. 3

Basic Equations and Computational procedure

Empirical relation between area and tidal volume

$$A_{ce} = f(P_v) \quad (1)$$

Equilibrium sediment concentration

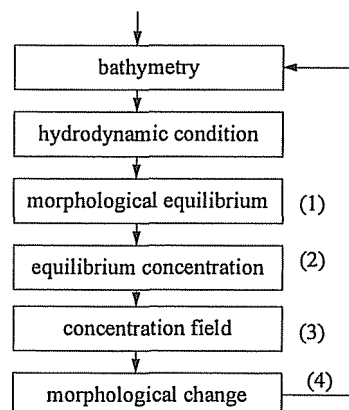
$$c_e = C_E \left(\frac{A_{ce}}{A_e} \right)^{n_e} \quad (2)$$

Sediment concentration equation

$$\frac{\partial A c}{\partial t} + \frac{\partial A c}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left(A D \frac{\partial c}{\partial x} \right) = \text{Wsu}(c - c_e) \quad (3)$$

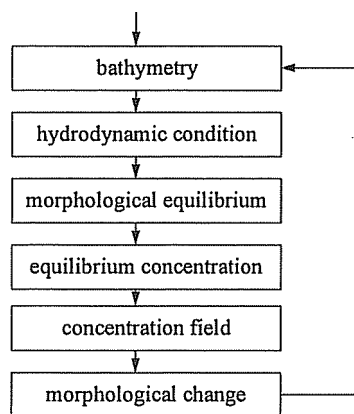
Morphological change

$$\frac{\partial z}{\partial t} = w_s (c - c_e) \quad (4)$$

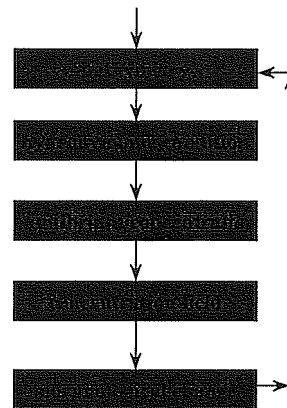


nr. 4

Semi-empirical model



Semi-empirical

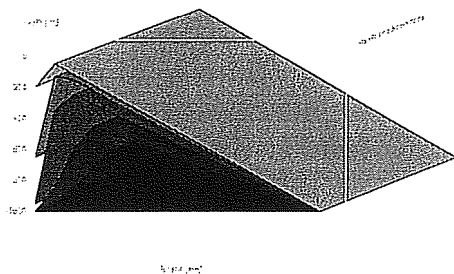


process-based

nr. 5

Simple Cases

Prismatic tidal basin



- For the river case (unidirectional quasi-steady flow) the model behaves the same as the (process-based) dynamic model

nr. 6

Applications

- Friesche Zeegat
- Western Scheldt
- Noordelijk Delta Bekken
- Southampton Water
- Huamber
- Yangtze

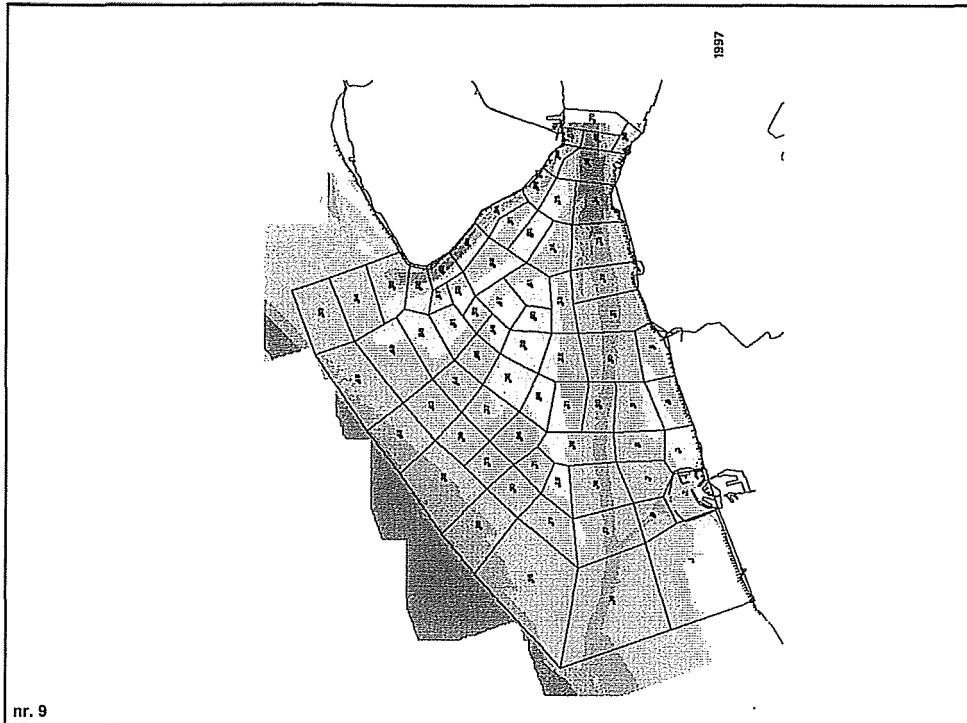


nr. 7

Western Scheldt Model schematisation



nr. 8



Calibration of the Western Scheldt model

- **Calibrated using data 1968 - 1997**
- **Most important calibration parameter:
equilibrium constants**
- **First on mega-scale level, then on the level
of individual branches, later also on the inter
tidal areas (grouped in large parts of the
estuary)**
- **The results are more accurate for the
channels than for the inter tidal areas**

nr. 10

Applications of the Western Scheldt model

- **MOVE:** ESTMORF was used to research the impact of the dredging and dumping activities. Simulations were carried out from 1998 till 2050.
- **LTV:** Simulation period: 1998 -2030. Dredging strategy option is applied in order also to predict the required dredging amount. Various deepening scenario's together with the dumping strategies investigated.
- Next application: including the ebb tidal delta area.

nr. 11

Evaluation

- **Complementary to other approaches**
- **Capability of simulating long-term development**
- **Potentials:**
 - **More accuracy concerning inter tidal areas**
 - **More accuracy concerning predicted dredging amount**
 - **Effect of sea level rise**
 - **Effect of variation of tidal range**

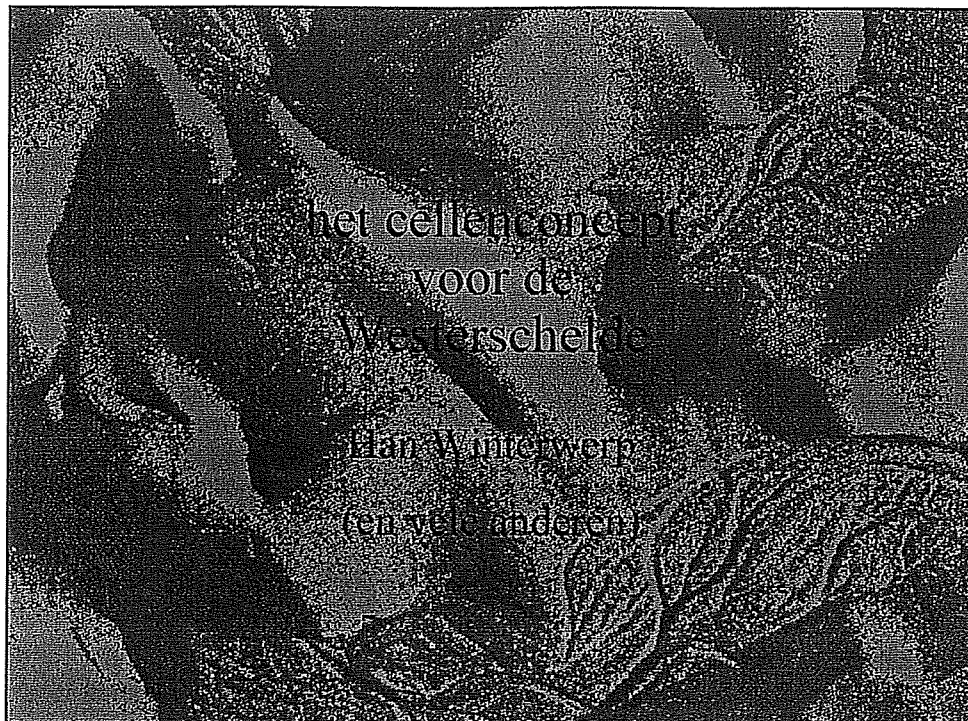
nr. 12

Cellenconcept voor de Westerschelde

door

Han Winterwerp

(WL)



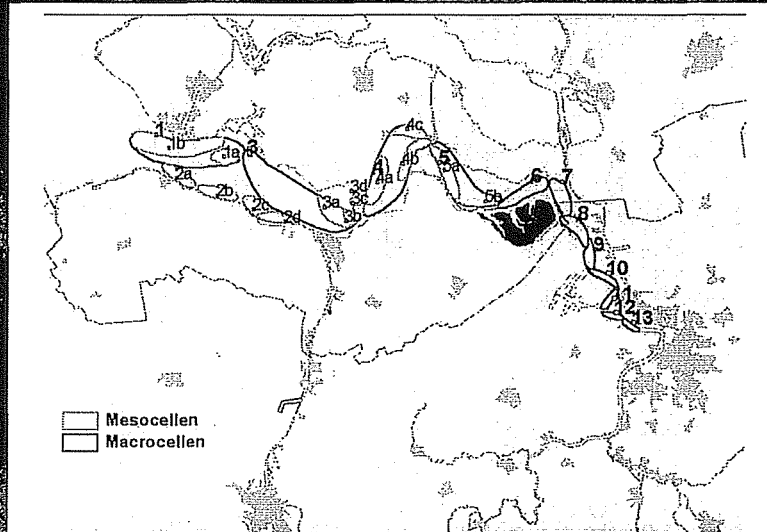
basisaannames

- de Westerschelde verkeert nu in een dynamisch evenwicht
- het meergeulenstelsel blijft gehandhaafd als de macro-cellen gehandhaafd blijven
- analyses zijn dus gerelateerd aan morfologische tijdschaal (/schalen) van het systeem
- effect van ingrepen moet dus ook gezien worden in relatie tot die morfologische tijdschaal

elementaire morfologische cel storten specie uit andere cel

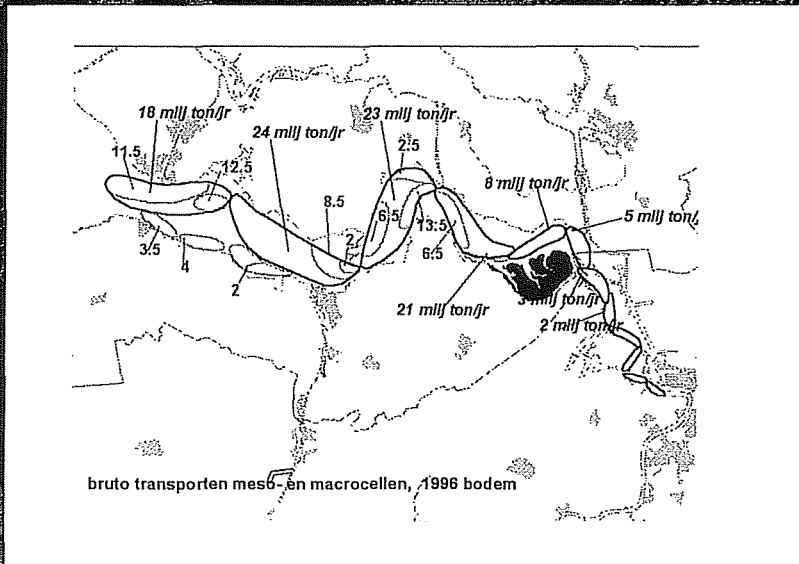


morphologische schematisierte Karte des maritimen macro- & mesocellen



bruto sedimenttransport in macro- & mesocellen in Schelde-estuarium

bruto transporten meso- en macrocellen, 1996 bodem



calibratie van het cellenconcept

globaal op basis van waarnemingen (oogdonk
Baai en Schaar van de Spikerplaat)

in meer detail door Jeuken (2001) voor
macro-cellen (niet voor kleinere eenheden)

oevergedeelte Honte

oevergedeelte Everingen

oevergedeelte Middelgat

oevergedeelte Schaar van Waarde

oevergedeelte Schaar van de Noord

storten is limiterend en accommodatie-
capaciteit is nu waarschijnlijk bereikt

toepasbaarheid

optimalisatie van bagger/stortbeleid op basis
van:

- bagger/stortkosten

- invloed op integriteit (of stortcapaciteit) van
het systeem, bijv. via kostenfunctie

- integratie bagger/stortbeleid en
zandwinbeleid

- cellenconcept is nieuw en nog niet uitvoerig
toegepast

Verder ontwikkelen

- meer verplegende kennis hoe de overzichts foto en netto seefmen in aanpak en uitwisseling tussen de cellen
- normatie van de genen
- locatie van baggeren en storten
- gedrag kortsluitgenen en dynamische hangen volumina
- autonome ontwikkelingen (zijn ze evenwicht?)