

AFGEHANDELT

opdrachtgever:

DG Rijkswaterstaat

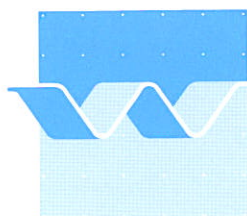
Rijks-Instituut voor Kust en Zee/RIKZ

Zandtransport in procesmodellen;
Evaluatie van Projekt 3 van Generiek
Kustonderzoek VOP 2000

October 2000

Zandtransport in procesmodellen;
Evaluatie van Projekt 3 van Generiek
Kustonderzoek VOP 2000

L.C. van Rijn



wl | delft hydraulics

OPDRACHTGEVER: DG Rijkswaterstaat; Rijks-Instituut voor Kust en Zee/RIKZ

TITEL: Zandtransport in procesmodellen; Evaluatie van Projekt 3 van Generiek Kustonderzoek VOP 2000

SAMENVATTING:

De ontwikkeling (met inbegrip van testen en evalueren) van fysisch-mathematische proces- en gedragsmodellen voor de kustmorfologie is het hoofddoel van de Strategische Samenwerkingsintentie op het gebied van Kustonderzoek tussen RIKZ en WL. In Projekt 3 (WL-projektnummer Z2899 in 2000) van het Generiek Kustonderzoek 2000-2004 wordt er gewerkt aan het verbeteren van de zandtransportformuleringen en aan het implementeren van deze formuleringen in de diverse morfologische modellen. De deelprojecten, die daarmee samenhangen, zijn:

- Z2899.10 Numerieke simulatie van zandtransport door golven en stroming (NZM);
- Z2899.20 Verbeteren en testen van "engineering" zandtransportmodel TR2000;
- Z2899.30 Verbeteren en aanvullen van database voor zandconcentraties en transport;
- Z2899.40 Verbeteren van Unibest-TC profielmodel;
- Z2899.50 Verbeteren van DELFT3D gebiedsmodel.

De resultaten van deze deelprojecten zijn vastgelegd in Engelstalige rapporten, waarvan de samenvattingen zijn opgenomen in Appendices A tot en met E van dit rapport.

Het zandtransportonderzoek in Projekt 3 omvat vier hoofdlijnen van onderzoek: **fundamenteel** (ontwikkelen en weergeven van proceskennis), **engineering** (ontwikkelen van vereenvoudigde modellen), **meetdata** (verzamenen van meetgegevens) en **implementatie** (implementeren van zandtransportmodellen in morfologische modellen). Het zandtransportonderzoek in Projekt 3 heeft een nauwe relatie met Projekt 2, waar de kalibratie en validatie van de procesmodellen bij Egmond centraal staan (UNIBEST-TC en DELFT-3D). Het zandtransportonderzoek in Projekt 3 is ook van belang voor de Projekten 4 en 5 in verband met toelevering van proceskennis aan modellen voor het lange-termijn kustgedrag.

De samenhang tussen de projecten wordt nog versterkt door het beschikbaar komen van kennis van zandtransport uit andere kaders (Delft Cluster Projekt en EU-Research Projekten), waardoor er relatief veel en omvangrijke produkten worden opgeleverd. Aanbevolen wordt om het zandtransportonderzoek op alle deelgebieden door te zetten met als doel om op relatief korte termijn (orde 5 jaar) tot redelijk betrouwbare zandtransportmodellen en de daarmee samenhangende morfologische voorspelmodellen te kunnen komen. Daarbij is het van cruciaal belang dat de aandacht gericht wordt op veldsituaties.

REFERENTIES: Contract RKZ -837

VER.	AUTEUR	DATUM	OPMERK.	REVIEW	GOEDKEURING			
	L.C. van Rijn	October 2000		A. Roelfzema	T. Schilperoort			
PROJECTNUMMER:		Z2899.60						
TREFWOORDEN:		zandtransport; zandtransportmodellen; morfologische modellen						
INHOUD:	TEKST	18	TABELLEN	1	FIGUREN	3	APPENDICES	5
STATUS:		☐ VOORLOPIG ☐ CONCEPT ☒ DEFINITIEF						

Contents

1	Inleiding	1–1
2	Doelstelling van het zandtransport-onderzoek.....	2–1
3	Hoofdpijnen van het zandtransport-onderzoek.....	3–1
4	Resultaten van zandtransport-onderzoek.....	4–1
5	Samenhang van het zandtransport-onderzoek met de andere projecten	5–1
6	Samenvatting, conclusies en aanbevelingen.....	6–1
	6.1 Samenvatting	6–1
	6.2 Konklusies	6–3
	6.3 Aanbevelingen	6–4
7	References	7–1

Appendices

A	NZM model: research model for sand transport	A–1
B	TRANSPOR2000: engineering model for sand transport	B–1
C	DATABASE for sand transport	C–1
D	CROSS-SHORE PROFILE MODEL UNIBEST-TC	D–1
E	AREA MODEL DELFT3D	E–1

I Inleiding

De beheersbaarheid van het Nederlandse morfologische kustsysteem vereist kennis en inzicht van de kustdynamiek op verschillende tijdschalen van kort, middellang tot de lange termijn. De systeemkennis van golven, stroming, zandtransport en bodemmorfologie wordt vastgelegd in fysisch-mathematische modellen op de verschillende ruimtelijke schalen van kustprofielen (UNIBEST-TC) tot kustgebieden (DELFT3D). Het modelinstrumentarium moet zodanig zijn ingericht dat simulaties/voorspellingen kunnen worden gedaan op alle te onderscheiden morfologische schaalniveau's.

De modellering van het zandtransport blijkt telkens weer een van de kritische aspecten in dergelijke modellen te zijn. Op dit punt bestaat er duidelijk een aantal kennisleemtes over de dominante processen van het zandtransport. Enerzijds bestaat er de behoefte deze kennisleemtes op te vullen door procesgericht detailonderzoek, anderzijds is er de behoefte de nieuwe inzichten te vertalen naar praktisch bruikbare formuleringen, die in de bestaande mathematische modellen zoals UNIBEST-TC en DELFT3D kunnen worden geïmplementeerd. De ontwikkeling (met inbegrip van testen en evalueren) van dit modelinstrumentarium (UNIBEST-TC en DELFT3D) is het hoofddoel van de Strategische Samenwerkingsintentie op het gebied van kustonderzoek tussen RIKZ en WL.

Een belangrijk aspect hierbij is de cyclus: testen, evalueren en ontwikkelen van de modellen; testen en evalueren op basis van gebiedsgerichte toepassingen van de modellen met als doel het sturing geven aan de gewenste verbeteringen.

De projecten (tot nu toe) in het Generiek Kustonderzoek 2000-2004 zijn:

- Project 1 Ontwikkelen, testen en evalueren van ARGUS kustmonitoring systeem
- Project 2 Testen en evalueren van korte termijn morfologische procesmodellen
- Project 3 Verbeteren en ontwikkelen van korte termijn morfologische procesmodellen
- Project 4 Ontwikkelen van (middel)lange termijn morfologisch model
- Project 5 Testen en evalueren van (middel)lange termijn morfologisch model

In Project 3 van het Generiek Kustonderzoek 2000-2004 wordt er gewerkt aan het verbeteren van de genoemde zandtransportformuleringen en aan het implementeren van deze formuleringen in de diverse morfologische modellen. De deelprojecten, die daarmee samenhangen, zijn:

- Z2899.10 Numerieke simulatie van zandtransport door golven en stroming (NZM);
- Z2899.20 Verbeteren en testen van 'engineering' transportmodel TRANSPOR2000;
- Z2899.30 Verbeteren en aanvullen van database voor zandconcentraties en transport;
- Z2899.40 Verbeteren van Unibest-TC profielmodel;
- Z2899.50 Verbeteren van DELFT3D gebiedsmodel.

Het Project 3 wordt in 2000 uitgevoerd onder het WL-Projectnummer Z2899.

De resultaten van deze deelprojecten zijn vastgelegd in Engelstalige rapporten (Uittenbogaard 2000a,b; Van Rijn 2000a,b; Van Kessel 2000; Lesser et al. 2000), waarvan de samenvattingen zijn opgenomen in Appendices A tot en met E van dit rapport.

De samenhang en meerwaarde van het onderzoek in Projekt 3 en de toelevering van proceskennis van Projekt 3 naar de andere projecten van het Generiek Kustonderzoek zal in dit rapport nader worden uiteengezet.

Dit rapport is opgesteld door Prof. Dr. L.C. van Rijn in overleg met Dr. J.A. Roelvink, Dr. Th. van Kessel, Dr. R. Uittenbogaard, Ir. D.J. Walstra en Ir. S. Aarninkhof.

2 Doelstelling van het zandtransport-onderzoek

De overkoepelende doelstelling van het zandtransportonderzoek in Projekt 3 is het voorspellen van het morfologische gedrag van de kust of delen van de kust op de korte en middellange termijn onder veranderende hydrodynamische kondities als gevolg van natuurlijke oorzaken of door menselijke ingrepen in het kuststelsel en dit op een zodanige wijze dat de vragen uit de praktijk van de kustbeheerder optimaal kunnen worden beantwoord. Hierbij moet in de kustzone worden gedacht aan: de effecten van stormen op de kusterosie, de effectiviteit (omvang, kustdwarse en kustlangse locaties) van suppleties om kusterosie te bestrijden, de invloed van zandwinning op de kustligging, de aanzanding van geulen, de morfologie rondom kunstmatige eilanden in zee en landaanwinningen, enz. (zie ook onderstaande tabel).

Schaalniveau	Type model	Toepassing	Vereiste nauwkeurigheid
Korte termijn (0 tot 5 jaar)	2D/3D procesmodellen (DELFT 2D/3D, UNIBEST-TC, SUTRENCH)	-ontwerp en onderhoud suppleties -lokale initiële morfologie rondom constructies -lokale sedimentatie in vaargeulen en havens	-jaarlijks sedimentatie en erosievolumes in vakken van 100x100 m ² (+/- 50%) -initiële helling van ontgrondingskuilen (+/-20%) -initiële vervorming van taluds (+/- 20%) -initiële bankvorming (+/- 50%)
Middellange termijn (5 tot 25 jaar)	2D procesmodellen met geavanceerde opschalingsmethoden (DELFT 2D/3D-RAM)	Effekt van ingrepen op: -zeebodem -gedrag van banken/platen en geulen -gedrag van zandwinputten -gedrag van ontgrondingskuilen	-maximale bank/geulverplaatsing (+/- 50%) - omvang van bank/geulstelsel in vakken van 1x1 km ² (+/- 50%) - maximale lokale ontgrondingsdiepte of aanzandingshoogte (+/- 25%) - oppervlakte van ontgrondingsgebied (+/- 50%)
Lange termijn (25 tot 100 jaar)	1. initieel procesmodel met opschaling (DELFT 2D- ASMITA); 2. advektie-diffusie volume-modellen met geparametriseerde procesinformatie (ASMITA, PONTOS, UNIBEST-L); 3. advektie-diffusie bodempluggingsmodel met coëfficiënten op basis van procesmodel; 4. gedragsmodellen (empirisch-statistische data analyse; JARKUS)	-effect van ingrepen op gemiddeld plaatareaal, bodemplugging en kustlijn	-decade-gemiddelde erosie en sedimentatie volumes in vakken van 10x10 km ² (+/- 50%) -decade gemiddelde kustlijnligging in vakken van 10 km (+/- 50 %)

De gereedschappen die bij het maken van voorspellingen, worden gehanteerd zijn de beschikbare fysisch-mathematische proces- en gedragsmodellen (“de kennisdragers”). De procesmodellen worden vooral gebruikt voor het doen van voorspellingen op de korte en middellange termijn (0 tot 10 jaar), terwijl de gedragsmodellen worden gebruikt voor het maken van voorspellingen op een tijdschaal van decennia.

De opzet van het gewenste modelinstrumentarium kan op hoofdlijnen bij de huidige stand van zaken worden ingedeeld als weergegeven in bovenstaande tabel.

De procesmodellen zijn gebaseerd op het in detail simuleren van de hydrodynamische processen (golven en stroming) en de daardoor opgewekte zandtransportprocessen. De nauwkeurigheid van de morfologische voorspelling hangt dus nauw samen met de nauwkeurigheid van de submodellen (golven, stroming, zandtransport). Op basis van twee voorbeelden kan worden duidelijk gemaakt dat bij de huidige stand van de kennis het voorspellen van het zandtransport een zeer kritieke factor is in de serie submodellen.

Het eerste voorbeeld betreft de bodemmorfologie, die ontstaat bij uitstroming van een river met konstante afvoer in een kustzee met (initieel) rechte dieptelijnen en scheef inkomende golven (Roelvink, 1999). Figuur 1 toont de bodemmorfologie na 4 dagen op basis van een berekening met DELFT2D-mor, waarbij er twee verschillende zandtransportformuleringen zijn gebruikt (BIJKER1976 en TRANSPOR1993). Het verschil tussen de uiteindelijk berekende bodemligging geeft goed aan wat het effect is van een andere transportformule: de grootte van de transporten blijkt te verschillen, maar ook de richting van de transporten is anders.

Het tweede voorbeeld betreft de bodemmorfologie ter plaatse van Duck (USA) in Oktober 1994 na een stormperiode van 10 dagen (Van Rijn, 2000a). Figuur 2 toont de bodemmorfologie na 10 dagen op basis van een berekening met een profielmodel, waarbij er twee verschillende zandtransportformuleringen zijn gebruikt (BAGNOLD-BAILARD, 1981 en TRANSPOR2000). Duidelijk is te zien dat de twee zandtransportmodellen tot grote verschillen leiden in het gedrag van de brandingsbank. In dit geval zijn er metingen beschikbaar om het gebruikte zandtransportmodel te toetsen. Vaak zijn dergelijke metingen afwezig en is het de vraag welk model het goede antwoord geeft.

Deze voorbeelden illustreren de grote moeilijkheid van het zandtransportonderzoek: zoveel zandtransportmodellen, zoveel antwoorden en wat is waar?

De resultaten van de transportmetingen bij Egmond (WESP-CRIS metingen) geven inzicht in het relatieve belang van de verschillende zandtransportcomponenten. Figuur 3 toont deze transportcomponenten als functie van de ‘onshore’ piekorbitsnelheid nabij de bodem. De waarden betreffen het gemiddelde van een aantal meetpunten binnen zes klassen: $U_{1/3,on} = 0.32, 0.5, 0.67, 0.89, 1.08$ en 1.26 m/s. In de hoogste klasse zijn slechts twee meetpunten beschikbaar met relatief hoge spreiding. In de andere klassen zijn ca 10 meetpunten beschikbaar en is de spreiding relatief gering. Het bodemtransport is niet gemeten, maar berekend met behulp van een bodemtransportformule afgeleid uit golfunnelwaarnemingen met als invoer de gemeten instantane orbitaalsnelheid op $z = 0.02$ m boven de bodem. Het suspensietransport betreft de diepte-geïntegreerde waarde van de lokale suspensie-transporten tussen $z = 0.02$ m en $z = 1$ m boven de bodem.

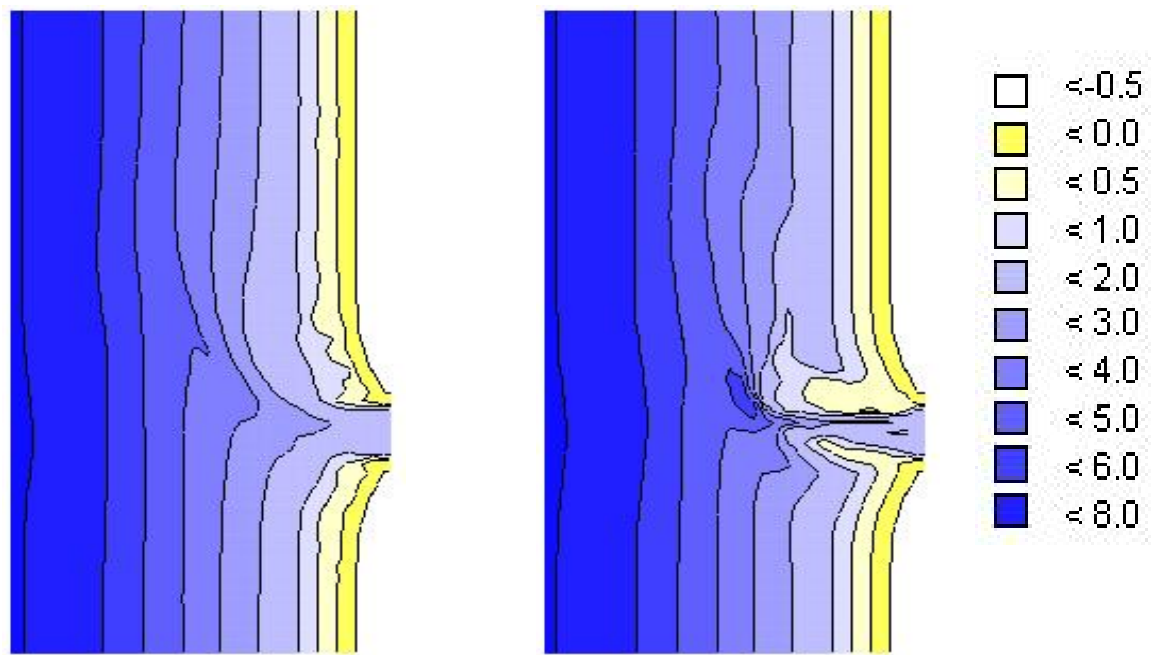
De resultaten van Figuur 3 kunnen worden samengevat als:

- het stromingsgerelateerd suspensietransport (door onderstroom en muistromen) is dominant ter plaatse van de banktop (diepte van 1 tot 5 m);

- het hoog-frequent suspensietransport (door asymmetrie van orbitaalbeweging) is overwegend landwaarts gericht; deze transportkomponent is van ondergeschikt belang tijdens stormsituaties, maar waarschijnlijk dominant tijdens omstandigheden met relatief lage golven (rustig weer opbouw);
- het laag-frequent suspensietransport is zeewaarts gericht, maar van ondergeschikt belang vergeleken met het stromingsgerelateerde transport;
- het bodemtransport is van ondergeschikt belang ten opzichte van het stromingsgerelateerde suspensietransport.

De transportresultaten laten zien dat het kustdwarse suspensietransport door de gemiddelde stromingen (onderstromen; muistromen; ‘streaming’ nabij bodem) verreweg de belangrijkste transportkomponent is in de brandingszone nabij het strand en dus een hoge prioriteit moet krijgen in het zandtransportonderzoek binnen Projekt 3. Daarbij moet de aandacht ook op de bodemruwheid door golven en stroom in samenhang met de kleinschalige bodemvormen (zandribbels) worden gericht, omdat de bodemvormen een grote invloed hebben op de stroomsnelheden en turbulentie nabij de bodem (wervelvorming) en daarmee op het transport van zand. Tot nu toe is de aandacht vooral gericht geweest op het ‘sheet flow’ (vlak bed) regime.

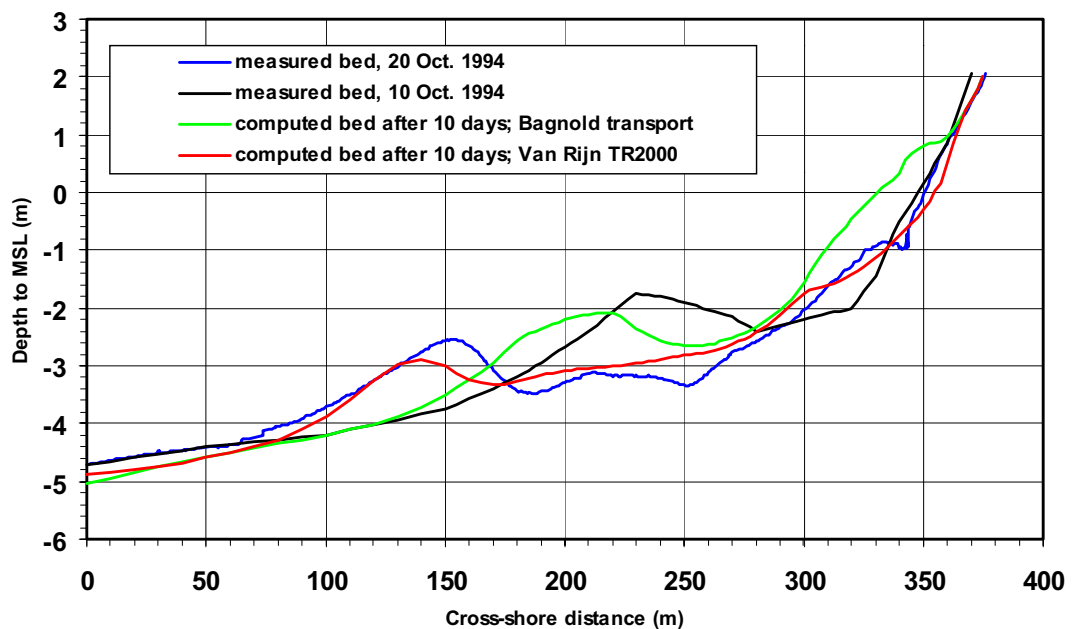
De resultaten van dit gevoeligheidsonderzoek laten verder zien dat de verschillen veroorzaakt door het gebruik van een andere zandtransportformule aanzienlijk belangrijker zijn dan variaties van 20% of 30% in de hydrodynamische parameters zoals golfhoogte, asymmetrie van de orbitaalsnelheid. Het verder perfektioneren van de hydrodynamische submodellen ten aanzien van hoog- en laagfrequente golfparameters is dus voor het zandtransport in de kustzone van wat minder belang (in relatieve zin) dan het verbeteren van de zandtransportformuleringen als zodanig en moet dan ook in Projekt 3 minder prioriteit krijgen bij het afwegen van de verschillende onderzoeksinspanningen. Het verder verbeteren van de hydrodynamische submodellen met betrekking tot hoog- en laagfrequente golfparameters moet in andere projecten (Delft Cluster; Universiteiten) worden opgepakt.



Figuur 1 Bodemmorfolgie na 4 dagen op basis van DELFT2D-mor: uitstroming van rivier met konstante afvoer in een kustzee met initieel rechte dieptelijnen en scheef inkomende golven;

Links: op basis van BIKER 1976

Rechts: op basis van TRANSPOR1993 (Van Rijn 1993)



Figuur 2 Profielmorfolgie ter plaatse van Duck (USA) na 10 dagen stormperiode (maximum $H_{s,ofshore} = 2.5$ m op diepte van 8 m) op basis van een profiel model en de zandtransportformuleringen van Bagnold-Bailard en TR2000 (Van Rijn 2000a).

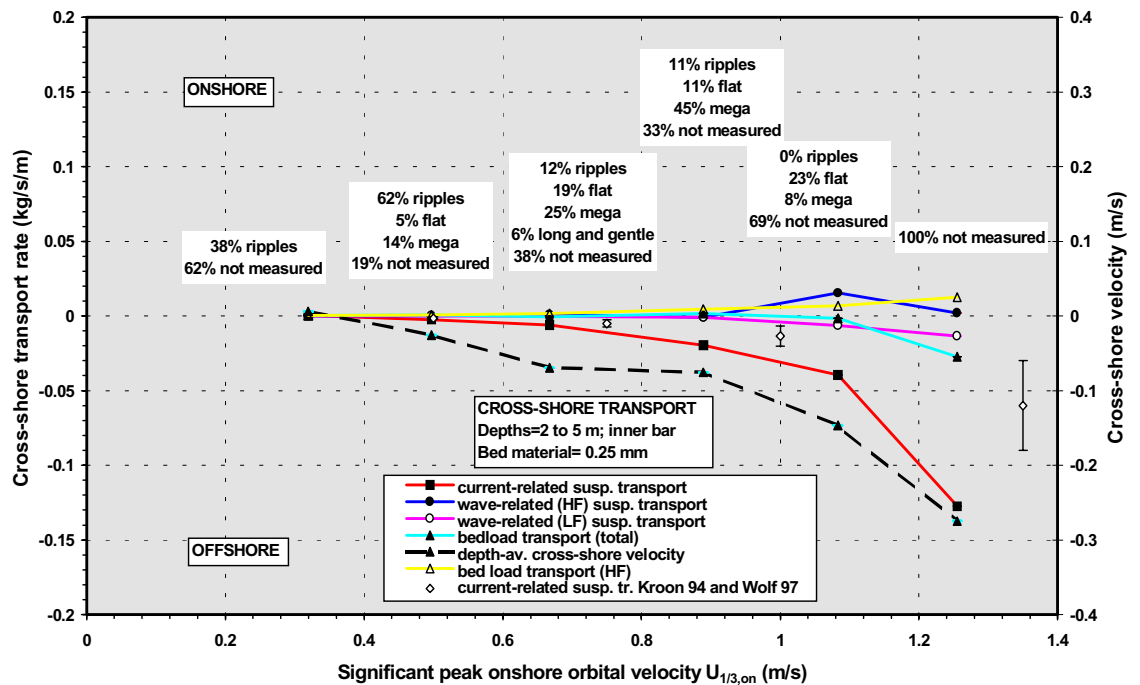


Figure 3. *Kustdwars suspensietransport en bodemtransport ter plaatse van binnenste brandingsbank bij Egmond als functie van piek-orbitaalsnelheid bij bodem ($U_{1/3,on}$); variatie range van de transportwaarden is ca 50%.*

3 Hoofdpijnen van het zandtransport-onderzoek

De eerder genoemde problemen bij het modelleren van het zandtransport kunnen worden samengevat in de vraag: waarom is het voorspellen van het zandtransport zo moeilijk? Hiervoor zijn een aantal oorzaken aan te geven:

1. Zandtransport zit helemaal achter aan de modellenserie in een morfodynamisch model. Eerst moeten er hydrodynamische randvoorwaarden worden bepaald, dan moeten er golfvelden en stroomvelden worden berekend. Daarna worden de zandtransporten berekend. Vaak wordt de stroming als tijd- en dieptegemiddelde parameter berekend, waardoor er geen informatie is over de verdeling in de tijd en in de verticaal. Voor het zandtransport is deze informatie echter cruciaal en dit moet dan lokaal worden berekend op basis van de tijdsgemiddelde en diepte-gemiddelde parameters. Alle fouten die in het voorgaande hydrodynamische deel zijn gemaakt, worden meegenomen in de zandtransportberekening. Het gaat hierbij niet zozeer om fouten door gebrek aan hydrodynamische kennis, maar meer om fouten ontstaan door het toepassen van vereenvoudigde methoden. Bijvoorbeeld het gebruiken van een 2DH waterbewegingsmodel, terwijl er eigenlijk een 3D modelberekening nodig is. Vaak wordt er voor een relatief onnauwkeurig 2DH model gekozen met als doel om de morfologie lang in de tijd te kunnen doorrekenen, terwijl het eigenlijk uit nauwkeurigheidsoogpunt beter is om een 3D model over een korte rekenperiode te gebruiken (dus kiezen voor kwaliteit in plaats van kwantiteit).
2. Het netto zandtransport is meestal het resultaat van grote bruto transporten die van elkaar worden afgetrokken. Daarmee wordt het netto transport dus extreem gevoelig voor fouten in de bruto transporten. Dit aspect is inherent aan het gebruik van procesmodellen, maar het leidt niet tot onacceptabele fouten zolang de procesmodellen worden toegepast in omstandigheden met dominante processen ('undertow' tijdens stormen; windgedreven stroming tijdens stormen, dominante vloed- of ebstroom, enz.) en/of in kondities met een duidelijke ruimtelijke verstoring (ingreep). Een vraag die hierbij ook aan de orde komt, is of het wel mogelijk is om de netto transporten deterministisch te bepalen op een kleine tijdschaal, om daarmee morfologische veranderingen te berekenen op een tijdschaal van jaren (zijn er grenzen aan de voorspelbaarheid?). Deze laatste vraag is niet zo goed vooraf te beantwoorden, maar moet van geval tot geval worden beschouwd door het maken van gevoeligheidssommen (meerdere scenario's) en dan de resultaten per gebied weer te geven als probabilistische waarden (gemiddelde en standaardafwijking). In het geval van omstandigheden met dominante processen en/of ruimtelijke verstoringen zullen de resultaten voldoende eenduidig zijn, maar in afwezigheid van dominante processen/verstoringen zullen de resultaten niet eenduidig zijn en dus in wezen onvoorspelbaar (kleine waarden met grote standaardafwijkingen). De gebruikte methode is daarbij niet zo relevant; de morfologie van gebieden zonder dominante processen/verstoringen is altijd onvoorspelbaar (labiel evenwicht zoals bijv. de positie van een natuurlijke brandingsbank versus stabiel evenwicht zoals bijv. de aanzanding van een kunstmatige vaargeul).

3. De fundamentele kennis van het zandtransport in kondities met golven en stroom is rudimentair. De basisfysica van bodemtransport (korrel-korrel interacties, demping turbulentie door korrels, etc.) en van suspensietransport in de onderste laag is nog grotendeels onbegrepen. We weten eigenlijk niet zo goed welke fundamentele vergelijkingen het zandtransport beschrijven en dat, samen met het gebrek aan ‘volledige’ meetgegevens, maakt het ook lastig om praktisch bruikbare zandtransport formules af te leiden. In de praktijk wordt dit probleem deels omzeild door het toepassen van ‘engineering’ zandtransportformules gebaseerd op relatief eenvoudige vergelijkingen en empirische kennis van laboratorium- en veldmetingen. Voor rivieren en estuaria zijn er een aantal van dergelijke zandtransportformules beschikbaar (Voogt et al., 1991), maar voor de kustzone zijn er eigenlijk geen algemeen geaccepteerde formules aanwezig door gebrek aan fundamentele en empirische kennis.
4. Het gebrek aan voldoende fundamentele en empirische kennis van het zandtransport (richting, grootte, samenstellende componenten, invloed stroom, invloed golven, invloed korreldiameter, invloed beddingvormen) wordt in grote mate bepaald door de moeilijkheid van het meten dichtbij de bodem in het laboratorium en in de natuur. Het belangrijkste deel van het zandtransport onder golven en stroom vindt plaats in een relatief dunne laag (orde 0.3 m) grenzend aan de bodem. Juist daar is het inbrengen van niet-verstorende meetapparatuur een groot probleem, alhoewel de resultaten van het recente laboratoriumonderzoek in de Deltagoot en in de Hannovergoot (Chung and Grasmeijer, 1999; Grasmeijer, 2000) en ook de resultaten van het veldonderzoek bij Egmond met behulp van de WESP en CRIS grote vorderingen laten zien. Laboratorium onderzoek in kleine goten en bassins is nuttig, maar geeft niet voldoende soelaas omdat het zand niet kan worden geschaald en er dus schaaleffekten optreden. Grote faciliteiten zoals de golftunnel en de Deltagoot leveren een nuttige bijdrage in het zandtransportonderzoek, maar de grote beperking is dat het nog steeds gaat om een vereenvoudiging van de werkelijkheid (geen verticale orbitaal snelheden en geen “onshore streaming” in de golftunnel, zie Bosboom et al., 2000; geen langsstroming in the Deltagoot). Daar komt nog bij dat de bodemvormen in de natuur duidelijk anders zijn dan die in de Deltagoot (Grasmeijer, 2001). Vergelijking van het golfgerelateerde suspensietransport in de Deltagoot en bij Egmond laat een verschil van een factor 3 zien, waarschijnlijk als gevolg van de aanwezigheid van meer 2D bodemvormen in de Deltagoot versus meer 3D bodemvormen bij Egmond (Grasmeijer et al., 2000). Gezien de beperkingen van laboratoriummetingen moet er meer aandacht komen voor het uitvoeren van veldmetingen in relevante omstandigheden. De daarvoor benodigde kennis, ervaring en instrumentatie is aanwezig bij Rijkswaterstaat en de Universiteit van Utrecht.

Het onderzoek in Projekt 3 moet voornamelijk gericht worden op de zandtransportpunten 3 en 4 van bovengenoemde lijst van punten, waarbij er vier hoofdlijnen van onderzoek zijn geformuleerd:

- **fundamentele lijn:**

Deze lijn betreft de ontwikkeling van een numeriek intra-wave sediment transport model (point sand model), waarin alle van belang zijnde zandtransportprocessen worden gesimuleerd. Dit model heeft de pretentie van nationaal zandtransport model (NZM), waarin recente kennisontwikkelingen van de verschillende NCK partners worden samengebracht en gecoördineerd door WL. Een dergelijk algemeen zandtransportmodel vereist dat oscillaties van het diepte-afhankelijke snelheidsveld en concentratieveld

binnen de golfperiode worden beschreven. Voorlopig is het model alleen geschikt voor een vlakke bodem (geen ribbels) van uniform zand, maar op termijn zal het model geschikt worden gemaakt voor gegradeerd zand en bodemribbels. Het NZM moet voorlopig worden opgevat als een research model, omdat het direct toepassen van dit intra-golfperiode model in een morfodynamisch model te rekentijd-intensief is.

- **engineering lijn:**

Bij de ‘engineering’ lijn gaat het om het maken van een relatief eenvoudig zandtransport-model (TRANSPOR2000) voor golven en stroom op basis van experimentele laboratorium- en veldresultaten en op basis van berekeningsresultaten van het NZM. Dit laatstgenoemde aspect betreft het parameteriseren van het intra-wave sand transport model. Het NZM zal dus een belangrijke bijdrage leveren met betrekking tot de verbetering van het “engineering” model. Daarbij zal het accent liggen op formuleringen die het oscillerende suspensietransport (hoog-frequente en laag-frequente asymmetrie) beschrijven op basis van de tijdsgemiddelde zandconcentraties. Dit ‘engineering’ model is in grote mate afhankelijk van veldgegevens zoals blijkt uit de recente herijking van het model op basis van de datasets van Egmond 1989 en 1992 (Kroon, 1994 en Wolf, 1997). De resultaten van het ‘oude’ TRANSPOR93 model bleken een factor 3 tot 5 kleiner te zijn dan de gemeten waarden. Herijking op basis van de gemeten waarden heeft geleid tot een aanzienlijke verbetering van de nauwkeurigheid van de model-resultaten. De modelresultaten liggen nu binnen een factor 2 tot 3 van de gemeten waarden (TRANSPOR2000, Van Rijn 2000a). Opgemerkt moet echter worden, dat het hier slechts gaat om een dataset van 10 meetwaarden (ondiep water van 1 tot 2 m). Aangezien de voorspellende waarde van het ‘engineering’ model voornamelijk wordt bepaald door de kondities van de onderliggende datasets, hangt de verdere ontwikkeling van dit model nauw samen met het beschikbaar komen van aanvullende datasets. De datasets van COAST3D Egmond 1998 (zie Figuur 3) en Duck 1994 kunnen hiervoor worden gebruikt, waarbij zij opgemerkt dat het ook in deze twee gevallen slechts gaat om datasets van beperkte omvang voor relatief ondiep water.

- **meetdata lijn:**

Deze lijn omvat het verzamelen van laboratorium- en veldgegevens van zandtransport en het vastleggen van de gegevens in een bestaande Excel database voor zandconcentraties en transport (Database ST2000). De gegevens worden gebruikt voor het verbeteren en testen van het NZM en het “engineering” model.

- **implementatie lijn:**

Dit betreft het implementeren en testen van gevalideerde concepten en formuleringen in de bestaande fysich-mathematische profiel- en gebiedsmodellen (UNIBEST-TC en DELFT2/3D).

Zoals duidelijk is, gaat het niet om afzonderlijke lijnen van onderzoek maar vooral om elkaar versterkende lijnen (fronten). Deze lijnen van onderzoek leveren dus informatie aan elkaar toe. Als voorbeeld hiervan kan worden genoemd de combinatie van het NZM met de golftunneldata om af te schatten wat het belang is van golf-geïnduceerde “streaming” op het zandtransport met als konklusie dat dit tot een aanzienlijke verhoging van de transporten kan leiden en dat dit proces in zandtransportformules gekalibreerd met golftunneldata niet wordt meegenomen (Bosboom et al., 2000).

Tenslotte is het van groot belang dat er meer aandacht wordt gericht op veldsituaties. Dit betekent enerzijds de uitbreiding van de zandtransportmodellen naar veldsituaties (met

onregelmatige golven, ‘streamings’effecten nabij de bodem, wervels door bodemvormen; NZM gaat nu nog uit van vlak bed) en anderzijds het testen en evalueren van de modellen op basis van de veldgegevens. Dit is echter geen eenvoudige taak omdat er nauwelijks betrouwbare veldgegevens zijn van snelheden en concentraties nabij het bed. Deze zone dicht bij het bed is echter wel het gebied waar een belangrijk deel van het transport zich afspeelt. Dit impliceert dat er substantiële inspanningen nodig zijn, gericht op het meten van zandtransporten in de kustzone op ondiep en diep water (1 tot 20 m). Kennis en ervaring met betrekking tot het meten in ondiep water van de brandingszone is in voldoende mate aanwezig (WESP-CRIS metingen), maar de kennis en ervaring met betrekking tot het meten in diep water is nog niet in voldoende mate opgebouwd. Bij de Universiteit van Utrecht wordt gewerkt aan het maken van een ‘stand-alone’ meetstation voor diep water (HSM-tripod; Hoekstra and Van Rijn, 1999).

Daarnaast kan ook aanvullend (verkenkend) onderzoek in de Deltagoot en in de golftunnel naar detailprocessen onder gecontroleerde omstandigheden nuttig zijn (bijv. de invloed van korreldiameter en gradering op zand transport via golftunnel en Deltagootproeven, de invloed van kleine ribbels op het netto zandtransport via golftunnelproeven, de effectieve bodemruwheid van beddingvormen in de golftunnel, en morfologische profielveranderingen in de Deltagoot als testdata voor profielmodellen).

De tijdhorizon voor het verkrijgen van redelijk nauwkeurige zandtransportmodellen (met nauwkeurigheid van factor 2 tot 3, zoals voor rivieren en estuaria) kan op ca 5 jaar worden gesteld als er voldoende betrouwbare zandtransportgegevens in diep en ondiep water (1 tot 20 m) beschikbaar komen.

4 Resultaten van zandtransport-onderzoek

De resultaten van het zandtransportonderzoek tot nu toe in Projekt 3 kunnen globaal worden samengevat als:

Fundamentele lijn

- opzet en bouw van het NZM voor het berekenen van het zandtransport over de volle waterkolom op basis van twee horizontale snelheidskomponenten en één verticale snelheidskomponent voor een regelmatig zowel als onregelmatig golfveld;
 - controle van modules voor invoer- en uitvoerparameters;
 - opties voor de invoer en uitvoer van tijdreeksen; verfijning van het numerieke rooster;
 - opties voor het maken van standaard-sommen;
- vergelijking van NZM met experimentele gegevens van het golftunnelonderzoek;
 - momentane snelheden en zandconcentraties in de golfgrenslaag;
 - aangetoonde belang van “streaming” op het zandtransport in de golfgrenslaag;

Engineering lijn

- verbeterde versie van TRANSPOR model (TR2000);
 - verbeterde bodemtransportformule voor uniform bodemmateriaal (vergeleken met data sets van rivieren en kusten);
 - implementatie van het oscillerend suspensietransport;
 - verifikatie van het model met een groot aantal datasets voor rivieren, estuaria en kusten (data van Egmond 1998 nog niet);
 - implementatie van formuleringen voor gegraadend bodemmateriaal;
 - vergelijking van TRANSPOR model met andere modellen (Bijker, Bagnold-Bailard);
- toepassingsresultaten van het TRANSPOR model in een morfologisch profielmodel;
 - profielontwikkeling van LIP 1B en 1C proeven in de Deltagoot;
 - profielontwikkeling tijdens stormen ter plaatse van Duck (USA);

Meetdata lijn

- gemoderniseerde database voor zandconcentraties en transporten:
 - ombouw van D-base naar Excel-format;
 - opties voor opnemen van tijdreeksen;
- verzamelen van meetgegevens:
 - alle relevante golftunnelproeven (uniform en gegraadend sediment; netto transporten en tijdreeksen);
 - gootproeven TUD met gegraadend sediment;
 - veldgegevens van Egmond 1998;

Implementatie lijn

- UNIBEST-TC;
 - oscillerend suspensietransport;
 - verbeterde transporten op de landwaartse rand;
 - uitbreiding van formules voor het berekenen van de asymmetrie van de orbitaalbeweging bij de bodem volgens het concept van Isobe-Horikawa;
- DELFT2/3D;
 - inbouw van de verticale structuur van zandtransport en golfgedreven stroming.

Uit de kwaliteit en de kwantiteit van de produkten blijkt dat het “brede front” concept met onderlinge interactie van de deelfronten goed werkt. Op alle deelfronten zijn er in de afgelopen 2 tot 3 jaar aanzienlijke vorderingen gemaakt in Projekt 3: het nationale zandtransportmodel is ontwikkeld en is beschikbaar voor verder onderzoek door de NCK-partners; het ‘engineering’ zandtransportmodel TR2000 nadert zijn voltooiing en wordt toegepast in de bestaande morfologische modellen (UNIBEST-TC en DELFT3D); de meetdata van de golftunnelproeven zijn toonaangevend in het wereldwijde zandtransportonderzoek en vormen de basis van de bodemtransportformules voor de kustzone; het veldonderzoek naar zandtransport heeft een flinke impuls gekregen door de WESP-CRIS metingen tijdens het COAST3D projekt bij Egmond, wat heeft geresulteerd in een kwalitatief goede, maar qua omvang nog beperkte dataset.

De werkwijze van testen, evalueren en verder ontwikkelen van de modellen laat dus zien dat er zicht is op een substantiële verbetering van onze zandtransportmodellen op een termijn van orde 5 jaar.

5 Samenhang van het zandtransport-onderzoek met de andere projecten

De projecten (tot nu toe) in het Generiek Kustonderzoek 2000-2004 zijn:

Project 1 Ontwikkelen, testen en evalueren van ARGUS kustmonitoring systeem

Project 2 Testen en evalueren van korte termijn morfologische procesmodellen

Project 3 Verbeteren en ontwikkelen van korte termijn morfologische procesmodellen

Project 4 Ontwikkelen van (middel)lange termijn morfologisch model

Project 5 Testen en evalueren van (middel)lange termijn morfologisch model

Het zandtransportonderzoek in Project 3 heeft een nauwe relatie met Project 2, waar de kalibratie en validatie (nader omschreven in VOP2000-2004, rapport Z2478, april 1999) van de procesmodellen bij Egmond centraal staan. Dit geldt met name voor de deelprojecten van Project 3 waarin het verbeteren van de numerieke modellen centraal staat (Z2899.40 en Z2899.50). Het testen en evalueren van de verbeterde versies wordt gedaan met 'tools' uit Project 2 (testbank). Het produkt van deelproject Z899.20 (verbeteren van het zandtransport model Transpor2000) zal uiteindelijk ook in UNIBEST-TC en DELFT3D worden opgenomen en wederom worden getest binnen Project 2 of met 'tools' die uit Project 2 afkomstig zijn. Met de overige deelprojecten van Project 3 is er een minder directe samenhang met Project 2 omdat dit meer fundamenteel onderzoek betreft waarvan de resultaten op de langere termijn uiteindelijk weer in Project 2 gebruikt zullen worden. Door overlap in WL projektmedewerker(s) met betrekking tot activiteiten rondom UNIBEST-TC zal de communicatie tussen de Projecten 2 en 3 zijn gewaarborgd.

De relaties zijn in de onderstaande tabel weergegeven.

Project 3	Project 2
Z2899.10 NZM	nog geen directe toepassing; wel op lange termijn
Z2899.20 TRANSPOR2000	direkte toepassing; testen van zandtransport-submodule als onderdeel van morfologisch model
Z2899.30 Database zandtransport	indirekte toepassing; toeleveren van zandtransportdata (indien nodig)
Z2899.40 Verbeteren UNIBEST	direkte toepassing; testen en evalueren van UNIBEST profielmodel op basis van beschikbare datasets (o.a. Egmond data 1998 en onderwatersuppletiedata 1999)
Z2899.50 Verbeteren DELFT3D	direkte toepassing; testen en evalueren van DELFT3D op basis van beschikbare datasets

De samenhang van Projekt 3 met Projekt 1 moet vooral worden gezien vanuit de relatie tussen de hydrodynamische modellen, de morfologische modellen en innovatieve monitoringsmethoden (Argus video observatietechniek). In Projekt 1 wordt er morfologische informatie van de kustzone verzameld met een relatief grote ruimtelijke en temporele resolutie op basis waarvan de verbeterde modellen (Projekten 3 en 5) kunnen worden getest en geëvalueerd (Projekten 2 en 4). Dit kan worden samengevat onder de noemer: data-modelintegratie. Projekt 1 is hiervoor van wezenlijke betekenis en moet eigenlijk ruimer worden gezien. Ook andere innovatieve (monitorings)methoden, die kunnen resulteren in de verbetering van de morfologische voorspelmethode, komen voor nadere beschouwing in aanmerking onder Projekt 1.

Het zandtransportonderzoek in Projekt 3 is ook van belang voor de Projekten 4 en 5 in verband met toelevering van proceskennis aan modellen voor het lange-termijn kustgedrag. Dit blijkt ook uit de fasering van het onderzoeksprogramma 2000-2004.

De samenhang tussen de projecten wordt nog versterkt door het beschikbaar komen van kennis van zandtransport (theorie en experimenten met gegradeerd bodemmateriaal; invloed bodemribbels op transport, etc.) uit andere kaders zoals het Delft Cluster Projekt en de EU-Research Projekten SEDMOC, COAST3D en SASME, waardoor er relatief grote vorderingen tot stand kunnen worden gebracht.

6 Samenvatting, konklusies en aanbevelingen

6.1 Samenvatting

De ontwikkeling (met inbegrip van testen en evalueren) van fysisch-mathematische proces- en gedragsmodellen voor de kustmorfologie is het hoofddoel van de Strategische Samenwerkingsintentie op het gebied van Kustonderzoek tussen RIKZ en WL.

In Projekt 3 (WL-project nummer Z2899 in 2000) van het Generiek Kustonderzoek 2000-2004 wordt er gewerkt aan het verbeteren van de zandtransportformuleringen en aan het implementeren van deze formuleringen in de diverse morfologische modellen. De deelprojecten, die daarmee samenhangen, zijn:

- Z2899.10 Numerieke simulatie van zandtransport door golven en stroming (NZM);
- Z2899.20 Verbeteren en testen van “engineering” zandtransportmodel TR2000;
- Z2899.30 Verbeteren en aanvullen van database voor zandconcentraties en transport;
- Z2899.40 Verbeteren van Unibest-TC profielmodel;
- Z2899.50 Verbeteren van DELFT3D gebiedsmodel.

De resultaten van deze deelprojecten zijn vastgelegd in Engelstalige rapporten, waarvan de samenvattingen zijn opgenomen in Appendices A tot en met E van dit rapport.

De overkoepelende doelstelling van het zandtransportonderzoek in Projekt 3 is het voorspellen van het morfologische gedrag van de kust of delen van de kust op de korte en middellange termijn onder veranderende hydrodynamische kondities als gevolg van natuurlijke oorzaken of door menselijke ingrepen in het kuststelsel en dit op een zodanige wijze dat de vragen uit de praktijk van de kustbeheerder optimaal kunnen worden beantwoord. Hierbij moet in de kustzone worden gedacht aan: de effecten van stormen op de kusterosie, de effectiviteit (omvang, kustdwarse en kustlangse locaties) van suppleties om kusterosie te bestrijden, de invloed van zandwinning op de kustligging, de aanzanding van geulen, de morfologie rondom kunstmatige eilanden in zee en landaanwinningen, enz.

Het zandtransportonderzoek in Projekt 3 omvat vier hoofdlijnen van onderzoek:

- **fundamentele lijn:**

Deze lijn betreft de ontwikkeling van een numeriek 1DV ‘intra-golf’ zandtransport model (‘point sand model’), waarin alle van belang zijnde zandtransportprocessen worden gesimuleerd. Dit research model heeft de pretentie van nationaal zandtransport model (NZM), waarin recente kennisontwikkelingen van de verschillende NCK partners worden samengebracht en gekoördineerd door WL. Een dergelijk algemeen zandtransportmodel vereist dat de oscillaties van het diepte-afhankelijke snelheidsveld en concentratieveld binnen de golfperiode worden beschreven.

- **engineering lijn:**

Bij de ‘engineering’ lijn gaat het om het maken van een relatief eenvoudig zandtransportmodel (bekend als TRANSPOR2000) voor golven en stroom op basis van

experimentele laboratorium- en veldresultaten en op basis van berekeningsresultaten van het NZM. Dit laatstgenoemde aspect betreft het parameteriseren van het intra-golf model. Het NZM zal dus een belangrijke bijdrage leveren met betrekking tot de verbetering van het ‘engineering’ model. De beschikbaarheid van veldgegevens is essentieel voor het ‘engineering’ model.

- **meetdata lijn:**

Deze lijn omvat het verzamelen van laboratorium- en veldgegevens van zandtransport en het vastleggen van de gegevens in een bestaande Excel-database voor zandconcentraties en transport (Database ST2000). De gegevens worden gebruikt voor het verbeteren en testen van het NZM en het “engineering” model.

- **implementatie lijn:**

Dit betreft het implementeren en testen van gevalideerde concepten en formuleringen in de bestaande fysisch-mathematische profiel- en gebiedsmodellen (UNIBEST-TC en DELFT2/3D).

De resultaten van het zandtransportonderzoek tot nu toe kunnen globaal worden samengevat als:

Fundamentele lijn

- opzet en bouw van het NZM;
- vergelijking van NZM met experimentele gegevens van het golftunnelonderzoek;

Engineering lijn

- analyseresultaten van veldgegevens;
- verbeterde versie van TRANSPOR model (TR2000);
- toepassingsresultaten van het TRANSPOR model in een morfologisch profielmodel;

Meetdata lijn

- gemoderniseerde database voor zandconcentraties en transporten;
- verzamelen en implementeren van meetgegevens;

Implementatie lijn

- nieuwe formuleringen in UNIBEST-TC;
- nieuwe formuleringen in DELFT2/3D.

Het zandtransportonderzoek in Projekt 3 heeft een nauwe relatie met Projekt 2, waar de kalibratie en validatie van de procesmodellen bij Egmond centraal staan. Dit zal toeleveren aan de identificatie van te verbeteren onderdelen in UNIBEST-TC en DELFT-3D.

Voor Unibest-TC krijgt deze toelevering concreet vorm door overleg tussen de Projekten 2 en 3 over het op te stellen verbeterplan/plan van aanpak voor Unibest-TC.

De validatiestructuur (testbank) voor UNIBEST-TC wordt in Projekt 2 opgezet. Parallel worden verbeteringen aan UNIBEST gedaan, die na het implementeren en testen in Projekt 3, in Projekt 2 gevalideerd worden volgens de voornoemde validatiestructuur. Door overlap in WL projectmedewerker(s) met betrekking tot activiteiten rondom UNIBEST-TC zal de communicatie tussen de Projekten 2 en 3 zijn gewaarborgd.

Gezien de behoefte aan goede morfodynamische veldmodellen, wordt er in Projekt 3 ook aanzienlijke aandacht besteed aan de verdere ontwikkeling van DELFT3D. De bestaande zandtransportformuleringen zijn geïmplementeerd en beperkt getest met redelijk succesvolle resultaten. Op deze wijze is het mogelijk om inzicht te krijgen in de voorellende waarde van deze formuleringen in een complexe 3D hydrodynamische situatie.

Het zandtransportonderzoek in Projekt 3 is ook van belang voor de Projekten 4 en 5 in verband met toelevering van proceskennis aan modellen voor het lange-termijn kustgedrag.

De samenhang tussen de projecten wordt nog versterkt door het beschikbaar komen van kennis van zandtransport uit andere kaders: Delft Cluster Projekt en EU-Research Projekten SEDMOC, COAST3D en SASME, waardoor er relatief veel en omvangrijke produkten kunnen worden opgeleverd.

6.2 Konklusies

De fundamentele kennis van het zandtransport in kondities met golven en stroom is rudimentair. De basisfysica van bodemtransport en van suspensietransport in de onderste laag is nog grotendeels onbegrepen. We weten eigenlijk niet zo goed welke fundamentele vergelijkingen het zandtransport beschrijven en dat, samen met het gebrek aan ‘volledige’ meetgegevens, maakt het ook lastig om praktisch bruikbare zandtransportformules af te leiden. Het gebrek aan voldoende fundamentele en empirische kennis van het zandtransport (richting, grootte, samenstellende komponenten, invloed stroom, invloed golven, invloed korreldiameter, invloed beddingvormen) wordt in grote mate bepaald door de moeilijkheid van het meten dichtbij de bodem in het laboratorium en in de natuur.

In de praktijk wordt het gebrek aan fundamentele kennis van zandtransport deels omzeild door het toepassen van ‘engineering’ zandtransportformules gebaseerd op relatief eenvoudige vergelijkingen en empirische kennis van laboratorium- en veldmetingen. Voor rivieren en estuaria zijn er een aantal van dergelijke zandtransportformules beschikbaar, maar voor de kustzone zijn er eigenlijk geen algemeen geaccepteerde formules aanwezig.

Kennisontwikkeling van zandtransport vereist aanzienlijke inspanning over een breed front van onderzoek: fundamenteel onderzoek naar de basisprocessen met behulp van geavanceerde mathematische modellen; ‘engineering’ onderzoek gericht op het ontwikkelen van relatief eenvoudige zandtransportmodellen om toe te passen in morfologische modellen; experimenteel onderzoek in laboratoriumfaciliteiten, maar vooral in de natuur en de implementatie van de gevalideerde procesformuleringen in de bestaande 1D, 2D en 3D morfologische veldmodellen.

Uit de kwaliteit en de kwantiteit van de produkten blijkt dat het “brede front” concept met onderlinge interactie van de deelfronten goed werkt. Op alle deelfronten zijn er in de afgelopen 2 tot 3 jaar aanzienlijke vorderingen gemaakt in Projekt 3: het nationale zandtransportmodel is ontwikkeld en is beschikbaar voor verder onderzoek door de NCK-partners; het ‘engineering’ zandtransportmodel TR2000 nadert zijn voltooiing en wordt toegepast in de bestaande morfologische modellen (UNIBEST-TC en DELFT3D); de meetgegevens van de golftunnelproeven zijn toonaangevend in het wereldwijde zandtransportonderzoek en vormen de basis van de bodemtransportformules voor de kustzone; het veldonderzoek naar zandtransport heeft een flinke impuls gekregen door de WESP-CRIS metingen tijdens het COAST3D projekt bij Egmond (1998), wat heeft geresulteerd in een kwalitatief goede, maar qua omvang nog beperkte dataset.

Uit de toelevering van de zandtransportformuleringen naar de andere projecten blijkt dat er een sterke samenhang met deze projecten tot stand is gebracht. De produkten van Projekt 3 worden inmiddels gebruikt.

Hieruit kan worden gekonkludeerd dat de cyclus: testen, evalueren en ontwikkelen, goed werkt. Het testen en evalueren in Projekt 2 geeft sturing aan de gewenste modelontwikkeling en verbetering in Projekt 3.

6.3 Aanbevelingen

Aanbevolen wordt om het zandtransportonderzoek op alle deelfronten met kracht door te zetten met als doel om op relatief korte termijn (orde 5 jaar) tot redelijk betrouwbare zandtransportmodellen en de daarmee samenhangende morfologische voorspelmodellen te kunnen komen. Daarbij is het van cruciaal belang dat de aandacht gericht wordt op veldsituaties. Dit betekent enerzijds de uitbreiding van de bestaande zandtransportmodellen naar veldsituaties en anderzijds het testen van de zandtransportmodellen op basis van veldgegevens. Dit is echter geen eenvoudige taak omdat er nauwelijks betrouwbare veldgegevens zijn van snelheden en zandconcentraties nabij het bed. Deze zone dicht bij het bed is echter wel het gebied waar een belangrijk deel van het transport zich afspeelt. Dit impliceert dat er flinke inspanningen nodig zijn, gericht op het meten van zandtransporten in de kustzone in ondiep (2 to 5 m) en in diep water (10 to 20 m).

Het zandtransport in de ondiepe kustzone (brandingszone van 2 to 5 m) kan op kwalitatief hoogwaardige wijze worden gemeten door de WESP-CRIS combinatie, zoals is aangetoond in het COAST3D projekt. Gezien de beperkte omvang van de bestaande meetset (Egmond 1998) verdient het aanbeveling om dit onderzoek voort te zetten in een flexibele opzet rondom nieuw uit te voeren strand- en onderwatersuppleties. De metingen zouden moeten zijn gericht op het zandtransport door stormen (korte ‘events’ van enkele dagen), waarbij zowel de langs- als de dwarstransportcomponenten moeten worden bepaald. Deze metingen zouden moeten worden ondersteund door innovatieve meettechnieken (ARGUS-video camera en “stand-alone” meetframes).

Het zandtransport op diep water (10 tot 20 m) kan alleen maar worden gemeten met “stand-alone” meetframes, zoals het nieuwe HSM-meetstation dat in ontwikkeling is bij de vakgroep Fysische Geografie van de Universiteit van Utrecht. Optimale resultaten kunnen worden verkregen als deze metingen worden gekombineerd met het maken van een grote proefput voor zandwinning zodat de zandtransporten ook uit de morfologische bodemveranderingen kunnen worden afgeleid. Een dergelijk projekt zal tevens een flinke impuls geven aan de verdere ontwikkeling van de veldmodellen (DELFT2/3D).

Voor de vier hoofdlijnen van onderzoek betekent dit:

Fundamentele lijn

- detailonderzoek met NZM vooral door NCK-partners en in Delft Cluster projecten;
- parameteriseren van modelresultaten voor gebruik in ‘engineering’ modellen;
- beheer van NZM door WL;

Engineering lijn

- voltooiën van TRANSPOR 2000 model (TR2000);
- parameteriseren van modelresultaten tot een eenvoudige transportformules;

Meetdata lijn

- uitvoeren zandtransportmetingen ter plaatse van strand- en onderwatersuppleties (WESP-CRIS metingen) en nabij proefput op diep water (HSM-frame);
- experimenteel onderzoek (waar nodig) in gecontroleerde omstandigheden in Deltagoot en golftunnel;
- implementatie van meetgegevens in databases;

Implementatie lijn

- nieuwe formuleringen in UNIBEST-TC;
- nieuwe formuleringen in DELFT2/3D.

Het verbeteren van de hydrodynamische submodellen met betrekking tot hoog- en laagfrequente golfparameters moet in andere projecten (Delfts Cluster; Universiteiten, enz.) worden opgepakt.

7 References

- Bosboom, J and Klopman, G., 2000.** Intra-wave sediment transport modelling. 27th ICCE 2000, Sydney, Australia
- Chung, D.H. and Grasmeyer, B.T. , 1999.** Analysis of sand transport under regular and irregular waves in large-scale wave flume. Report R99-05, Dep. of Physical Geography, Univ. of Utrecht, The Netherlands
- Grasmeyer, B.T., 2000.** Large scale flume experiments Hannover. Dep. of Physical Geography, University of Utrecht, The Netherlands
- Grasmeyer, B.T. , Van Rijn, L.C., Elgar, S. and Gallagher, E., 2000.** Verification of a cross-shore profile model using field data. Proc. 27th ICCE., Sydney Australia
- Grasmeyer, B.T., 2001.** Sand transport and morphology in the surf zone of Egmond, The Netherlands. Dep. of Physical Geography, University of Utrecht, The Netherlands (in preparation)
- Hoekstra, P. and Van Rijn, L.C., 1999.** Field measurement facility for hydrodynamics, sand transport and micro-morphology in coastal waters; HSM-TRIPOD. Dep. of Physical Geography, Univ. of Utrecht, The Netherlands
- Kroon, A., 1994.** Sediment transport and morphodynamics of the beach and nearshore zone near Egmond, The Netherlands. Doc. Thesis, Dep. of Physical Geography, Univ. of Utrecht, The Netherlands
- Lesser, G., Van Kester, J. and Roelvink, J.A., 2000.** On-line sediment transport modelling within Delft3D-flow. Delft Hydraulics, Report Z2899.50. Delft, The Netherlands
- Roelvink, J.A., 1999.** Morfodynamic simulations of the tidal inlet 'Zeegat van Ameland', Report 1. Alkyon/Delft Hydraulics.
- Uittenbogaard, R., 2000a.** Numerical simulation of wave-driven sand transport. Delft Hydraulics, Report Z2899.10. Delft, The Netherlands
- Uittenbogaard, R., 2000b.** Comprehensive introduction to Point-Sand Model. Delft Hydraulics, Report Z2899.10. Delft, The Netherlands
- Van Kessel, T., 2000.** UNIBEST v204 Documentation. Delft Hydraulics, Report Z2899.40. Delft, The Netherlands
- Van Rijn, L.C., 2000a.** General view on sand transport by currents and waves: data analysis and engineering modelling for uniform and graded sand (TRANSPOR 2000 and CROSMOR2000 models). Delft Hydraulics, Report Z2899.20/Z2099.30. Delft, The Netherlands
- Van Rijn, L.C., 2000b.** Database for sand concentrations and sand transport; ST Dabase 2000. Delft Hydraulics, Report Z2899.30/Z2099.30. Delft, The Netherlands
- VOP 2000-2004, 1999.** Voortschrijdend Onderzoek Programma Generiek Kustonderzoek. Rapport Z2478, WL/Delft Hydraulics
- Voogt, L., Van Rijn, L.C. and Van den Berg, J.H., 1991.** Sediment transport of fine sands at high velocities. Journal of Hydraulic Eng., ASCE, Vol. 117, No. 7, p 869-890
- Wolf, F.C.,J., 1997.** Hydrodynamics, sediment transport and daily morphological development of a bar-beach system. Doc. Thesis, Dep. of Physical Geography, Univ. of Utrecht, The Netherlands

A NZM model: research model for sand transport

Summary

The project consists of the development of the POINT-SAND model (NZM). The theoretical background of the beta-release of the POINT-SAND model is described. The POINT-SAND model is a computer code solving the relevant equations for momentum, turbulence and sediment as a function of the vertical co-ordinate as well as in time for wave-current-turbulence-sediment interactions in free-surface currents as well as in wave tunnels. The main purpose of the POINT-SAND model is being a research tool for sharing and focussing ongoing research in The Netherlands on sand transport. Presently, we implemented just standard formulations for settling velocity, hindered settling and bed erosion under sheet-flow conditions. The novel aspect of the code is the explicit simulation of intra-wave sand transport subjected to wave-current-turbulence interactions for stationary non-breaking waves and horizontal bed.

The project results demonstrate the applicability of the POINT-SAND model to the following flow configurations:

1. Constant-flow channel (free surface);
2. Confined wave tunnel (rigid lid);
3. Field conditions without surface waves (wind-driven and tidal currents, varying water depth, varying flow direction);
4. Combined wave-current channel (free surface, waves parallel to flow); or
5. Field conditions with surface waves (wave propagation irrespective of flow direction).

The model can not be applied to breaking waves or strong gradients in the direction of wave or current propagation. Presently, sand transport is modelled for the sheet-flow conditions only.

The built-in test case allows the user to check his selection of numerical parameters and appreciate the large sensitivity of the simulated depth-integrated sand flux to numerical methods, turbulence models, state and user-defined input parameters. The k-L model matches the theoretical results well so that we recommended using this model for this particular test case allowing for easily recording deviations by other parameter or process choices.

The hydrodynamic module in the POINT-SAND model simulates the wave-current experiments of Klopman (1994) well. We experienced a sensitivity of the simulations to time step and relaxation time i.e. under certain conditions the WCI force exhibits slow oscillations in time as well along the depth co-ordinate. These oscillations can be checked by the user because the WCI force is written to output in time series per z level as well as in depth records per time interval. Presently, we do not have a thorough rule-of-the thumb for the appropriate time integration input parameters, or a more robust scheme for better converging the WCI force to steady state, so that experience and careful testing is required.

Our comparison with wave tunnel experiments shows that at the current level of development, the results with the POINT-SAND are comparable to 1DV models such as discussed in Davies *et al.* (1997). This is not unexpected since for the idealised wave tunnel

conditions, the underlying model equations reduce to equations similar as used in the wave boundary layer models described in Davies et al. (1997).

We believe to have explored more thoroughly the sensitivity of our simulations to various numerical methods and parameter settings than published by others. We found that the simulation poorly converges and convergence is obtained at significantly more grid points than others publish their results. In view of the demonstrated sensitivity of the simulated as well as theoretical depth-integrated sand flux to changes in input and process conditions, further development of sand transport processes as well as a more thorough analysis of, and inter comparison with other 1DV models is strongly recommended.

The first previous tests as well as the first exploration of the POINT-SAND model to sand transport under wave-driven flows demonstrates how this model can assist in research for sand transport in coastal seas. The experiments in Hannover at Delft University on sand transport under waves are good candidates for further exploration with the POINT-SAND model.

Most recent research has been focussed on the development of a built-in test facility for checking the accuracy of the implemented sand-transport processes, numerical solution procedures and physical as well as numerical parameter setting. This test facility is based on the analytic solution for the depth-integrated flux of suspended sand in stationary turbulent flows.

In addition, the model has been applied to simulate extensive series of wave-current data of experiments in the Scheldt flume (monochromatic, bichromatic and random waves, mostly on a turbulent shear flow). It is demonstrated that the wave-current option of the POINT-SAND model is capable of simulation of these laboratory flows.

The project results include a paper for the ICCE symposium (Sydney, 2000). This paper explores the feasibility of the POINT-SAND model for investigating on-shore/off-shore sand transport in wave-driven currents over plane beds.

In future, comparisons should also be made outside the sheet flow regime, as bed ripples are common place both in laboratory tests and in the field. The effect of ripples on bringing and keeping sediment in suspension and the implications for sediment transport model need further research. Strictly speaking, the formulations used in this report are valid only for plane beds. The knowledge of sediment transport above rippled beds is limited such that it is difficult to properly model a rippled bed situation. Due to this lack in knowledge, in coastal engineering practice today, models for flat bed situations are often applied to rippled bed situations, using an increased bed roughness related to the ripple dimensions.

Ideally, comparison should also be made with field experiments, although it may prove to be hard to obtain a data set with sufficiently accurate near-bed velocities and concentrations. The study of sediment transport in coastal conditions (combined waves and current) is rather problematic, especially since an important part of the sediment transport will occur in the near-bed region. No reliable instruments are available for measuring velocities and sediment concentrations in the field below, say 5 cm above the bed.

B TRANSPOR2000: engineering model for sand transport

Summary

Coastal management rely increasingly on predictions made by computational numerical models of hydrodynamic and sediment-dynamic processes and the resulting bed level changes, which are derived from the spatial (horizontal) gradients of the depth-integrated sand transport rates. The key element in these models is the formulation of the depth-integrated sand transport as a function of wave and current conditions for a given bed material.

In this report the available sand transport data have been analysed and an engineering approach has been described to compute the depth-integrated sand transport for combined wave and current conditions in the rippled and flat bed regime of uniform and graded bed-materials. The method is based on instantaneous modelling of bed load transport and time-averaged modelling of suspended sand concentrations and associated suspended transport.

In 1984 the author proposed simple engineering formulations for the transport of sand in steady flow (Van Rijn, 1984a,b,c). In the period 1986 to 1993 this method was extended to the case of combined steady and oscillatory flow (current and waves), resulting in the TRANSPOR-model 1993 (VanRijn, 1993; reproduced in Appendix B of this report).

Since then, more field data sets have become available for calibration purposes, while also some laboratory data sets from large-scale wave tunnels and tanks have been presented in the literature. Based on these data sets, the engineering model has been improved. The focus points are the mixing of suspended sediment due to the presence of ripples and the effect of breaking waves on mixing processes. Furthermore, the model has been extended to include the influence of graded bed material. Special attention is given to the wave-related suspended sediment transport by the high-frequency oscillatory wave motion (short waves). Sediment transport by low-frequency waves is not addressed.

The main findings of the study are summarized below.

- An engineering sand transport model (TRANSPOR2000) has been formulated that can be used for the computation of sand transport in combined steady and oscillatory flow (waves and current), rippled and flat beds, uniform and graded bed materials with particle sizes between 0.1 and 2 mm.
- The calibration and the verification of the TRANSPOR2000 model is based on a large data base (see Appendix E) including about 1700 data sets for steady flow (rivers and estuaries) and about 120 data sets for combined steady and oscillatory flow (coastal seas) in depths up to 15 m and particle sizes between 0.1 and 2 mm.
- The net bed-load transport rate in conditions with combined steady and oscillatory flow over a sand bed can be reasonably well described (within factor 2 to 3) by time-averaging (over the wave period) of the instantaneous transport rates using a quasi-steady bed-load transport formula approach.
- The bed-load transport model results show good agreement with laboratory and field data for sand in the range of 0.2 to 1 mm (uniform and graded bed material) in the flat bed regime without adjustment of model coefficients.
- The measured bed-load transport increases (factor 2) with particle size for sand in the range between 0.1 and 0.2 mm, but decreases again (factor 2) for sand larger than about

0.3 mm up to 1 mm. The effect of particle size on bed-load transport is reasonably well represented by the model.

- The direction of the net bed-load transport is affected by the magnitude and direction of the steady current (if present) in relation to the strength of the wave asymmetry. A following current intensifies the net transport rate, but an opposing current may change the direction of the net transport into that of the current, if the strength of the opposing current is sufficiently large.
- The bed-load transport is mainly affected by the grain roughness. The overall bed-form roughness also has some (weak) influence on the bed-load transport in case of combined steady and oscillatory flow because of its effect on the near-bed velocity profile.
- The wave-related suspended transport component is modelled by an expression based on an instantaneous response of the suspended sediment concentrations and transport to the near-bed orbital velocity. Large-scale wave tank data have been used to calibrate the empirical coefficient involved; this coefficient is found to be constant for all test results considered (two grain sizes 0.16 and 0.33 mm; irregular waves).
- The high-frequency wave-related suspended transport is found to be onshore-directed (in wave direction) in conditions with irregular waves. This transport component increases with increasing significant wave height, but decreases with decreasing particle size. This latter effect is related to the ripple dimensions; the ripples generated in conditions with a relatively coarse sand bed (0.3-0.5 mm sand) are more pronounced resulting in stronger vortex motions and associated suspension processes.
- The current-related suspended transport is based on the modelling of the time-averaged velocity profile and the time-averaged sand concentration profile. Various empirical coefficients have been recalibrated using data from large-scale wave tank experiments. Important parameters for the suspended transport are the current-related and the wave-related bed-form roughness ($k_{s,c}$ and $k_{s,w}$); both parameters are input parameters.
- For conditions with combined steady and oscillatory flow (current and waves) the computed sand transport rates are strongly dependent on the wave-related bed-roughness value in the low velocity range of 0.2 to 0.6 m/s, for which the effect of wave-induced mixing of sediment dominates over turbulence-induced mixing. The effect of bed roughness is less important in conditions with dominating steady flow. The computed transport rates are in reasonably good agreement with measured values, provided that the proper bed roughness value is taken (in the range of 0.01 to 0.05 m). Generally, a bed roughness value of 0.02 m yields the best results.
- The sand transport for graded bed material can be computed by using a multi-fraction method (MF-method); the sand transport rate of each size fraction of the bed material is computed using an existing single fraction method (replacing the median diameter of the bed material by the mean diameter of each fraction) with correction factors to account for the non-uniformity effects. These correction factors are necessary because the coarser particles are more exposed to the near-bed current and wave motion than the finer particles which are somewhat sheltered by the coarser particles (hiding effect). The interaction of the size fractions can be represented by increasing the critical shear stress of the finer particles and decreasing the critical shear stress of the coarser particles. Furthermore, the excess bed-shear stress is corrected.
- The bed-load transport and the suspended transport strongly depend on the dimensionless bed-shear stress parameter. Sand concentration profiles measured in a small flume for combined oscillatory and steady flow over a fine graded sediment bed

have been used for determination of the proper expression of the dimensionless bed-shear stress parameter (correction factors).

- The multi-fraction (MF) method yields somewhat smaller (maximum 50%) bed-load transport rates than the single fraction (SF) method. The MF-method yields substantially larger suspended transport than the SF-method, varying between a factor 3 for the lower transport regime without waves to a factor of 1.5 for the upper transport regime with waves over a fine sand bed (0.2 to 0.3 mm). The increase of the suspended transport rate according to the MF-method is caused by the relatively large contribution of the finer fractions to the total suspended transport rate.
- In case of well-mixed bed material the application of a constant grain roughness related to the d_{90} of the mixture seems to be the most logic approach. In case of bed material consisting of segregated fractions it may be better to relate the grain roughness to the grain size of the individual fractions of the bed material mixture.
- The suspended sand transport based on the SF-method can be adjusted to that of the MF-method by using a smaller suspended sediment size d_s compared to the d_{50} of the bed material. The ratio of d_s and $d_{50,bed}$ varies between 0.4 for a weak current over a coarse graded sediment bed and 0.85 for a strong current over a fine graded sediment bed. The ratio of d_s and $d_{50,bed}$ varies between 0.5 and 0.9 for conditions with combined current and waves.
- The application of the MF-method is found to be most appropriate for graded bed material in conditions with weak currents and relatively low waves ($H_s/h < 0.2$), because of the relatively large contribution of the finer fractions in the transport process (winnowing effects) resulting in relatively large suspended transport rates (larger than those of the SF-method).

The limitations of the TRANSPOR2000 model are:

- the sand transport by oscillatory flow (with or without a weak steady flow < 0.1 m/s) is assumed to be a quasi-steady process (no major phase lags), which means that the model formulations are less accurate for bed material with $d_{50} < 0.2$ mm (fine sand bed);
- the current-related and the wave-related suspended transport rates for combined steady and oscillatory flow are strongly dependent on the wave-related bed-form roughness; the latter parameter, which is an input value of the model, can not be estimated with sufficient accuracy; bed-form and bed-roughness predictors are still missing;
- the high-frequency wave-related suspended transport is uncertain due to lack of sufficient field data for verification;
- the sand transport by low-frequency wave motion ($T > 20$ s) is not modelled.

The following recommendations are given:

- more field measurements of sand concentrations in the surf zone (bar crest zone) are required to study the wave-related mixing of sediment due to oscillatory flow for bed materials in the range of 0.2 to 1 mm;
- more field measurements of the high-frequency oscillatory suspended transport rates are required to better evaluate this transport component; it is of crucial importance for long-term profile development;
- bed roughness has a strong effect on the suspended transport in conditions with combined steady and oscillatory flow; field measurements of bed-form characteristics and associated effective bed-form roughness (based on analysis of the time-averaged

velocity profiles) in the surf zone are required to include these effects in the transport models; measurements of sand transport in field conditions should always include ripple size measurements; the bed-form data should be used to develop bed-form and bed-roughness predictors;

- the bed-form dimensions and associated bed roughness are variable along the cross-shore profile (relatively large values in trough zone); these effects should be better modelled, because they are of crucial importance for the modelling of bar development;
- field measurements of bed-load transport in the ripple regime during fairweather conditions are required, because this transport process may dominate during these conditions;
- the modified Isobe-Horikawa method for the prediction of the asymmetry of the near-bed orbital velocity is relatively simple and works reasonably well for the LIP tests (Delta flume experiments); the method should be more extensively tested for field conditions, focussing on the effect of the wave period and the bed slope.

The results presented in this report may be of interest to researchers of sand transport processes, users of morphological models and those interested in sand transport. Coastal managers are recommended to read the sections on the description of sand transport processes based on the analysis of laboratory and field data.

C DATABASE for sand transport

Summary

Sand transport and morphology is an important aspect of many hydraulic studies related to human interference in rivers, estuaries and coasts. Since our theoretical knowledge of the complicated dynamic processes of sediment transport and morphology is rather limited, we have to rely largely on empirical information. All over the world this information has been collected both in flumes and in nature.

Rapid analysis of the empirical data and comparison of the data with theoretical models require the application of a consistent and easy-accessible database system. Such a database system for sand concentrations and sand transport has been implemented by Delft Hydraulics (1991). Within the European SEDMOC project (1998-2001) this 'old' database has been modified by the Hydraulics Engineering Section of the Delft University of Technology in cooperation with Delft Hydraulics (contact address). Excel software is now used as data managing system.

The new database (EXCEL software) consists of two sub databases:

- Database TAP for Time Averaged Parameters and
- Database TAPTS for Time Averaged Parameters and Time Series.

The objectives of the present work can be summarized as:

- to update the databases TAP and TAPTS,
- to identify and include relevant data sets of existing wave tunnel measurements,
- to include time series of velocities and sand concentrations.

The Database TAP is available as a finalized product and contains 1004 measurement sets with velocity profiles, sand concentration profiles and current-related sand transport for steady flow (rivers and estuaries), oscillatory flow as well as combined steady-oscillatory flow both in laboratory and in field conditions (coastal seas). The parameters stored in the database generally consist of the basic measured parameters and additional parameters, the latter being defined as parameters computed from the measured parameters (for example: depth-averaged fluid velocity, depth-integrated sand transport). The file of the Database TAP consists of two EXCEL worksheets. The first worksheet, 'Data', contains all data from the original database. In the second worksheet, 'Graph', plots of velocity and concentration profiles of individual measurement sets are shown.

Each measurement set is stored in one data row. A row consists of 238 fields containing the data of the set. These data rows are identified by a unique identification number (NR). This NR-number can be used for fast searching in the database files.

The Database TAPTS contains time-averaged and time series data of sand transport rates. At present 117 measurement sets have been included.

In principle the Database TAPTS is similar to the Database TAP. However, it has been extended to be able to include time-series of measurements. The database TAPTS is in Microsoft Excel format and consists of:

- **main data excel file** containing two worksheets:
 - data worksheet with the time-averaged parameters;
 - graph worksheet for graphic display of time-averaged parameters (velocity and concentration);
- **data topic excel files** containing the time series data (in a directory, subdirectory and file structure), as follows;
 - main directory DATA;
 - subdirectories: data sets;
 - subdirectories: measurement sets
 - subdirectories: data topics;
 - files: data.

Each measurement set (generally one test) is stored in one 'measurement row'. A row consists of 250 fields containing the data of the measurement set. Each measurement set is identified by a unique NR-number. This NR-number is the first field on the 'Data' worksheet, and can be used for fast searching in the database files.

The fields of the database TAPTS have been updated, focussing on regular and irregular wave heights and periods, grain size distributions and wave- and current-related sediment transport rates both in long- and in cross-shore direction.

New features of the database TAPTS are the direct links to data topic files to include time series data. Examples of these files are: Concentration Time Series (CTS), Concentration Mean Series (CM), Velocity Time Series (VTS) and Velocity Mean Series (VM). These series will be stored as individual data topic files and are easy accessible via 'hyperlinks' in the mean Data worksheet.

The Databases TAP and TAPTS are being used within various national (NCK; National Centre for Coastal Research) and international research programmes (MAST2; MAST3-SEDMOC) with the aim to improve the methods for prediction of sand transport in rivers, estuaries and coastal seas. Data of cohesive sediment transport are not included.

The database is available (free of charge) for research institutes (NCK) in The Netherlands and SEDMOC-partners in the European Union. The database is commercially available for research institutes outside the EU. The contact address for the database is Delft Hydraulics.

D CROSS-SHORE PROFILE MODEL UNIBEST-TC

Summary

This report describes the implementation and subsequent testing of several new expressions into UNIBEST-TC, a computer model predicting sediment transport in a cross-shore profile. The implementations made are:

1. wave asymmetry according to the Isobe (1982) formulation.
2. engineering sand transport model from TRANSPOR2000 (Van Rijn, 1999).
3. improved land boundary conditions according to Steetzel (1993).

The implementations have been tested by comparing results obtained with both the new and the original version of UNIBEST-TC with results from the engineering transport model TRANSPOR2000 and with laboratory tests in the Delta flume (LIP experiments). For the latter comparison use has been made of a test bank developed by Roelvink (2000).

Apart from these implementations, a first investigation has been made about the unification of the roughness parameters used to calculate the eddy viscosity profile on the one hand, and the eddy diffusivity profile on the other hand.

The main conclusions are:

- In many (but not all) cases the calculated near-bed concentrations are much too high in the new version of UNIBEST-TC.
- This cannot be explained by the velocity profile used to calculate suspended load transport, as it remains unchanged with respect to the original version of UNIBEST-TC.
- The 3rd order velocity moment is improved by implementation of the Isobe formulation for wave asymmetry. However, bed load transport formulation as function of the 3rd order velocity moment must be adapted to improve the prediction of bed load transport.
- Sediment transport at the land boundary is better described using the formulation of Steetzel (1993) than the formulation of Larson *et al.* (1990). The former formulation results in dune erosion by reducing the dune width instead of the dune height, which is more realistic.

Linking the roughness values used to calculate suspended sediment transport to those used to calculate the velocity profile reduces the model performance. Matching the expressions for eddy viscosity and eddy diffusivity should be subject to further work.

E AREA MODEL DELFT3D

Summary

3D Wave-driven currents

Within the EU MAST SASME project and co-funded by the LWI-project “Kustmorfologische Veldmodellen” and the Rijkswaterstaat-funded project Z2899, Project 3 of the Generic Coastal Research Programme 2000-2004, a study has been carried out to improve the computed (wave averaged) cross-shore currents in near shore areas (in and just seaward of the surfzone) in Delft3D-FLOW. Delft3D-FLOW solves the unsteady shallow water equations in two (depth averaged) or three dimensions. In the present version of Delft3D-FLOW wave effects can only be incorporated in a depth averaged way via a (breaking) wave induced shear stress at the surface and an increased bed shear stress. Important wave effects such as the wave induced mass flux, streaming near the bottom and wave induced turbulence are not accounted for.

In this project attention is focused on the incorporation of these wave effects in a 3D mean flow model:

- Incorporation of wave induced mass flux in a 2DH or 3D mean flow model.
- Investigation of the effects of a non-uniform vertical distribution of the mass flux.
- Incorporation of wave induced turbulence.
- Implementing the effects of streaming in the wave boundary layer.

To model the wave induced mass flux we have used the GLM method (e.g. Groeneweg, 1999). This method is a hybrid Eulerian-Lagrangian approach that also enables the inclusion of a vertically non-uniform mass flux distribution. The model shows good agreement with measurements. It was found that the application of a vertically non-uniform mass flux improves the model predictions considerably.

Several validation tests have been carried out. Tests by Klopman (1994) were used to assess the performance for a combination of non-breaking waves and currents. The LIP 11D Delta Flume tests (Arcilla et al., 1994) were simulated to test the structure of the return flow in a barred surf zone. An example is given in Figure A.1

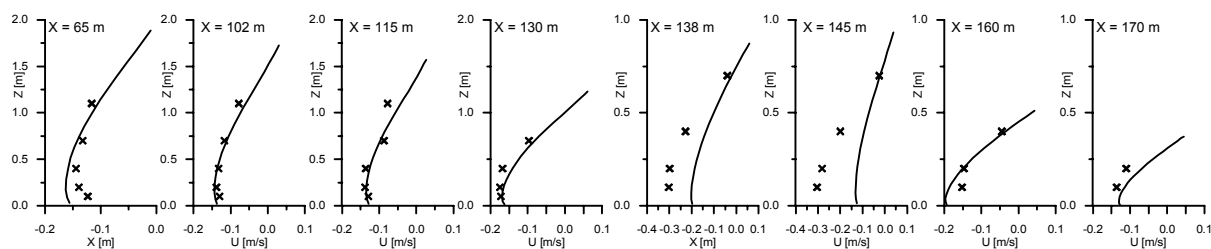


Figure A.1 Comparison between measured and computed velocity profiles, Arcilla et al Test 1B

3D Sediment transport and morphodynamics

In the course of the projects mentioned above, a model for suspended transport of sand and silt has been implemented within Delft3D-FLOW, as well as bed load transport of sand and morphodynamic updating due to suspended and bed load transport. Wave effects are accounted for through the wave driven currents (see previous section) and directly through their influence on the bed shear stress and mixing coefficient. Since the computation of sediment transport takes place within the FLOW module, no large communication files are required and a feedback of sediment concentration through the density to the momentum balance and turbulence model can be taken into account.

Morphodynamic updating takes place at each timestep. The bottom change rate is taken as the sum of the entrainment of suspended sediment and the gradient of bed load transport, times a morphological time scale factor. This factor is used to speed up morphological changes, which generally are much slower than changes in the flow.

Interaction between waves and currents can be included in a simulation through the existing steering module of Delft3D-MOR. This module can call the wave module (containing HISWA or SWAN) and the flow module consecutively. updated flow fields (top layer), water levels and bathymetry are passed from FLOW to WAVE; updated wave parameters are passed from WAVE to FLOW.

Extensive testing has been carried out, against analytical solutions, flume tests for current only and with waves, some practical cases in the Western Scheldt and the Eijerland Inlet, and a case of an offshore breakwater just outside the surf zone. As an example, results are shown for van Rijn's (1987) trench case, where good agreement is found both for the velocities and the concentrations.

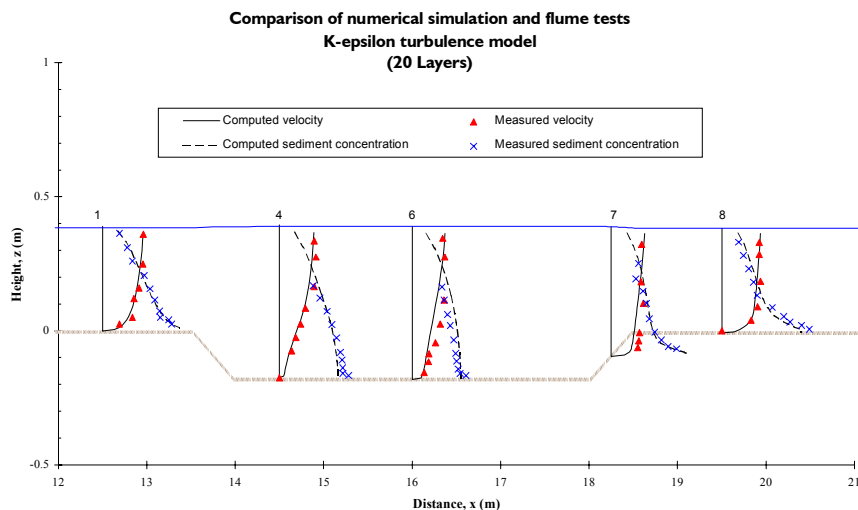


Figure A.2 Comparison measured and computed concentration and velocity profiles, trench case ,van Rijn (1987)

Conclusion

The capability to study morphological behaviour in complex situations has been significantly increased with the new 3D morphodynamic model. The research into 3D wave-driven currents, that into silt transport, 3D sediment transport and morphological change has led to one model version in which all these aspects can be combined, together with other processes which were already implemented (wind, tide, density currents, etc.).

This version will shortly be included in the standard Delft3D model, while some new developments are already taking place:

- work by Van Ledden on sand-mud mixtures, which will lead to a multi-layer bottom model within Delft3D.
- work by Klopman and Petit in the framework of NCK, on implementing time-varying forcing on the timescale of wavegroups in this version, allowing to study edge waves, surfbeat and their effect on morphology in 2DH and 3D, and improving boundary conditions.
- validation of existing and new model versions against the Coast3D dataset, by Klein (DUT, in framework of DIOC).

Recommendations

The following “generic” activities would be useful in the framework of this project:

- Adding a pragmatic submodel to account for wave asymmetry to the bed load transport.
- Analysing the behaviour of the recent Egmond nourishments with the new model, in conjunction with the ARGUS measurements.
- Testing of the new model in a not-too-large tidal inlet like the Ameland inlet, and comparing it with the 2DH studies carried out before;
- Testing of the effect and feasibility of using (curvilinear) SWAN rather than HISWA for this case.
- Testing of a combination of 3D modelling and RAM to arrive at longer timescales.

References

- Arcilla, A.S., Roelvink, J.A., O'Connor, B.A. and Jimenez, J.A., 1994. The Delta flume '93 experiment, Proc. Int. Coastal Dynamics Conference, UPC, Barcelona, pp. 488—502.
- Groeneweg, J., 1999. Wave-current interactions in a generalized Lagrangian mean formulation, PhD thesis, Delft University of Technology, Delft.
- Klopman, G., 1994. Vertical structure of the flow due to waves and currents: Laser-Doppler flow measurements for waves following or opposing a current, Delft Hydraulics, Report no. H840.32, Part 2.
- van Rijn L.C. 1987, Mathematical Modelling of Morphological Processes in the case of Suspended Sediment Transport. Doctoral thesis, Delft University of Technology.



WL | Delft Hydraulics

Rotterdamseweg 185
postbus 177
2600 MH Delft
telefoon 015 285 85 85
telefax 015 285 85 82
e-mail info@wldelft.nl
internet www.wldelft.nl

Rotterdamseweg 185
p.o. box 177
2600 MH Delft
The Netherlands
telephone +31 15 285 85 85
telefax +31 15 285 85 82
e-mail info@wldelft.nl
internet www.wldelft.nl

