

Opdrachtgever:

DG Rijkswaterstaat

Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ

Schatting bodemligging  
brandingszone uit Argus  
videobeelden

Verslag

November 2002

**wl | delft hydraulics**

Opdrachtgever:

DG Rijkswaterstaat

Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ

Schatting bodemligging  
brandingszone uit Argus  
videobeelden

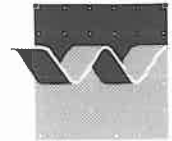
S.G.J. Aarninkhof en T. van Kessel

Verslag

November 2002



**wl | delft hydraulics**



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

TITEL: Schatting bodemligging brandingszone uit Argus videobeelden

SAMENVATTING:

De morfologie van de brandingszone en het strand, gekwantificeerd middels de zogeheten Momentane Kustlijn (MKL), is voor de kustbeheerder zeer belangrijk. De beheerder wordt bij een toets op veiligheid afgerekend op de ligging van de MKL. Op het moment kan de bodemligging in de brandingszone alleen goed bepaald worden met kostbare lodingen. Recentelijk echter is door WL en de TU Delft een model ontwikkeld, dat de bodemligging in de brandingszone bepaalt op basis van tijdgemiddelde videowaarnemingen van brekende golven. In het kader van deze studie is dit model gevalideerd aan de hand van gedetailleerde velddata, verzameld tijdens de Coast3D veldexperimenten en toegepast voor het monitoren van de morfologische veranderingen gedurende de periode september 1999 - september 2000, direct na aanleg van een gecombineerde strand- en vooroeversuppletie te Egmond.

De validatiefase van deze studie heeft geleid tot inzicht in de gevoeligheid van het model voor variaties in de belangrijkste model parameters. Met uitzondering van de erosieparameter M, die de responstijd van het model stuurt, bleken alle gevonden parameterinstellingen ongewijzigd bruikbaar voor toepassing van het model op de tijdschaal van 1 jaar. Ook bleek het niet nodig om massabehoud van sediment op de bodem te veronderstellen.

De modeltoepassing voor het monitoren van de morfologische veranderingen na aanleg van de gecombineerde strand- en vooroeversuppletie te Egmond heeft de praktische bruikbaarheid van het model aangetoond. Het model blijkt goed in staat de kustwaartse migratie van het banksysteem te reproduceren. Simulaties gedurende een periode van 9 maanden resulteren in bodemafwijkingen van minder dan 10 cm op de zeewaartse flank van beide brekerbanken en zo'n 25 tot 40 cm rond de top van de banken. Kustwaarts van beide zandbanken wordt de diepte van de trog overschat, doch niet met onrealistisch grote afwijkingen. Op dieper water toont het model een afvlakking van de vooroeversuppletie, daar waar deze in werkelijkheid juist een kustwaartse migratie en geringe versteiling laat zien. Samenvattend kan gesteld worden dat het model op de tijdschaal van 1 jaar realistisch gedrag vertoont, en mogelijk de potentie heeft om te kunnen fungeren als een aanvulling op de jaarlijkse Jarkus kustlodingen.

REFERENTIES: VOP 2002, overeenkomst RKZ-1196

VER.	AUTEUR	DATUM	OPMERK.	REVIEW	GOEDKEURING
1	S.G.J Aarninkhof T. van Kessel	november 2002		G. Ruessink	A. Roelfzema

PROJECTNUMMER Z3326

TREFWOORDEN: kustbeheer, kustmorfologie, profielmeting, brandingszone, remote sensing

AANTAL BLADZIJDEN 35

VERTROUWELIJK  JA, tot (datum)  NEE

STATUS:  VOORLOPIG  CONCEPT  DEFINITIEF

## Inhoud

<b>1 Inleiding</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Beschrijving diepteschattingsmodel</b> .....	<b>3</b>
2.1 Achtergronden diepteschattingsmodel .....	3
2.2 Overzicht van de belangrijkste modelparameters .....	5
<b>3 Model validatie Coast3D data</b> .....	<b>7</b>
3.1 Resultaten verkennende fase .....	7
3.2 Resultaten gedetailleerde fase .....	9
3.3 Toepassing: Bankontwikkeling vanaf arbitrair beginprofiel.....	11
3.4 Conclusies model validatie Coast3D data.....	11
<b>4 Toepassing monitoring Egmond suppleties</b> .....	<b>13</b>
4.1 Testruns Jan van Speyk Sept. 1999 - Mei 2000 .....	13
4.2 Toepassing Jan van Speyk Sept. 1999 - Sept. 2000 .....	15
<b>5 Conclusies en aanbevelingen</b> .....	<b>17</b>
<b>6 Referenties</b> .....	<b>19</b>

# I Inleiding

De morfologie van de brandingszone en het strand, gekwantificeerd middels de zogeheten Momentane Kustlijn (MKL), is voor de kustbeheerder zeer belangrijk. De beheerder wordt bij een toets op veiligheid afgerekend op de ligging van de MKL. Op dit moment kan de bodemligging in de brandingszone nog niet goed geschat worden met instrumenten of technieken anders dan directe bodemlodingen.

In het kader van werkzaamheden voor het VOP 1999 is het verslag 'Schatting bodemligging uit Argus videobeelden' geschreven, waarin aandacht is geschonken aan een methodiek om de bodemligging in de brandingszone te schatten uit video-observaties van brekende golven. Hierbij is aandacht besteed aan de toepasbaarheid van de methodiek voor kustbeheer.

Recent is er binnen een aantal onderzoekskaders werk verricht ter verbetering van het bovenbeschreven model, met name voor de toepassing op stranden met meerdere zandbanken. Dit betreft onder meer de ontwikkeling van een sub-model ter interpretatie van tijdgemiddelde beeldintensiteiten van brekende golven in het kader van de DIOC Aardobservaties van de TU Delft (Aarninkhof en Ruessink, 2001), alsmede de opzet van een sub-model voor het iteratief schatten van de bodemligging uit een gegeven patroon van golfdissipatie (in het kader van Delft Cluster). Dit laatste model is vooralsnog slechts toegepast op basis van zogenaamde synthetische data, d.w.z. modelmatig gegenereerde golfdissipatiegegevens. Er heeft nog geen validatie plaatsgevonden aan de hand van veldgegevens, noch is het model toegepast voor de bestudering van zandbank-dynamiek op een tijdschaal van weken tot jaren. Hierdoor is de praktische bruikbaarheid van het model vooralsnog onbekend.

Daarom is in het kader van het huidige project, dat als Project 6 een onderdeel vormt van het Voortschrijdend Onderzoeks Programma 2002 (een samenwerkingsverband van RIKZ en WL | delft hydraulics op het gebied van generiek kustonderzoek), besloten om de volgende werkzaamheden uit te voeren:

1. Implementatie van het bodemkarteringsmodel op basis van tijdgemiddelde videowaarnemingen. Zoals eerder gesteld, is het model vooralsnog opgezet voor toepassing op basis van synthetische gegevens. Toepassing op basis van velddata houdt in dat, gegeven een beginbodem en de getij- en golfcondities gedurende een bepaalde periode, tijdgemiddelde beeldintensiteiten worden bepaald uit de videobeelden en worden geïnterpreteerd op basis van het model van Aarninkhof en Ruessink. Vervolgens wordt de bodem iteratief aangepast, op basis van het actuele golf-dissipatiepatroon
2. Ontwerp van criteria t.a.v. de bruikbaarheid van videobeelden. Ten gevolge van ongunstige meteorologische condities, zeer lage golfhoogtes of het tijdelijk niet functioneren van een station kan het gebeuren dat beelden niet bruikbaar zijn voor het schatten van de bodemligging. In dat geval dienen ze automatisch buiten beschouwing gelaten te worden. Door Oregon State University is een techniek ontwikkeld om een kustdwars intensiteitsprofiel te beschrijven middels een trend, met daarop gesuperponeerd een aantal Gaussische krommen. Deze techniek leent zich uitstekend

voor het affilteren van ruis op het intensiteitssignaal. Daarnaast bieden de Gaussische krommen een aanknopingspunt voor de vaststelling van criteria t.a.v. de bruikbaarheid van een videobeeld (bv. via de hoogte en breedte per kromme). De drempelwaarden voor deze criteria worden in dit verslag vastgesteld.

3. Validatie van het bodemkarteringsmodel op basis van gedetailleerde bodemgegevens van de Coast3D veldexperimenten te Egmond. Aan de hand van deze testen kan worden nagegaan in hoeverre het model in staat is bodemveranderingen op de tijdschaal van dagen tot weken te monitoren. De geselecteerde periode loopt van 16 oktober tot en met 5 november 1998. Deze periode is gekozen vanwege de beschikbaarheid van goede kwaliteit videobeelden, bodemlodingen en golfmetingen. Hierdoor is een vergelijking mogelijk van de berekende dieptes op basis van videobeelden met de gemeten dieptes.
4. Analyse van de morfodynamiek op een Nederlandse Argus site op de tijdschaal van minimaal 1 jaar. Hiervoor is het station Egmond Jan van Speijk geselecteerd.

De onderzoeksresultaten die voortvloeien uit de uitvoering van deze vier activiteiten worden hieronder besproken.

## 2 Beschrijving diepteschattingsmodel

Deze paragraaf biedt een zeer beknopte beschrijving van het diepteschattingsmodel, alsmede een overzicht van de belangrijkste modelparameters die gebruikt zijn voor de afregeling. Voor een gedetailleerde beschrijving van de model formuleringen wordt verwezen naar Aarninkhof (*to be published*).

### 2.1 Achtergronden diepteschattingsmodel

Het diepteschattingsmodel ('Sub-tidal Beach Mapper', SBM) is gefundeerd op 2 sub-modellen (Fig. 2.1). Het Breaker Intensity Model (BIM) bemonstert beeldintensiteiten langs een kustdwarse raai, beoordeelt de bruikbaarheid van het intensiteitsprofiel (goede beeldkwaliteit, voldoende golf dissipatie) en interpreteert de intensiteiten in termen van een golfdissipatieparameter. Het aldus gemeten dissipatiesignaal fungeert als input voor het Bathymetry Assessment Model (BAM). Op basis van een beginbodem (hetzij gemeten, danwel bepaald uit een voorgaand Argus beeld) en de actuele golf- en getijcondities berekent BAM het kustdwarse verloop van de golfdissipatie en vergelijkt deze met het gemeten dissipatiesignaal. Vervolgens past BAM de bodem zodanig aan dat de overeenkomst tussen het berekende en gemeten golfdissipatiesignaal verbetert.

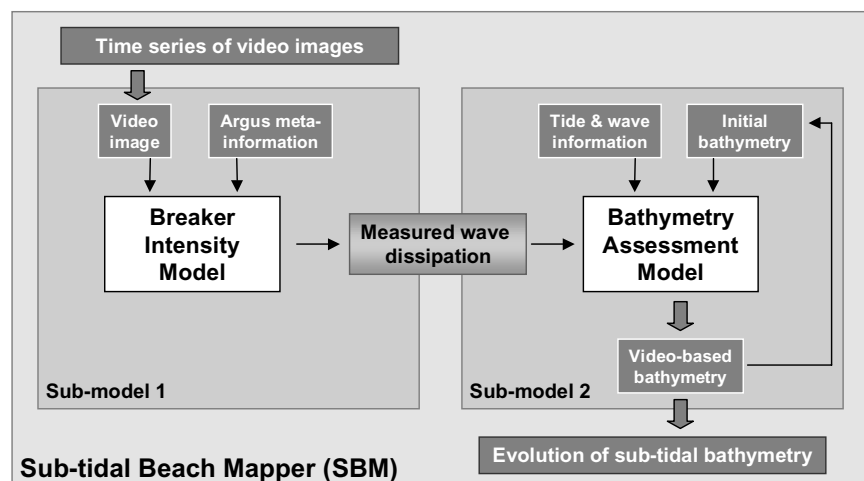


Fig. 2.1: Opzet diepteschattingsmodel SBM

Een aantal aspecten van beide submodellen verdient een korte toelichting:

- Achtergrond BIM (cf. Aarninkhof en Ruessink, 2001). Als gezegd bemonstert BIM tijdgemiddelde beeldintensiteiten langs een kustdwarse raai. Deze intensiteiten zijn hoog in gebieden waar golven breken, en laag daarbuiten. Om de ruwe intensiteiten te ontdoen van ruis wordt een kunstmatig profiel (bestaande uit een achtergrondintensiteit, een trend en een variabel aantal Gaussische curves) gefit op het ruwe intensiteitsprofiel (Alexander, 2001). Daarnaast is het intensiteitsprofiel vervuld als gevolg van het effect

van persistent schuim. Dit is schuim dat rondrijft op het wateroppervlak en dus niet rechtstreeks gerelateerd is aan het proces van golfbreken. BIM corrigeert hiervoor. Dit laatste is met name cruciaal op stranden met meerdere zandbanken.

- Selectie van bruikbare data. Ter beoordeling van de ruwe intensiteitsdata wordt een kunstmatig profiel, bestaande uit een achtergrondintensiteit  $I_0$ , een lineaire trend  $m_1$  en een variabel aantal Gaussische krommen, gefit op het kustdwars intensiteitsprofiel. Iedere dissipatiepiek correspondeert met een afzonderlijke Gaussische kromme, die wordt beschreven door een positie, hoogte en standaard deviatie. Fig. 2.2 geeft een voorbeeld van de toepassing van deze procedure te Egmond. De pieken rond  $x = -430$  m,  $x = -180$  m en  $x = -50$  m corresponderen met golfdissipatie op de buitenste bank, de binnenste bank en de intergetijde bank. De dunne lijn is het ruwe intensiteitsprofiel, de dikke lijn de Gaussische benadering en de stippellijn het verschil tussenbeide.

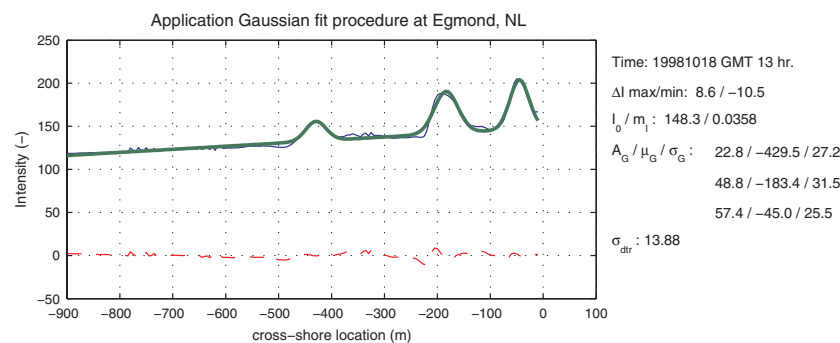


Fig. 2.2: Gaussische fit benadering van kustdwars intensiteitsprofiel

De selectie van bruikbare data gebeurt op basis van het verschil tussen de ruwe intensiteitsdata en de Gaussische benadering, alsmede de karakteristieken van de Gaussische benadering. Beelden worden verworpen indien:

1. De achtergrondintensiteit  $I_0$  van de Gaussische benadering lager is dan de empirisch bepaalde drempelwaarde  $bg_{min}$ . Hierdoor worden nacht- en schemerbeelden uitgesloten van verdere analyse.
  2. De maximale, positieve waarde van het verschil tussen het ruwe intensiteitsprofiel en de Gaussische benadering groter is dan de empirisch bepaalde drempelwaarde  $df_{max}$ . Hierdoor worden onbetrouwbare Gaussische benaderingen uitgesloten van verdere analyse.
  3. De hoogte van de grootste Gaussische piek kleiner is dan empirisch bepaalde drempelwaarde  $h_{min}$ . Hierdoor worden beelden met onvoldoende geprononceerde golf dissipatie pieken uitgesloten van verdere analyse.
  4. De standaardafwijking van de breedste Gaussische piek groter is dan de empirisch bepaalde drempelwaarde  $w_{max}$ . Hierdoor worden onrealistisch brede dissipatiepieken uitgesloten van verdere analyse.
  5. De standaarddeviatie van het kustdwars intensiteitsprofiel kleiner is dan de empirisch bepaalde drempelwaarde  $sd_{min}$ . Deze laatste parameter is een maat voor de geprononceerdheid van het intensiteitsprofiel als geheel. Onvoldoende geprononceerde profielen worden uitgesloten van verdere analyse.
- Toepassing BIM. In de context van deze studie is BIM toegepast ter identificatie van de golfparameter die het best overeenkomt met het tijdgemiddelde intensiteitsprofiel. Hiertoe is een groot aantal berekende en gemeten dissipatieprofielen vergeleken in



termen van de oppervlakte onder de dissipatiepieken. Uit de vergelijking komt naar voren dat de geschaalde video-intensiteiten het best overeenkomen met de dissipatie  $D_r$  van roller-energie, welke evenredig is met de roller-energie  $E_r$  gedeeld door de golfvoortplantingssnelheid  $c$ . Voor nadere details over deze analyse wordt verwezen naar Aarninkhof (*to be published*).

- **Achtergrond BAM.** BAM is gebaseerd op het bekende golfmodel volgens Battjes en Janssen (1978), uitgebreid met de roller-formulering volgens Stive en De Vriend (1994). Het model is vooralsnog opgezet in 1D, waardoor de toepassing zich beperkt tot kustdwarse raaien. BAM maakt gebruik van een bodemprofiel  $z_b(x)$  met daarboven een sediment-bufferlaag met concentratie  $C_s(x)$  (Fig. 2.3)

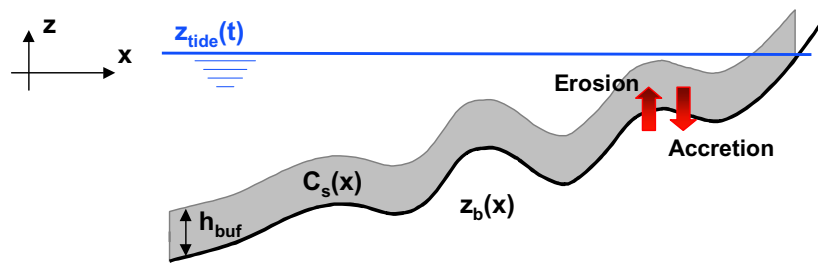


Fig. 2.3: Definitie schets BAM

Indien de gemeten golfdissipatie lokaal de berekende golfdissipatie overschrijdt, wordt de bodem verhoogd (aanzanding). Het sediment dat hiervoor nodig is wordt onttrokken aan de bufferlaag. Omgekeerd volgt erosie indien de gemeten dissipatie lokaal de berekende dissipatie onderschrijdt. Geërodeerd sediment wordt toegevoegd aan de bufferlaag. Diffusie zorgt voor de herverdeling van sediment in de bufferlaag, van gebieden met een hoge  $C_s$  (erosief op de bodem) naar gebieden met een lage  $C_s$  (aanzandend op de bodem). Op deze manier beoogt BAM de herverdeling van sediment binnen een kuststelsel na te bootsen. Met nadruk wordt gesteld dat deze herverdeling van sediment in de bufferlaag niet sturend is voor de berekende bodemverandering. Het is slechts een reactie daarop. De bodemveranderingen worden rechtstreeks bepaald uit de verschillen tussen de berekende en gemeten golfdissipatie.

Het totale systeem van bodem plus bufferlaag is per definitie massa-behoudend (geen transport over de zeewaartse en kustwaartse randen). Als aanvullende eis *kan* gesteld worden dat voor elke tijdstap de totale erosie langs het profiel gelijk is aan de totale sedimentatie. In dat geval is de hoeveelheid sediment op de bodem massa-behoudend.

## 2.2 Overzicht van de belangrijkste modelparameters

De belangrijkste parameters die gevarieerd zijn ten behoeve van de modelvalidatie (tijdschaal weken, zie Hoofdstuk 3) en modeltoepassing (tijdschaal 1 jaar, zie Hoofdstuk 4) zijn:

- De parameters  $\gamma$  (golfdissipatie) en  $\beta$  (rollerdissipatie) van het golfmodel. Een afname van  $\gamma$  zorgt voor een toename van de hoeveelheid dissipatie op de buitenste bank. Een

afname van  $\beta$  zorgt voor een vertraging van de dissipatie van roller energie, waardoor de rollers zich verder voortplanten in de trog.

- De tailfactor  $tf$  van het Breaker Intensity Model (BIM). De parameter  $tf$  beschrijft de bijdrage van een enkele, brekende golf aan de toename van de intensiteit in een pixel tijdens en na passage van de brekende golf (zie Aarninkhof en Ruessink, 2001). Dit signaal bevat 2 componenten. Deels is het rechtstreeks gerelateerd aan de dissipatie van golf energie, en deels wordt het veroorzaakt door persistent schuim dat rondrijft op het wateroppervlak. Om het videosignaal te kunnen relateren aan modelberekeningen van golfdissipatie dient de bijdrage van het persistente schuim verwijderd te worden. BIM beoogt dit te doen middels een reductie van het tijdsgemiddelde intensiteitsniveau. Een verlaging van BIM veronderstelt dat het videosignaal in hogere mate vervuild is door het effect van persistent schuim, met als gevolg een grotere reductie van de tijdgemiddelde beeldintensiteiten.
- De macht  $p$  in de kustdwars variërende schalingsfactor  $F_s = (h/h_0)^p$ , waarmee de berekende bodemveranderingen worden geschaald. In deze formulering is  $h$  de lokale waterdiepte en  $h_0$  de waterdiepte op de zeewaartse rand van het profiel.  $F_s$  wordt toegepast om te voorkomen dat SBM grote bodemveranderingen berekent rond de waterlijn en om ervoor te zorgen dat de diepe banken zich relatief snel instellen op het gemeten dissipatieprofiel.
- De erosieparameter  $M$  en de sedimentatie parameter  $w$ . Deze parameters sturen de grootte van de morfologische veranderingen per tijdseenheid en bepalen daarmee de responstijd van het model. Door de waarden van  $M$  en  $w$  met een factor 2 te vergroten nemen de berekende bodemveranderingen per tijdseenheid toe met een factor 2, waardoor het model zich sneller aanpast aan een gemeten dissipatieprofiel. Beide parameters vereisen afregeling op basis van veldmetingen, om te komen tot een situatie waarbij SBM de optredende morfologische veranderingen kan volgen zonder dat het zich te veel instelt op onnauwkeurigheden in de videodata. Hierin moet een balans worden gevonden. *Optioneel* kunnen  $M$  en  $w$  zodanig ingesteld worden dat de totale erosie per tijdstap gelijk is aan de totale sedimentatie per tijdstap. In dat geval is er sprake van massabehoud op de bodem.

Zoals zal blijken in het vervolg van deze studie zijn de parameters  $p$  en  $w$  met name van belang voor het langetermijngedrag van het model.

## 3 Model validatie Coast3D data

In het kader van deze studie is het diepteschattingsmodel als beschreven in Hoofdstuk 2 gevalideerd aan de hand van bodemgegevens, ingewonnen gedurende de Coast3D veldexperimenten te Egmond in het najaar van 1998. Gedurende deze periode zijn de morfologische veranderingen in termen van bankverplaatsingen marginaal. In die zin is deze test case niet erg representatief in het licht van de doelstelling van SBM, het monitoren van morfologische veranderingen op de tijdschaal van seizoenen tot jaren. Desalniettemin biedt deze dataset een bruikbaar handvat voor het testen van de gevoeligheden van het model. De validatie is uitgevoerd in 2 fasen:

1. De verkennende fase. De eerste testserie is bedoeld om enig gevoel te krijgen voor het gedrag van het model bij een grote variatie van de modelparameters en relatief soepele criteria voor de acceptatie van videobeelden. De resultaten van de verkennende fase zijn beschreven in Paragraaf 3.1.
2. De gedetailleerde fase. Op basis van de bevindingen uit de verkennende fase is het model aangepast en nogmaals getest. De resultaten van de gedetailleerde fase zijn beschreven in Paragraaf 3.2.

Op basis van de resultaten van de gedetailleerde fase worden de parameterinstellingen vastgesteld, die gebruikt gaan worden voor de langere termijn model toepassing op de gesuppleerde kust voor de Egmondse vuurtoren Jan van Speyk (zie Hoofdstuk 4).

### 3.1 Resultaten verkennende fase

In de verkennende fase is het diepteschattingsmodel SBM toegepast op beelden van het Argus videostation bovenop de Coast3D-mast. De toepassing betreft een relatief korte periode, van 16 oktober tot en met 5 november 1998. Deze periode is gekozen vanwege de beschikbaarheid van goede-kwaliteit videobeelden, bodemlodingen en golfmetingen. In deze eerste testserie is een aantal verschillende parameterinstellingen gebruikt. Deze zijn:

1. Voor de golfdissipatie parameter:  $\gamma = 0$  (standaard setting volgens Battjes en Stive, 1985),  $\gamma = 0.5$ ,  $\gamma = 0.6$  en  $\gamma = 0.8$ ;
2. Voor de rollerdissipatie parameter:  $\beta = 0.05$ ,  $\beta = 0.08$ ,  $\beta = 0.1$  (standaard) en  $\beta = 0.15$ ;
3. Voor de BIM parameter  $tf$  (tail factor):  $tf = 1$ ,  $tf = 5$ ,  $tf = 20$  (standaard);
4. Voor de erosieparameter  $M$ :  $M = 0.6$ ,  $M = 1$  (standaard);  $M = 2$ ;

De standaardberekening met  $\gamma=0$ ,  $\beta=0.1$  en  $tf=20$  is gekozen als referentie-berekening, waarmee de berekeningen met andere instellingen worden vergeleken. Vanwege de beschikbaarheid van bodemgegevens van goede kwaliteit is de bodem van 18 oktober 1998 gekozen als uitgangspunt voor de gevoeligheidsberekeningen. Berekeningen zijn uitgevoerd voor 3 verschillende situaties:

- Type 1: Onbewerkte bodem Coast3D. Bodems zijn rechtstreeks bepaald uit de WESP lodingen, zonder verdere bewerkingen. Wanneer de lodingsgegevens niet diep genoeg

reiken (i.e. tot buiten de brandingszone), is het profiel lineair verlengd naar diep water. Centraal staat de kustdwarse raai 1500 m ten noorden van het Argus station (op RSP 39.75), welke midden in het Coast3D gebied ligt.

- Type 2: Kustlangs gemiddelde bodem. Middeling heeft plaats gevonden over het 500 m brede Coast3D interessegebied, van RSP39.50 tot RSP 40.00.
- Type 3: Verlengde bodem Coast3D. In tegenstelling tot de Type 1 bodems zijn in dit geval ontbrekende bodemgegevens op een ‘nette’ manier ingevuld met gegevens van de voorgaande of volgende dag.

Deze bodems worden getoond in Figuren A1 t/m A3 in Bijlage A. Gebruik van verschillende initiële bodems biedt de mogelijkheid om de gevoeligheid van het model voor de nauwkeurigheid van de initiële gegevens te testen.

Op basis van de gevoeligheidsberekeningen zijn de volgende conclusies te trekken:

### **Afhankelijkheid bodem**

De berekeningsresultaten blijken niet sterk afhankelijk te zijn van de geselecteerde initiële bodem. De afwijkingen tussen de berekende bodem op basis van videobeelden en de gemeten bodem is voor alle initiële rekenbodems ongeveer gelijk. Dit wordt geïllustreerd in de Figuren A4 t/m A6.

### **Afhankelijkheid videobeelden**

De berekende profielen zijn in principe gebaseerd op het laatste geaccepteerde videobeeld van iedere dag. Om een indruk te krijgen van de variatie over de dag, worden in de Figuren A7 t/m A10 voor een viertal dagen (18, 22, 24 en 26/10) alle oplossingen getoond die per dag worden verkregen. Hieruit blijkt dat de variabiliteit over de dag aanzienlijk is. De werkelijk optredende variabiliteit is kleiner; het model is derhalve geomorfologisch voor de huidige parameterinstellingen te actief. Dit is een belangrijke waarneming die verderop in deze studie nog zal terugkeren.

### **Afhankelijkheid $\beta$**

De resultaten zijn sterk afhankelijk van parameter  $\beta$ , zie de Figuren A11 t/m A14. Een kleinere waarde voor  $\beta$  leidt tot een afname van de roller dissipatie boven de bank en een toename in de trog, en daarmee tot een hogere bank nabij de kust en een diepere trog tussen de eerste en tweede bank. De standaard-instelling  $\beta=0.1$  geeft vooralsnog het beste resultaat. Fig. A13 is de referentie die ook als vergelijkingsmateriaal voor de volgende figuren moet worden gehanteerd.

### **Afhankelijkheid $\gamma$**

De resultaten zijn slechts in beperkte mate afhankelijk van parameter  $\gamma$ . Dit wordt getoond in de Figuren A15 t/m A18. Voor  $\gamma=0.5$  is de afwijking (in ongunstige zin) het grootste (Fig. A15).

## Afhankelijkheid $tf$

Er bestaat een matige afhankelijkheid van de ‘tail factor’  $tf$ , zie Figuren A19 en A20 voor respectievelijk  $tf=5$  en  $tf=1$ . Voor  $tf=20$  (standaard) zie Fig. A13. Toepassing van  $tf=1$  leidt ertoe dat de buitenste bank smaller wordt en zeewaarts opschuift. Dit is meer in overeenstemming met de gemeten profielen dan voor  $tf=5$  of  $tf=20$ . Echter, de binnenste bank wordt te hoog en te spits. De globale verbetering is daarom beperkt.

## Gevoeligheid erosieparameter $M$

De modelresultaten zijn gevoelig voor een verandering van de erosieparameter  $M$ . Het model presteert beter naarmate  $M$  lager wordt gekozen (zie Figuren A21 en A22). Een verlaging van  $M$  zorgt ervoor dat de responstijd van het model afneemt. Dit is equivalent met het verlagen van het aantal iteraties  $n_{it}$ , zoals dat in een eerdere versie van SBM het geval was. Aangezien de gevoeligheidssommen gedraaid zijn met deze eerdere versie wordt in de Figuren A.21 en A.22 deze parameter  $n_{it}$  genoemd. Dit resultaat bevestigt de waarneming die reeds gedaan onder het kopje ‘Afhankelijkheid videobeelden’: de thans gebruikte parameterinstellingen leveren te grote morfologische veranderingen per videobeeld. Anders gezegd, de responstijd van het model is te klein. Dit aspect wordt nader besproken in Hoofdstuk 4.

## Conclusies verkennende fase

De verkennende fase heeft geleid tot inzicht in de gevoeligheid van het model voor variaties in de instellingen van de verschillende modelparameters. Desalniettemin worden aanzienlijke afwijkingen geconstateerd tussen de gemeten en de berekende bodems. Een gedetailleerde analyse naar de oorsprong van deze afwijkingen leert dat ze in overgrote meerderheid terug te voeren zijn op situaties met onvoldoende kwaliteit videobeelden en/of met ruwe golfcondities. In de nu volgende, gedetailleerde fase is het model op deze punten aangepast.

## 3.2 Resultaten gedetailleerde fase

De berekeningen van de verkennende fase hebben de gevoeligheid van het model voor de brekerparameter  $\gamma$ , de rollerparameter  $\beta$ , de tail factor  $tf$  van BIM en de erosieparameter  $M$  in kaart gebracht. De aldus gevonden optimale instellingen ( $\gamma = 0$ ,  $\beta = 0.10$ ,  $tf = 1$  en  $M = 1$ ) fungeren als uitgangspunt voor deze gedetailleerde fase. Ter referentie wordt het resultaat van een berekening met het model uit de verkennende fase (en bij gebruik van de standaardinstellingen) getoond in Figuur B1 (Zie bijlage B). De getoonde gemeten bodem is de Type 3 bodem van 4 november 1998.

Op basis van voortschrijdend inzicht uit de verkennende fase is het model op een drietal punten aangepast:

1. De criteria ter acceptatie van videobeelden zijn aangescherpt. De nieuwe criteria zijn  $df_{\max} = 7$  (was 15) en  $sd_{\min} = 3$  (was 5). De instellingen voor  $bg_{\min} (= 120)$ ,  $h_{\min} (= 15)$  en

$w_{\max}$  (= 100) zijn ongewijzigd. Alle genoemde drempelwaarden zijn van toepassing op beeld intensiteiten (die variëren tussen 0 en 255), en zijn derhalve eenheidsloos.

2. Ten opzichte van de verkennende fase is een golfhoogte criterium toegevoegd: uitsluitend situaties waarvoor  $H_{\text{rms}} < 1.8$  m worden in beschouwing genomen. Nog hogere golfcondities blijken verantwoordelijk te zijn voor de berekening van aanzienlijke aanzandingen zeewaarts van de buitenste brekerbank.
3. Met het oog op model stabiliteit is de tijdstap waarmee SBM rekt gehalveerd.

Het resultaat van de referentieberekening voor de gedetailleerde fase wordt getoond in Figuur B1. Duidelijk is dat deze aanpassingen leiden tot een aanzienlijk betere overeenkomst tussen de gemeten en berekende bodems. Vergelijk hiertoe de Figuren B1 en B2. Met name zijn de prestaties van het model verbeterd op dieper water, waar de ontwikkeling van de flank van de buitenste bank goed wordt gereproduceerd.

Op basis van deze nieuwe referentie is wederom een aantal gevoeligheidsberekeningen uitgevoerd, namelijk:

1. aangepaste  $\beta$  ( $\beta = 0.08$ , Fig. B3).
2. aangepaste  $\gamma = 0.5, 0.65$  en  $0.8$ . (Figs. B4, B5 en B6)
3. variabele  $\gamma$  volgens Ruessink et al. (submitted), Fig. B7
4. aangepaste tail factor  $tf = 0.25$  (Fig. B8)
5. aangepast erosieparameter ( $M = 2$ ) (Fig. B9)

De resultaten worden in de Figuren B3 t/m B9 in Bijlage B getoond. Hieronder worden de resultaten per testgeval besproken.

### **Afhankelijkheid $\beta$**

Voor een waarde van  $\beta=0.08$  veranderen de resultaten nauwelijks in vergelijking tot de standaard-instelling  $\beta=0.1$  (Figuur B3).

### **Afhankelijkheid $\gamma$**

De resultaten zijn slechts weinig meer afhankelijk van parameter  $\gamma$ . Dit wordt getoond in de Figuren B4 t/m B6. Voor  $\gamma=0.5$  is de afwijking tussen de gemeten en de berekende bodem het grootste. Bij  $\gamma=0.5$  is de overeenkomst in principe het grootste, maar nabij de waterlijn begint het model instabiel gedrag te vertonen (Figuur B6). Indien een variabele waarde voor  $\beta$  volgens Ruessink wordt toegepast, verbeteren de resultaten enigszins (Figuur B7), al is het effect beperkt.

### **Afhankelijkheid $tf$**

Toepassing van een 'tail factor'  $tf = 0.25$  leidt tot duidelijk slechtere modelprestaties (Figuur B8). De buitenste bank beweegt teveel naar binnen en vertoont een onregelmatige vorm, terwijl de binnenste bank zich veel te sterk ontwikkelt.

## Afhankelijkheid erosieparameter M

De resultaten zijn gevoelig voor een verandering van de erosieparameter M (Figuur B9). Als gezegd staat het vergroten van M equivalent aan het verhogen van het aantal iteraties  $n_{it}$  in de eerdere versie van SBM. Vergroting van M met een factor 2 leidt tot slechtere modelprestaties. De flank aan de zeezijde van de buitenste bank ontwikkelt zich te snel, terwijl de trog tussen de eerste en tweede bank te diep wordt.

## Conclusies gedetailleerde fase

De aanscherping van de acceptatiecriteria voor videobeelden en de toevoeging van een golfhoogtecriterium hebben voor de Coast3D dataset geleid tot een wezenlijke verbetering van de resultaten. De momenteel gevonden optimale parameterinstellingen ( $df_{\max} = 7$ ,  $sd_{\min} = 3$ ,  $M = 1.0$ ,  $n_{it} = 10$ ,  $\gamma$  volgens Ruessink *et al.* (subm),  $\beta = 0.10$  en  $tf = 1$ ) zullen worden gebruikt als uitgangspunt voor de modeltoepassing als beschreven in Hoofdstuk 4.

### 3.3 Toepassing: Bankontwikkeling vanaf arbitrair beginprofiel

Uit de resultaten van de verkennende en gedetailleerde fase valt op te maken dat het diepteschattingsmodel moeite heeft om de relatief kleine morfologische veranderingen tijdens de Coast3D meetcampagne weer te geven. Het is derhalve interessant om na te gaan in hoeverre het model in staat is een bank-trog profiel te laten ontstaan vanaf een arbitrair begin profiel, aangezien dit een substantiële aanpassing van de morfologie vergt.

Deze vraag is onderzocht op basis van de videobeelden van Egmond station Coast3D uit de periode van 16 tot 24 oktober 1998. Gedurende deze periode waren de morfologische veranderingen nihil. De resultaten zijn getoond in Figuur B.10, waarbij gestart is vanaf een langjarig gemiddeld Jarkus profiel (bovenste plot) en een rechte bodem (onderste plot). Rood is de gemeten bodem op 24 oktober, blauw de berekende bodem en zwart gestreept de (arbitraire) beginbodem op 16 oktober. Duidelijk is te zien dat het model voor beide beginbodems redelijk in staat is de positie en de hoogte van de zandbanken te reproduceren. Bij gebrek aan dissipatie informatie zijn de bodemaanpassingen in de troggen marginaal, wat resulteert in aanzienlijke afwijkingen. De resultaten zijn te verbeteren door het profiel aan de kustwaartse kant op te hangen aan de lokatie en hoogteligging van de waterlijn, eveneens waar te nemen uit Argus, en door als beginbodem een langjarig Jarkus minimumprofiel te kiezen, waardoor de beginschatting van de bodemhoogte in de troggen verbetert. Deze aanpassingen liggen echter buiten de scope van deze studie.

### 3.4 Conclusies model validatie Coast3D data

De gefaseerde validatie van het diepteschattingsmodel op basis van Coast3D data heeft inzicht verschaft in de optimale instellingen voor de verschillende modelparameters. De verkregen resultaten zijn bemoedigend. In tegenstelling tot alle eerder ontwikkelde modelconcepten om de bodemtopografie van de brandingszone te karteren op basis van videobeelden, weet het huidige model over een periode van 3 weken het bank-trog profiel in stand te houden, inclusief realistische waarden voor de bankhoogte en de trogdiepte.

De huidige resultaten (Fig. B7) tonen een kustwaartse off-set van de lokatie van de binnenste bank, in combinatie met verticale afwijkingen van 0.5 m (0.8 m) rond de top van de buitenste (resp. binnenste) bank. Het model blijkt goed in staat de verplaatsing van de zeewaartse flank van beide brekerbanken te reproduceren. Mogelijk dat de waargenomen afwijkingen verder verlaagd kunnen worden door:

- een nadere ijking van het model, op basis van een vergelijking van de initieel berekende bankligging met het bekende, initiële bodemprofiel;
- een beperking van de maximale bodemverandering per dag op basis van het maximaal te verwachten transport gegeven de bodemligging en het golfklimaat voor die dag;
- de acceptatie-criteria voor videobeelden verder te optimaliseren.

Gezien de marginale morfologische veranderingen gedurende de gebruikte testperiode in relatie tot de uiteindelijke doelstelling van het model (het monitoren van bodemveranderingen op de tijdschaal van seizoenen tot jaren), is het echter de vraag of deze acties leiden tot het gewenste resultaat. Eerder is het relevant om het gedrag van het model te onderzoeken bij toepassing op een langere tijdserie van videobeelden, waarin substantiële bankverplaatsingen optreden. Deze laatste activiteit staat centraal in het volgende hoofdstuk.



## 4 Toepassing monitoring Egmond suppleties

Om de bruikbaarheid van het model voor toepassing op de tijdschaal van seizoenen tot jaren vast te stellen, is het getest op basis van videobeelden ingewonnen door het Argus station bovenop de vuurtoren 'Jan van Speyk' te Egmond. Dit videostation is geïnstalleerd in mei 1999 met als doel het monitoren van de effectiviteit van de gecombineerde strand- en vooroeversuppletie, die omstreeks dezelfde tijd zijn aangebracht. Direct na aanleg van de vooroeversuppletie traden aanzienlijke morfologische veranderingen op (b.v. Nipius, 2002). Zo verplaatsten de zandbanken in de luwte van de vooroeversuppletie zich binnen een tijdsbestek van een jaar over een afstand van meer dan 100 m in kustwaartse richting. In dit hoofdstuk wordt onderzocht in hoeverre SBM in staat is deze veranderingen te reproduceren.

### 4.1 Testruns Jan van Speyk Sept. 1999 - Mei 2000

Gedurende de periode 1999 - 2000 zijn goede kwaliteit (d.w.z. volledige) bodemlodingen van de gesuppleerde kust voor de vuurtoren 'Jan van Speyk' beschikbaar in september 1999, mei 2000 en september 2000. Derhalve is gekozen voor de volgende opzet van de testruns:

- De testruns worden gedraaid voor de periode september 1999 - mei 2000
- De bodemdata zijn overgenomen uit het werk van Van Duin en Wiersma (2002)
- De diepwater golfinformatie is gemeten in IJmuiden. Getijgegevens zijn verkregen door interpolatie tussen de meetstations IJmuiden en Petten
- De testraai is de raai  $y = -130$ , gelegen direct voor de vuurtoren. De raai loopt over het centrale deel van de vooroeversuppletie en valt volledig binnen het zichtveld van camera c3 van het videostation Jan van Speyk

Fig. C1 (Appendix C) toont het resultaat van de eerste testrun. Hierbij is gebruik gemaakt van de standaard parameterinstellingen als verkregen uit de validatiefase, inclusief massabehoud van de bodem. Het criterium voor wat betreft de maximaal toegestane golfhoogte is bij de Jan van Speyk toepassingen niet aangebracht. De figuur toont de uitgangssituatie bij het begin van de berekening (bovenste plot, september 1999), het eindresultaat in mei 2000 (onderste plot) en een drietal willekeurig gekozen tussenresultaten. Iedere plot toont de actuele, door SBM berekende bodem (blauwe lijn), de gemeten beginbodem van september 1999 (onderbroken zwarte lijn) en de gemeten eindbodem van mei 2000 (rode lijn). In de bovenste plot vallen de gemeten beginbodem en de SBM bodem samen. Tevens wordt de actuele getijwaterstand gegeven (cyaan lijn). De getoonde resultaten zijn verkregen op basis van 365 verschillende Argus beelden, die door het model zelf automatisch geselecteerd worden. Bodemveranderingen boven de NAP = +1 m contour worden door het huidige model niet in beschouwing genomen.

De resultaten tonen in 5 stappen de berekende bodemontwikkeling in de periode september 1999 - mei 2000. Duidelijk is te zien hoe het zandbanken systeem zich —conform de werkelijkheid— kustwaarts verplaatst over een afstand van meer dan 100 m. Hoewel de overeenkomst op 10 mei 2000 tussen de berekende en gemeten bodem ter plaatse van de zandbanken goed is, is er toch sprake van een aantal ongewenste effecten:

- Het uitdiepen van de troggen. De diepte van de binnenste trog bedraagt op enig moment 7 m, niet bepaald een realistische waarde. Ook de buitenste trog vertoont teveel erosie.
- De vorming van een klif rond de waterlijn. Hoewel het model toont dat het in staat is hiervoor te corrigeren (op 10 mei 2000 de klif is immers verdwenen) is de vorming van een dergelijk klif gedurende de berekening (b.v. op 21 januari) niet realistisch.
- Een lichte aanzanding van de vooroeversuppletie, op meer dan 700 m uit de kust. Volgens de metingen is er juist sprake van een geringe kustwaartse verplaatsing van de vooroeversuppletie.

Een gedetailleerde analyse naar de oorsprong van genoemde ongewenste effecten heeft geleid tot een drietal aanpassingen van het model:

- Massabehoud op de bodem. Uit de metingen blijkt dat het testprofiel aanzandend is: Over de testperiode van 9 maanden is er sprake van een netto aanzanding van  $220 \text{ m}^3$  tussen de NAP = -8 en NAP = 0 m dieptecontouren. Het ligt dus voor de hand om de eis van massabehoud te laten varen. In de definitieve run is gerekend met een sedimentatieparameter  $w = 2$ .
- Responstijd van het model. Een gedetailleerde analyse van de modelresultaten per videobeeld toont aan dat het onrealistisch uitdiepen van de troggen niet veroorzaakt wordt door één enkel beeld, doch het gevolg is van een accumulatie van kleine bodemveranderingen over een tijdserie van beelden. Deze kleine bodemveranderingen worden veroorzaakt door kleine verschillen tussen de gemeten en berekende golfdissipatie in de troggen. Dit probleem kan worden ondervangen door de responstijd van het model te vergroten, door verlaging van de erosieparameter  $M$  en de sedimentatieparameter  $w$ . Het bepalen van de optimale responstijd is een lastig probleem. Een kleine responstijd zorgt ervoor dat de bodem zich snel aanpast aan het gemeten dissipatieprofiel. De gemeten dissipatie-informatie is echter niet perfect. Zo kan de positie van de gemeten dissipatiepieken afwijken van de berekende pieklokatie (zie Van Enckevort en Ruessink, 2001) en kan het gemeten dissipatieprofiel onnauwkeurigheden herbergen, die met name in de gebieden van lage informatie dichtheid (de troggen) groot kunnen zijn ten opzichte van de absolute waarde van de dissipatie. Rekenen met een (te) kleine responstijd betekent dat deze onnauwkeurigheden zich doorvertalen in de bodemligging. Anderszijds, rekenen met een (te) grote responstijd betekent dat de modelbodem zich te traag aanpast aan de veranderende dissipatiepatronen, waardoor de morfologische veranderingen onrealistisch klein zijn. Hierin moet een compromis gevonden worden, gestuurd door de keuze van juiste waarden voor de erosie- en sedimentatie parameter. Deze dienen zo te worden gekozen, dat het model voldoende tijd heeft om de bodem aan te passen in gebieden met een hoge informatiedichtheid (oftewel, veel dissipatie), maar niet genoeg om over te gaan tot het onrealistisch uitdiepen van de troggen. Het automatisch bepalen van optimale instellingen voor de erosie- en sedimentatieparameter is een punt van vervolgonderzoek. Zo zouden ze gerelateerd kunnen worden aan bijvoorbeeld de inkomende golfenergie, welke een maat is voor de transport capaciteit en daarmee de te verwachten bodemveranderingen, of aan een maat voor de onnauwkeurigheid van een gemeten dissipatieprofiel. Vooralsnog echter worden ze handmatig opgegeven, en is op heuristische wijze vastgesteld dat de erosie- en

sedimentatieparameter beide met een factor 2 verlaagd dienen te worden voor verbeterde modelresultaten.

- Dieptescaling van de bodemveranderingen (de macht 'p', vgl. Paragraaf 2.2). Het gebied rond de waterlijn is in potentie een bron van model-onnauwkeurigheden. Hiervoor zijn 2 redenen aan te geven. Ten eerste schaalde de berekende rollerdissipatie met de rollerenergie  $E_r$  gedeeld door de golfvoortplantingsnelheid  $c$ . Deze laatste gaat naar nul op zeer ondiep water, waardoor  $E_r/c$  in principe oneindig groot wordt. Aangezien video-intensiteiten dit nooit zullen doen, kan hierdoor een afwijking optreden. Ten tweede hebben eventuele afwijkingen op dieper water een direct effect op de dissipatie rond de waterlijn. Indien de berekende bodem in de brandingszone te diep ligt, zorgt dit voor een overschot aan dissipatie op de waterlijn en vice versa. Het is derhalve wenselijk dat de responstijd van het model in de brandingszone relatief klein is. Op ondiep water moet de responstijd juist zeer sterk toenemen, om te voorkomen dat de gesignaleerde afwijkingen tussen het gemeten en berekende dissipatieprofiel aanleiding geven tot onrealistische bodemveranderingen. Eén en ander is gerealiseerd door een waarde 2 toe te kennen aan de macht 'p' in de diepteschalingsfunctie  $F_s$ .

De resultaten verkregen met behulp van het aangepaste model zijn getoond in Fig. C2 (Appendix C). Er is sprake van een aanzienlijke verbetering van de resultaten. Het model reproduceert het kustwaarts migreren van de zandbanken na aanleg van de vooroever-suppletie. De diepe trog tussen de eerste en tweede zandbank beweegt in eerste instantie mee naar de kust toe (periode september – december 1999), om vervolgens opgevuld te worden in de periode januari – mei 2000. Bodemafwijkingen rond de zandbanken zijn gering: minder dan 10 cm op de zeewaartse flank van beide banken en zo'n 25 tot 40 cm rond de top van de banken. De grootste afwijkingen worden gevonden direct kustwaarts van de top van de bank, waar het model te vroeg overgaat tot de vorming van een trog. Maximale afwijkingen worden gevonden op dieper water, waar het model een afvlakking van de vooroever-suppletie laat zien. In werkelijkheid beweegt de suppletie zich juist in kustwaartse richting en is er sprake van een sterkere uitdieping van de trog aan de zeewaartse kant van de buitenste brekerbank. De combinatie van genoemde aanpassingen blijkt tevens een positieve uitwerking te hebben op de klifvorming rond de waterlijn.

Volledigheidshalve is het aangepaste model ook nog toegepast op de Coast3D dataset, die gebruikt was in de validatiefase. Het resultaat hiervan is getoond in Fig. C3 en dient vergeleken te worden met Fig. B7. Hoewel de verschillen met de validatieruns niet groot zijn, geeft het aangepaste model toch een lichte verbetering van de resultaten te zien: zowel de overschatting van de binnenste bank als de onderschatting van de buitenste bank nemen af, evenals als het te ver uitdiepen van de trog. De zeewaartse migratie van de zeewaartse flanken van beide banken worden echter iets minder goed gereproduceerd.

## 4.2 Toepassing Jan van Speyk Sept. 1999 - Sept. 2000

Het aangepaste model als beschreven in Paragraaf 4.2 is toegepast op de tijdschaal van 1 jaar (periode september 1999 - september 2000) voor dezelfde raai  $y = -130$  direct voor de vuurtoren Jan van Speyk. Fig. C4 toont het resultaat. De getoonde eindbodem (dunne lichtblauwe lijn) is de gemeten bodem in september 2000. Analyse van de resultaten leidt tot de volgende observaties:

- Gedurende de periode september 1999 - mei 2000 zijn de resultaten van deze run identiek aan de resultaten besproken in Paragraaf 4.1.
- Na mei 2002 tonen de metingen een aanzienlijke aanzanding op zeer ondiep water (boven NAP -1 m). Hoewel het model in die zone een lichte aanzanding laat zien, is deze onvoldoende. Deze aanzanding is ook niet te zien in de modelresultaten voorafgaand aan 15 september 2000.
- Ook rond de binnenste brekerbank (rond  $x = -230$  m) tonen de metingen een aanzienlijke aanzanding (ruim 0.5 m). Deze wordt in het modelresultaat van 15 september 2002 niet gereproduceerd. In de periode voorafgaand aan 15 september reproduceert het model deze aanzanding echter wel degelijk. Met name in de periode eind augustus / begin september toont het model een buitengewoon goede overeenkomst tussen de berekende en gemeten bodem, zowel rond beide banken als in de trog daartussen. Erosie in de periode 3 - 5 september veroorzaakt de afwijkingen als te zien rond de binnenste bank. Gelet op het zeer dynamische karakter van de morfologische veranderingen in deze ondiepe zone is het zeer wel mogelijk dat het moment van peilen (voor of na 15 september?) een rol speelt bij de beoordeling van de hier verkregen verschillen..

Samenvattend kan gesteld worden dat het model op de tijdschaal van 1 jaar realistisch gedrag vertoont, en mogelijk beschouwd kan worden als een aanvulling op de jaarlijkse Jarkus-lodingen.

## 5 Conclusies en aanbevelingen

Recentelijk is door WL en de TU Delft een model ontwikkeld, dat de bodemligging in de brandingszone bepaalt op basis van tijdgemiddelde videowaarnemingen van brekende golven. In het kader van deze studie is dit model gevalideerd aan de hand van gedetailleerde velddata, verzameld tijdens de Coast3D veldexperimenten en toegepast voor het monitoren van de morfologische veranderingen gedurende een periode van 1 jaar na aanleg van een gecombineerde strand- en vooroeversuppletie te Egmond.

Het ontwikkelde model berekent bodemveranderingen tussen de zeewaartse rand van de brandingszone, gelegen op ongeveer NAP -6 m, en de hoogwaterlijn rond NAP +1 m. Een belangrijke beperking van het huidige model is dat het slechts toepasbaar is in 1D mode. Bovendien dient de kustdwarse rekenraai volledig te zijn gelegen binnen het zichtveld van één camera.

De validatiefase van deze studie heeft geleid tot inzicht in de gevoeligheid van het model voor variaties in de belangrijkste modelparameters. Met uitzondering van de erosieparameter  $M$  en de sedimentatieparameter  $w$ , die de responstijd van het model sturen, bleken alle gevonden parameterinstellingen ongewijzigd bruikbaar voor toepassing van het model op de tijdschaal van 1 jaar.

De modeltoepassing voor het monitoren van de morfologische veranderingen na aanleg van de gecombineerde strand- en vooroeversuppletie te Egmond heeft de praktische bruikbaarheid van het model aangetoond. Het model blijkt in staat de kustwaartse migratie van het banksysteem te reproduceren. Simulaties gedurende een periode van 9 maanden resulteren in bodemafwijkingen van minder dan 10 cm op de zeewaartse flank van beide brekerbanken en zo'n 25 tot 40 cm rond de top van de banken. Kustwaarts van beide zandbanken wordt de diepte van de trog overschat, doch niet met onrealistisch grote afwijkingen. Op dieper water toont het model een afvlakking van de vooroeversuppletie, daar waar deze in werkelijkheid juist een kustwaartse migratie en geringe versteiling laat zien.

De modeltoepassingen hebben laten zien dat het diepteschattingmodel gevoelig is voor de instellingen van de erosieparameter  $M$  en de sedimentatieparameter  $w$ , welke de responstijd van het model sturen. Deze dienen zo te worden gekozen, dat het model voldoende tijd heeft om de bodem aan te passen in gebieden met een hoge informatiedichtheid (oftewel, veel dissipatie), maar niet genoeg om over te gaan tot het onrealistisch uitdiepen van de troggen, op basis van onbetrouwbare dissipatiemetingen. Vooralnog zijn de optimale instellingen van  $M$  en  $w$  aan de hand van heuristisch onderzoek handmatig vastgesteld. Het verdient aanbeveling nader onderzoek te verrichten om te komen tot een objectieve vaststelling van deze parameters.

Verder is het nodig om de resultaten van het model te vertalen in voor het kustbeheer bruikbare grootheden of indicatoren. Allereerst wordt hierbij gedacht aan de bepaling van de

MKL. In combinatie met de jaarlijkse Jarkus lodingen biedt het diepteschattingsmodel de mogelijkheid de ontwikkeling van de MKL te monitoren met een hoge temporele resolutie.

Tenslotte wordt aanbevolen om het model uit te breiden voor toepassing in 2DH mode. Dit vereist 2 belangrijke aanpassingen. Allereerst dient een methode ontwikkeld te worden om de beeldintensiteiten van verschillende camera's, elk met hun eigen belichtingskarakteristieken, op elkaar aan te sluiten. Daarmee dient te zijn voorkomen dat sprongen in het kustdwarse intensiteitsprofiel optreden ter plaatse van de overgangen van 2 camera's. Bovendien dienen de modelformuleringen van het diepteschattingsmodel te worden aangepast voor toepassing in 2DH mode. De bruikbaarheid van dit concept dient zich te bewijzen door toepassing op verschillende Argus sites.

Samenvattend kan gesteld worden dat het model op een tijdschaal van 1 jaar realistisch gedrag vertoont, en mogelijk de potentie heeft om te gaan fungeren als een aanvulling op de jaarlijkse Jarkus lodingen.

## 6 Referenties

- Aarninkhof, S.G.J. and Ruessink, B.G. (2001). Video observations of wave breaking and the implication for wave decay modelling. Proc. of Coastal Dynamics Conf., Lund, Sweden.
- Aarninkhof (*to be published*). Mapping coastal morphology from video imagery. PhD. thesis Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Geosciences.
- Alexander, P.S. (2001). Quantitative analysis of nearshore morphological variability based on video imaging. M.Sc. thesis, Oregon State University, USA.
- Battjes, J.A. and Janssen, J.P.F.M. (1978). Energy loss and set-up due to breaking in random waves. *Proc. of 16th Conf. on Coastal Eng.*, ASCE, pp. 569-587
- Battjes, J.A. and Stive, M.J.F. (1985). Calibration and verification of a dissipation model for random breaking waves. *J. Geophys. Res.*, 90(C5):9159-9167.
- Duin, M.J.P. van and Wiersma, N.R. (2002). Evaluation of the Egmond shoreface nourishment. Part I: Data analysis. Delft Hydraulics report Z3054 / Z3148. MSc. thesis Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Geosciences.
- Nipius, L.J. (2002). Evaluation of nourishments at Egmond with Argus video monitoring and Delft3D-MOR. Delft Hydraulics report Z2822.51. MSc. thesis Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Geosciences.
- Ruessink, B.G., Walstra, D.J.R. and Southgate, H.N. (subm.). Calibration and verification of a parametric wave model on barred beaches. Submitted to *Jnl. of Coastal Engineering*.
- Stive, M.J.F. and De Vriend, D.J. (1994). Shear stresses and mean flow in shoaling and breaking waves. *Proc. Int. Conf. Coastal Eng.*, Kobe, ASCE, pp. 594-608
- Van Enkevort, I.M.J. and Ruessink, B.G. (2001). Effects of hydrodynamics and bathymetry on video estimates of nearshore sandbar position. *Journal of Geophysical Research* 106, pp. 16969 - 16979

## Appendix A: Figuren I<sup>e</sup> test Coast3D

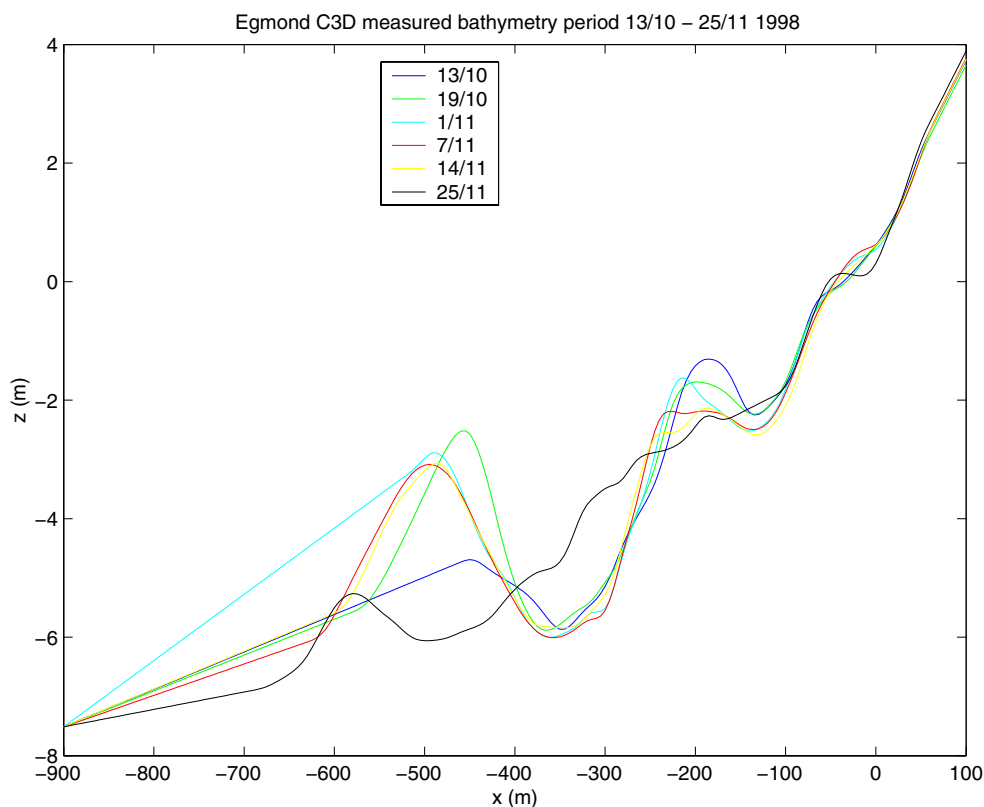


Fig. A1: Bodem Egmond Coast 3D najaar 1998  $x = -1500$

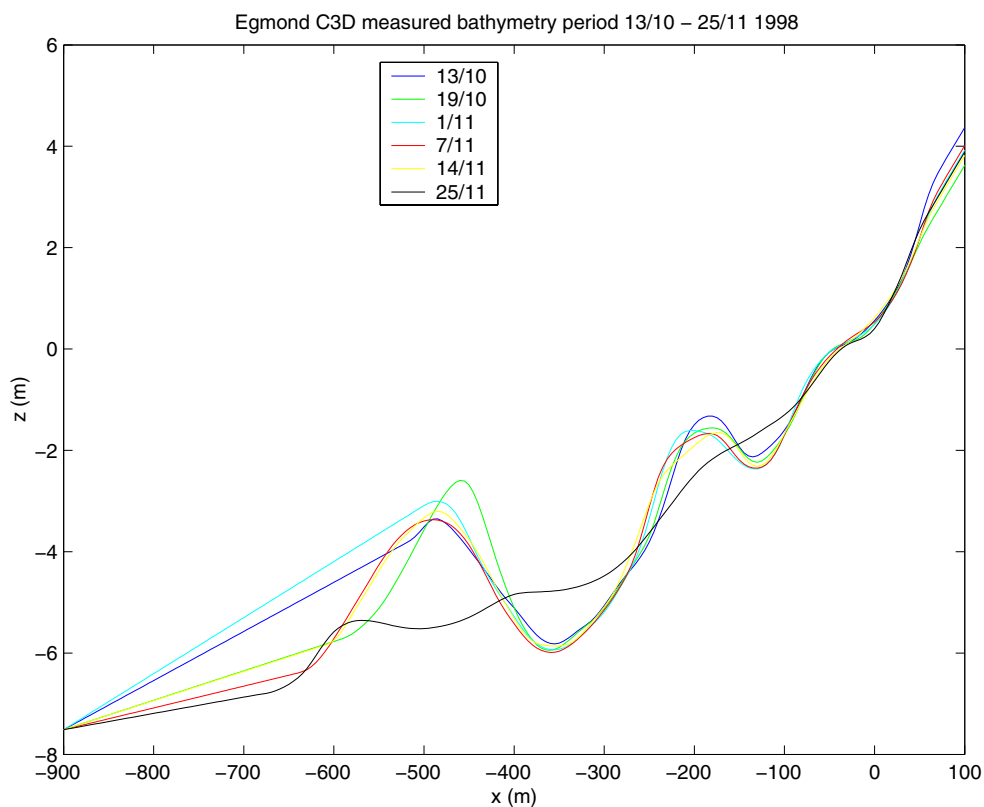


Fig. A2: Bodem Egmond Coast 3D najaar 1998 kustlangs gemiddeld



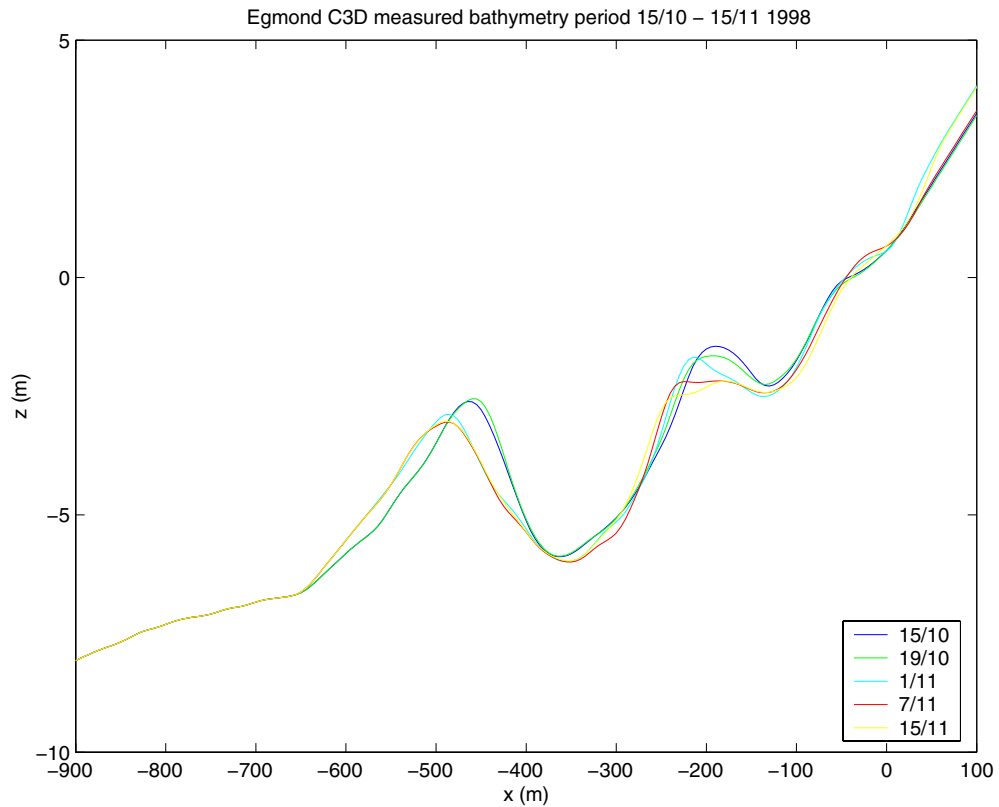


Fig. A3: Bodem Egmond Coast 3D najaar 1998  $x=-1500$ , variant Gerben Ruessink

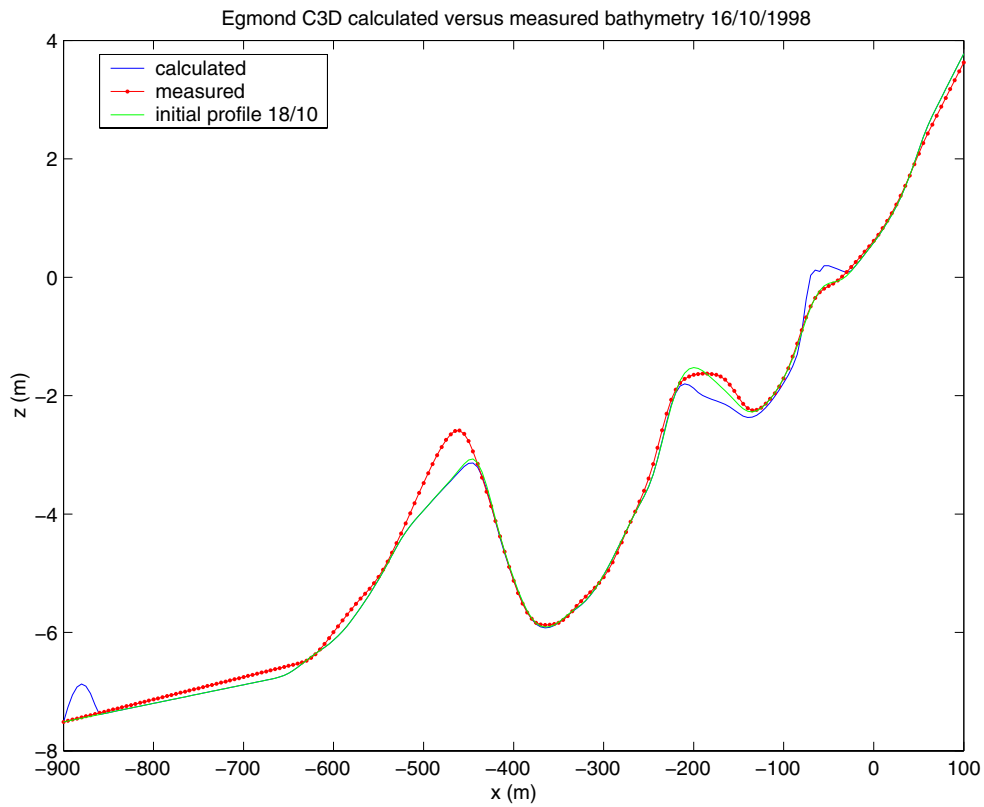


Fig. A4: Vergelijking berekende bodem en gemeten bodem  $x=-1500$  d.d. 4/11/98 (ref. = 16/10/2002)

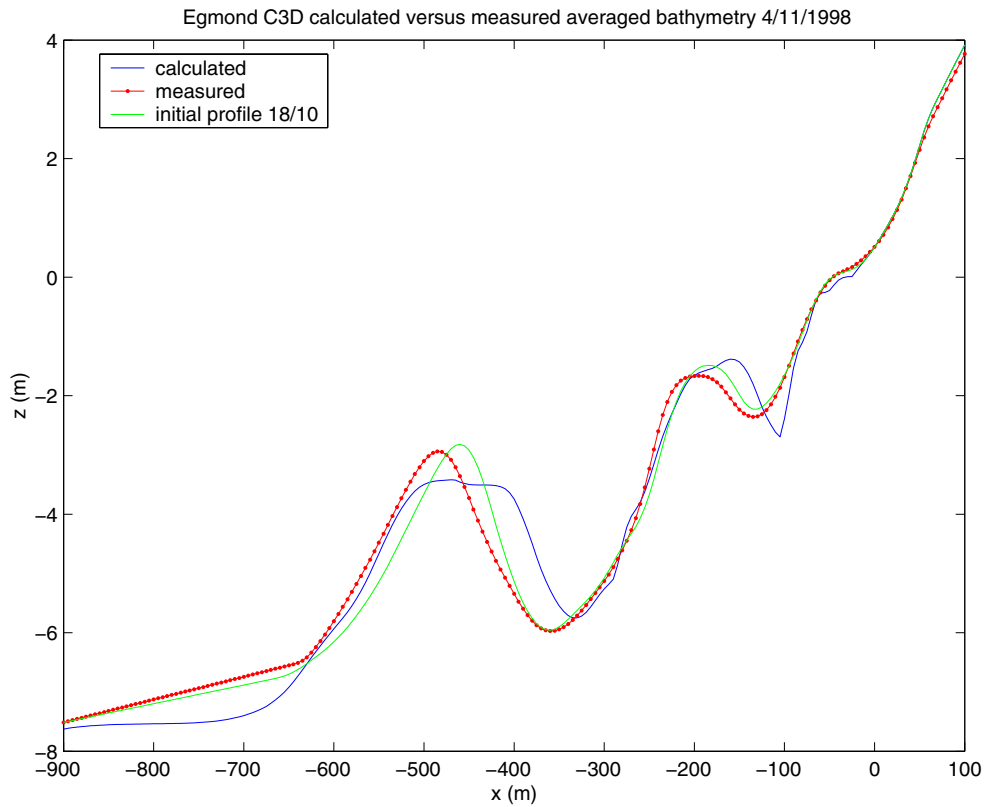


Fig. A5: Vergelijking berekende bodem en gemeten kustlangs gemiddelde bodem d.d. 4/11/98 (ref. = 16/10/2002)

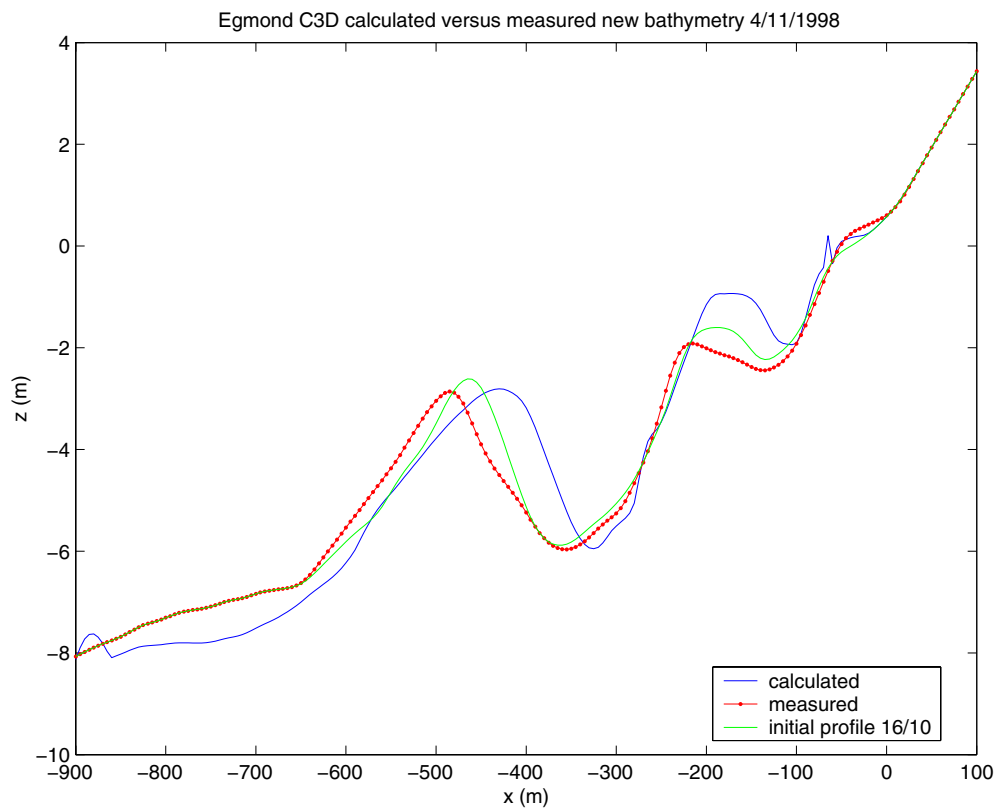


Fig. A6: Vergelijking berekende bodem en gemeten bodem  $x=-1500$  d.d. 4/11/98, variant Gerben Ruessink (ref. = 18/10/2002)

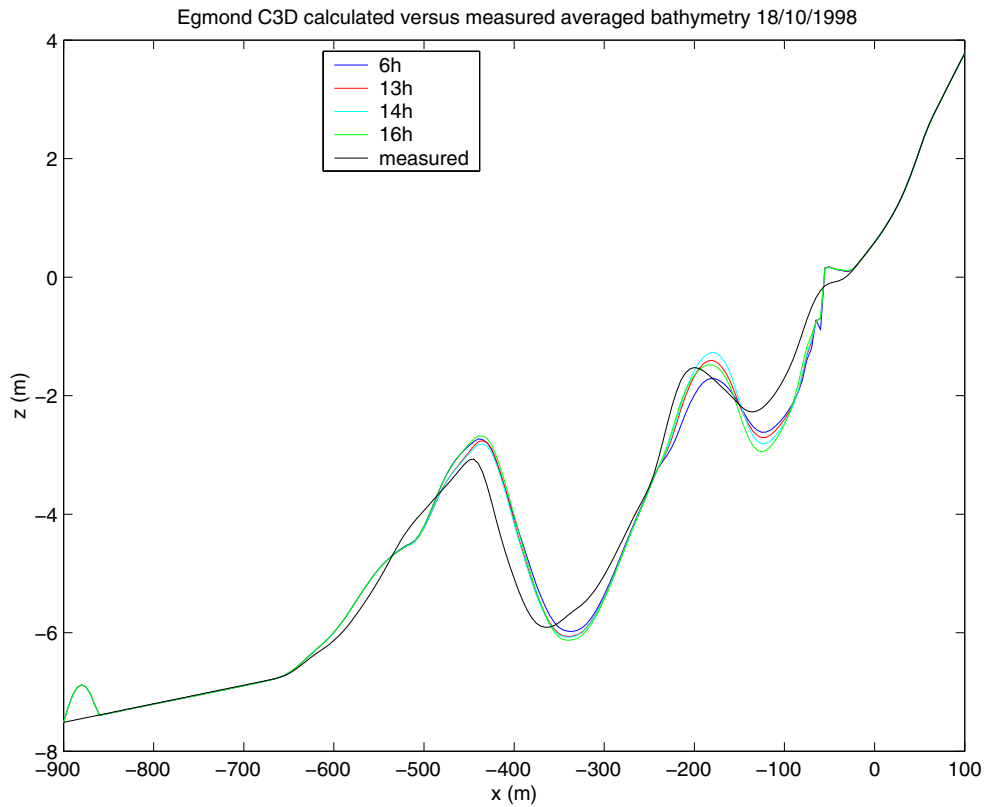


Fig. A7: Alle berekende bodems voor 18/10/98

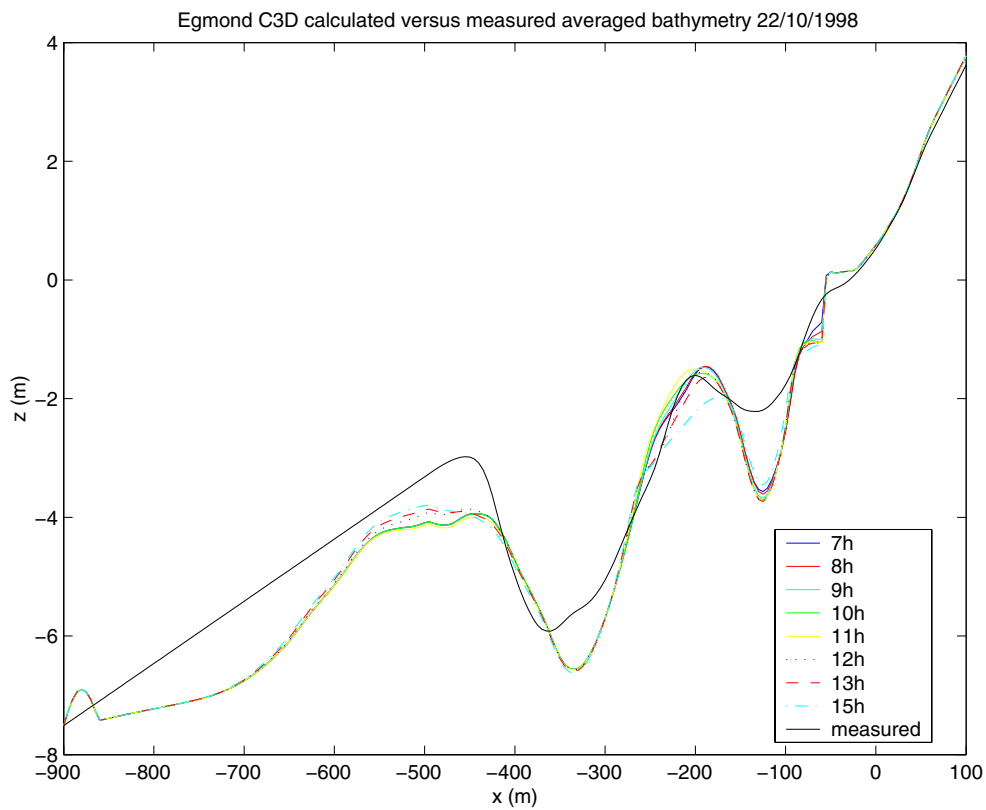


Fig. A8: Alle berekende bodems voor 22/10/98

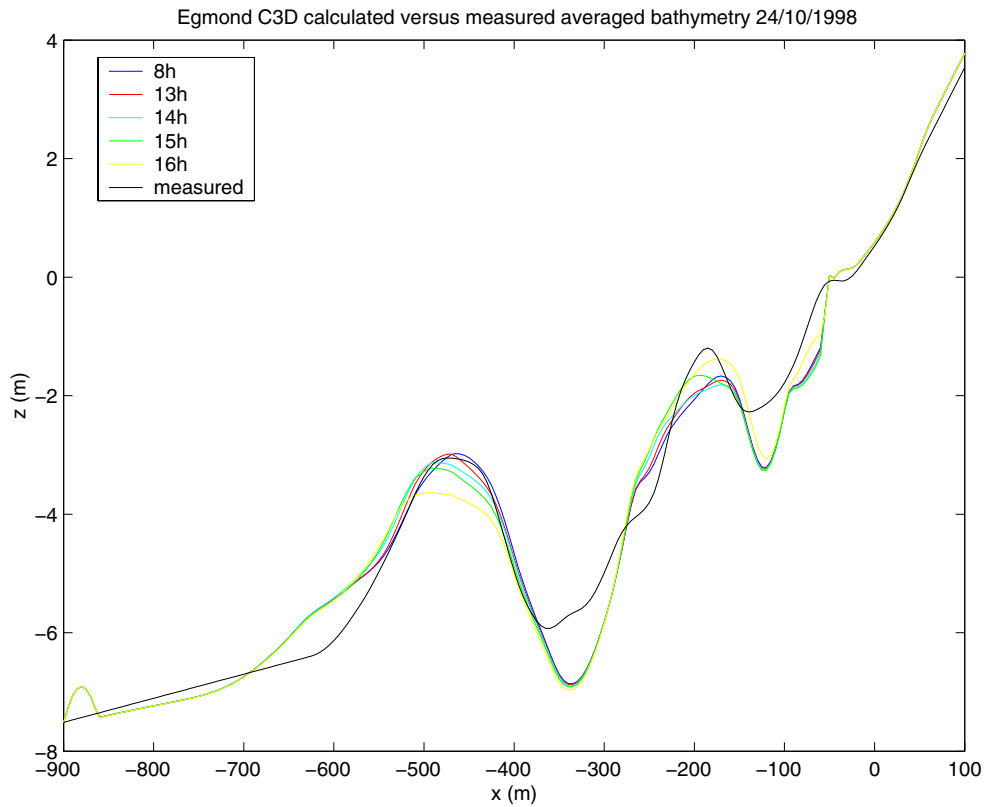


Fig. A9: Alle berekende bodems voor 24/10/98

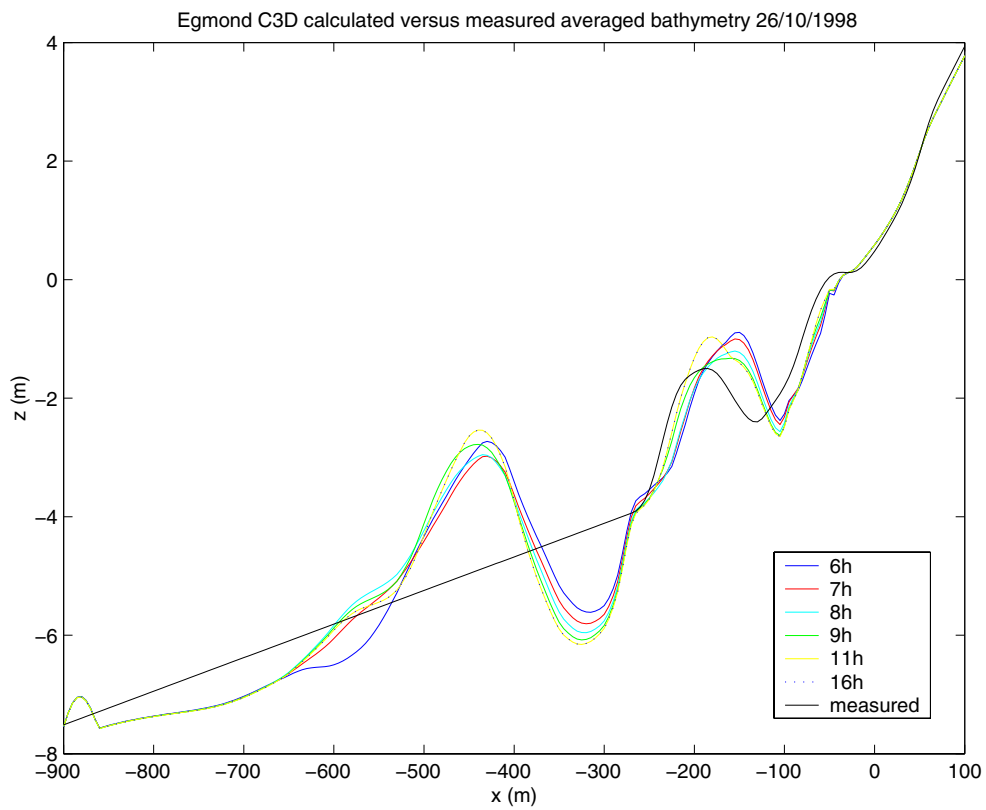


Fig. A10: Alle berekende bodems voor 26/10/98

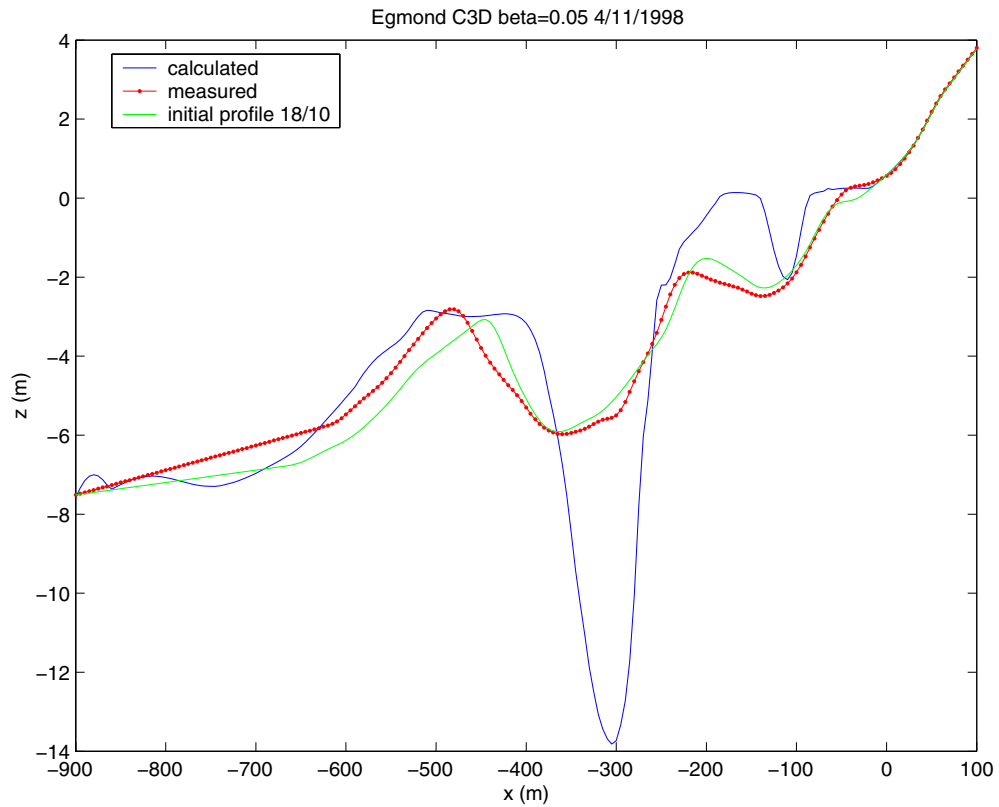


Fig A11: Vergelijking berekende en gemeten bodem 4/11/98,  $\beta = 0.05$

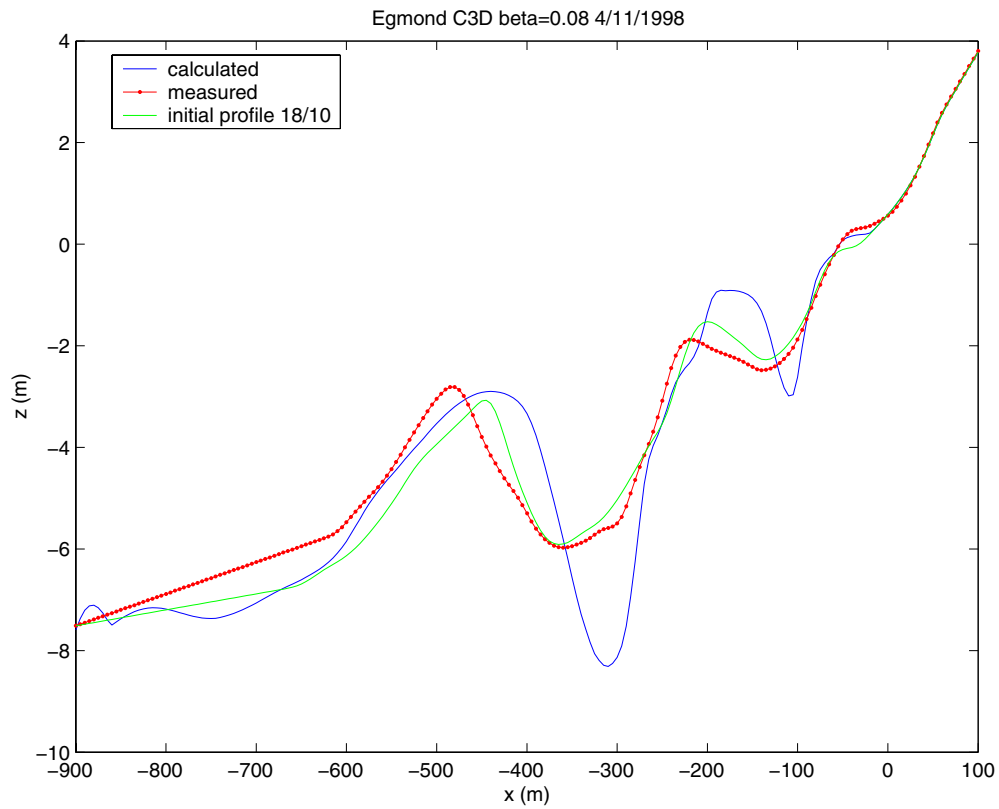


Fig A12: Vergelijking berekende en gemeten bodem 4/11/98,  $\beta = 0.08$

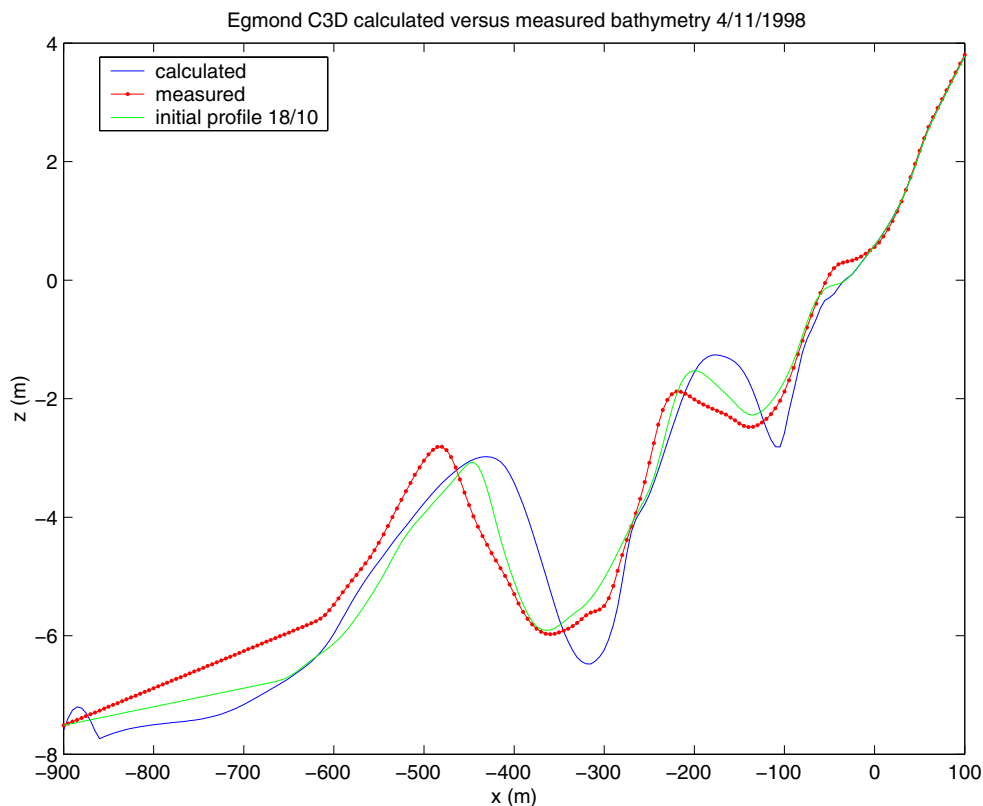


Fig A13: Vergelijking berekende en gemeten bodem 4/11/98,  $\beta = 0.10$

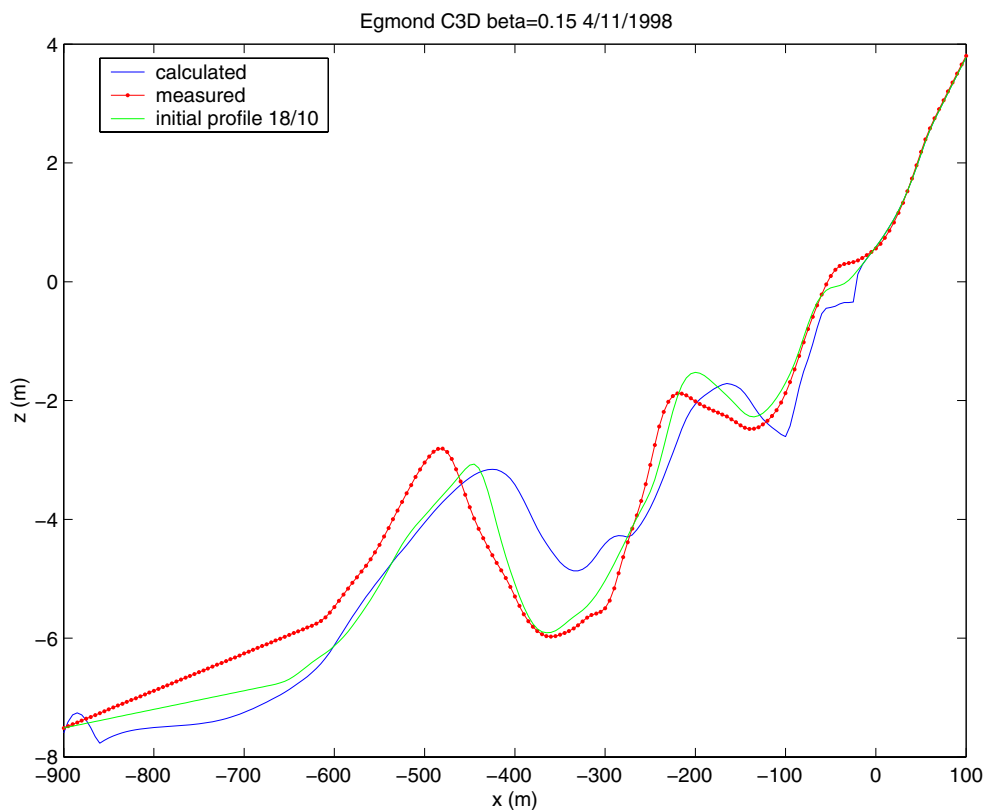


Fig A14: Vergelijking berekende en gemeten bodem 4/11/98,  $\beta = 0.15$

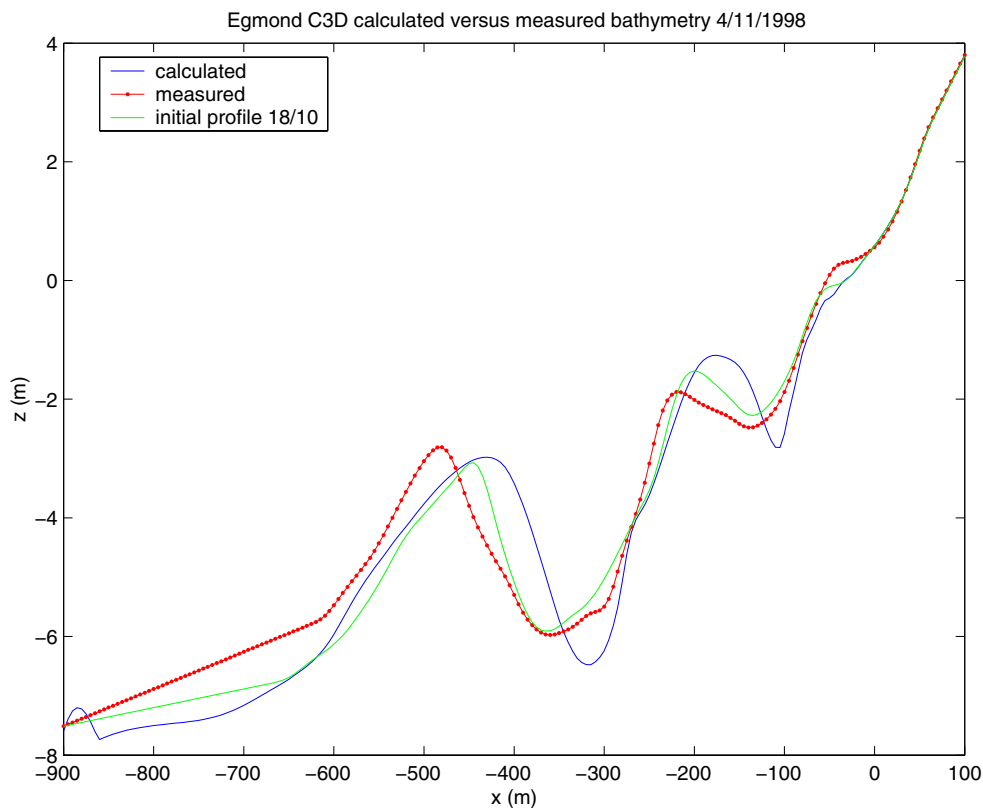


Fig. A15: Vergelijking berekende en gemeten bodem 4/11/98,  $\gamma = 0$  (standaard)

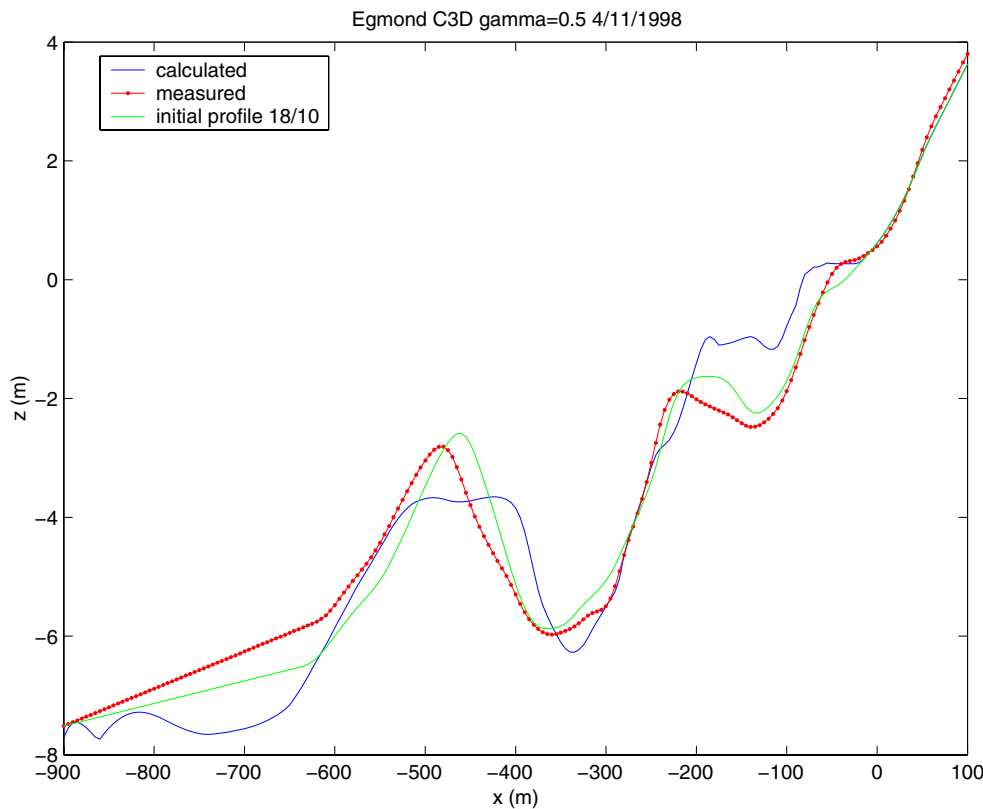


Fig. A16: Vergelijking berekende en gemeten bodem 4/11/98,  $\gamma = 0.5$

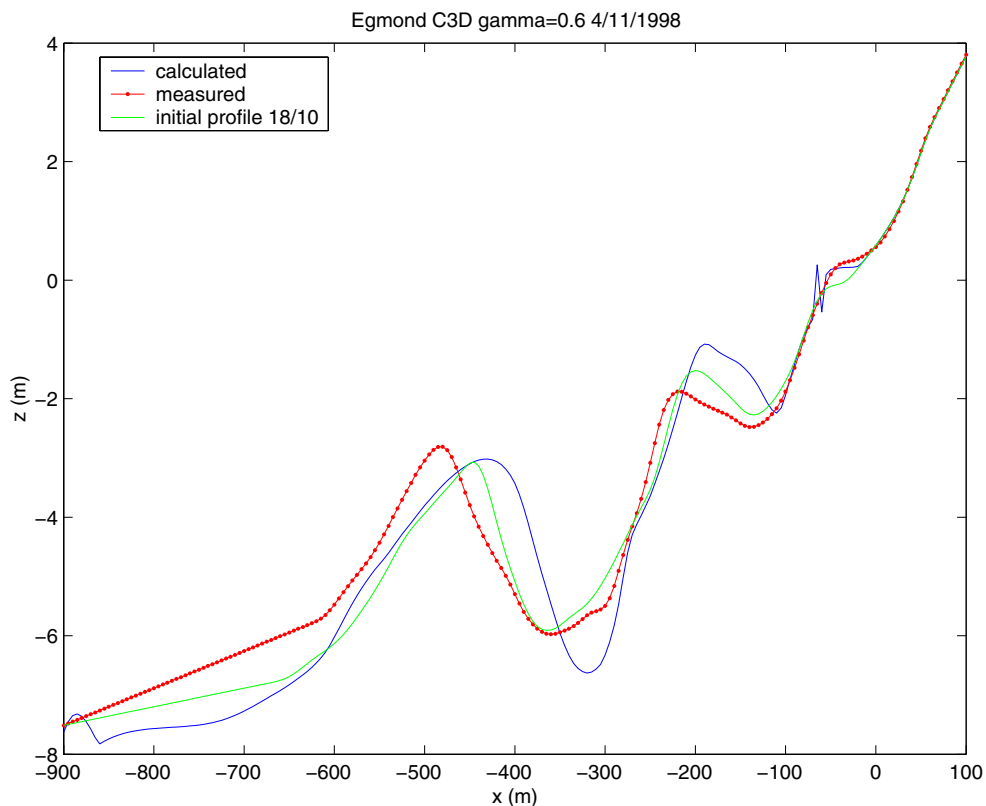


Fig. A17: Vergelijking berekende en gemeten bodem 4/11/98,  $\gamma = 0.6$

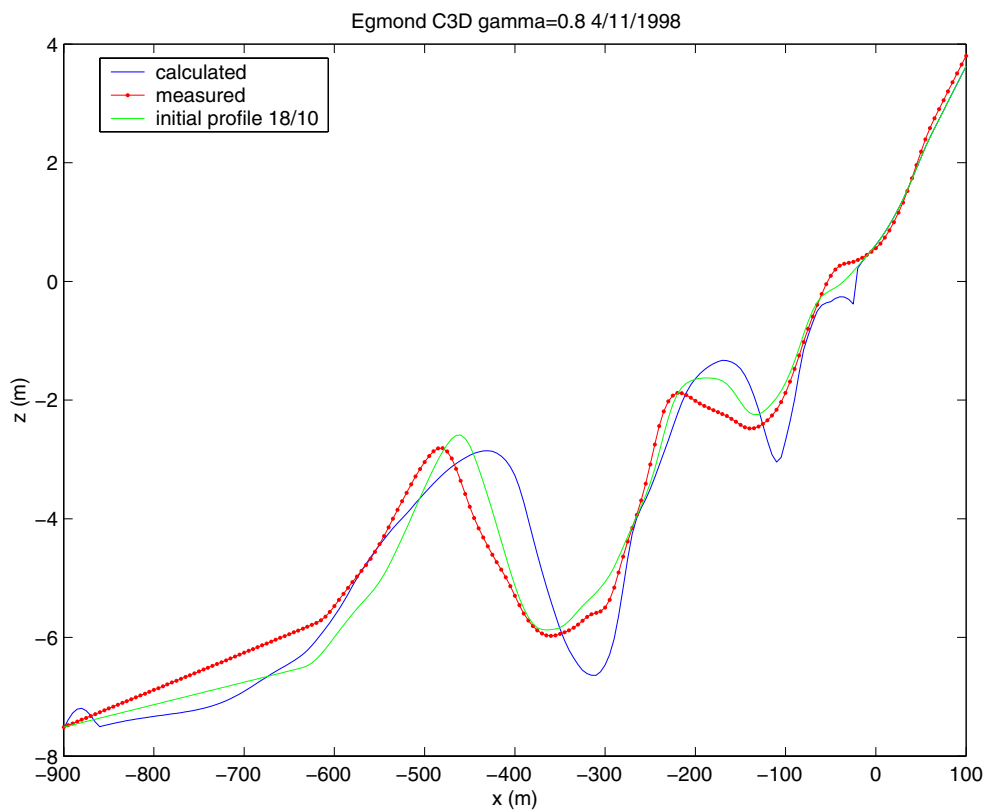


Fig. A18: Vergelijking berekende en gemeten bodem 4/11/98,  $\gamma = 0.8$



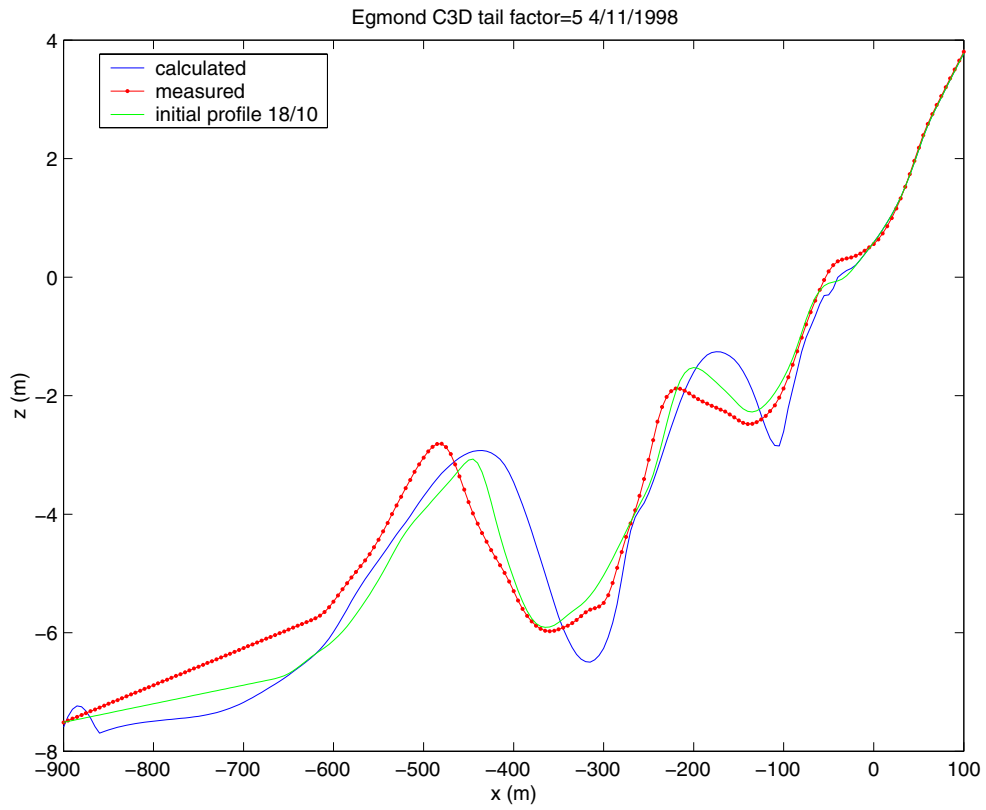


Fig. A19: Vergelijking berekende en gemeten bodem 4/11/98,  $tf=5$

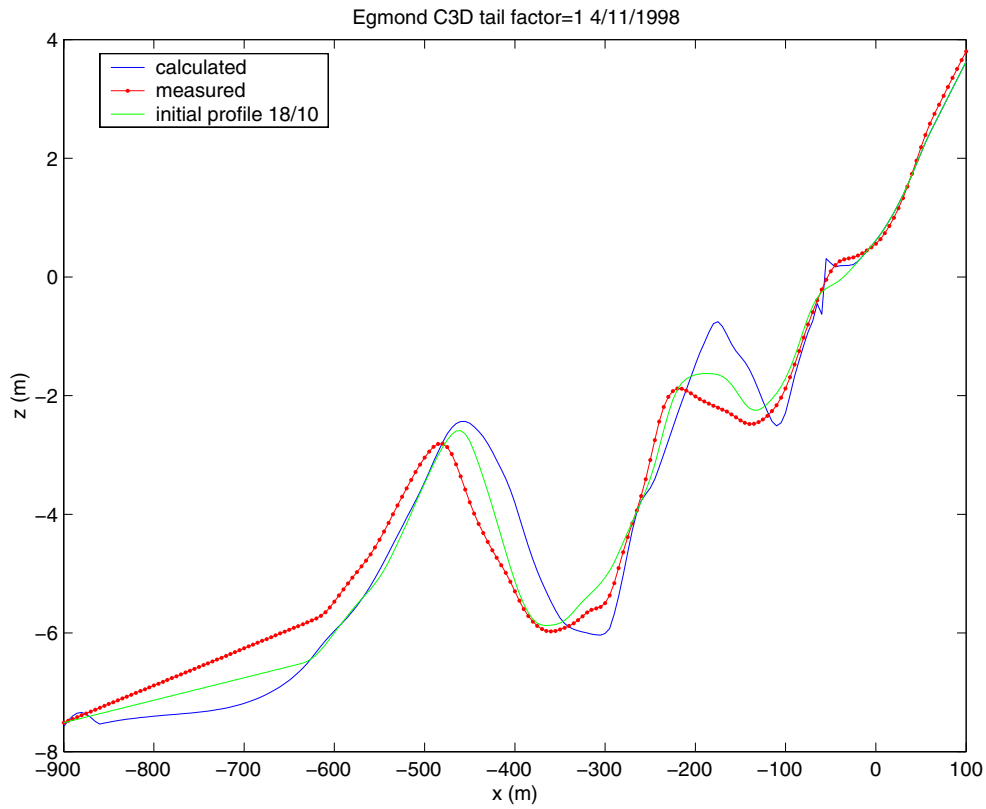


Fig. A20: Vergelijking berekende en gemeten bodem 4/11/98,  $tf=1$

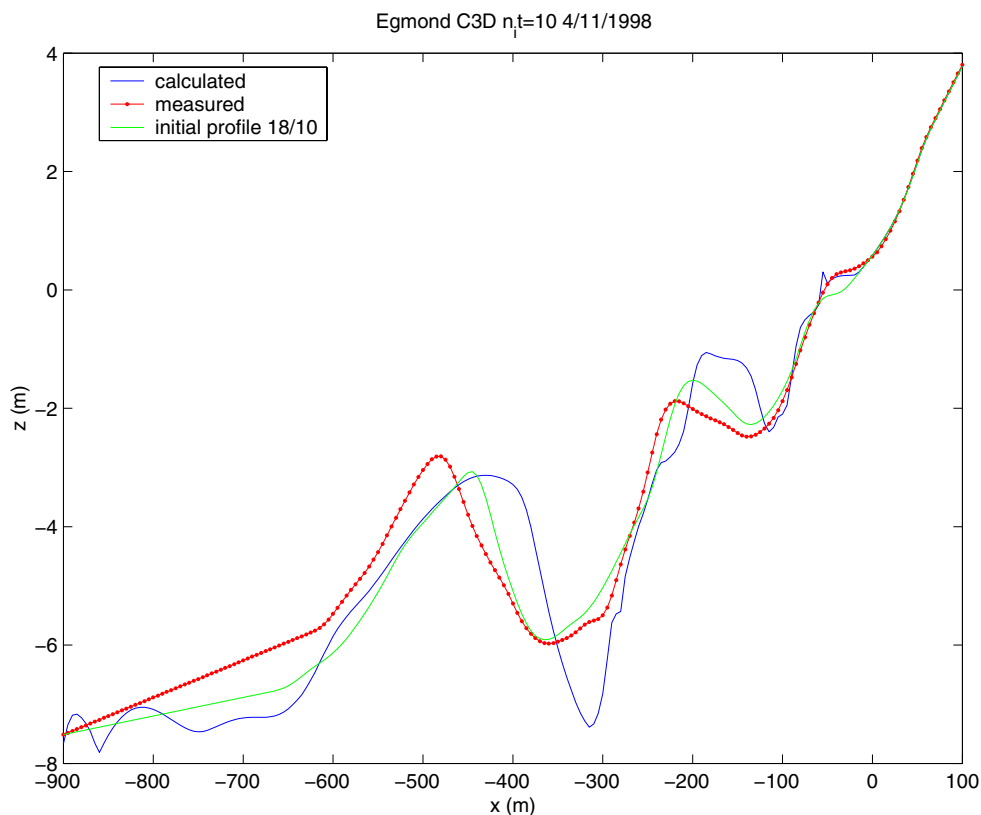


Fig A21: Vergelijking berekende en gemeten bodem 4/11/98,  $n_{it} = 10$

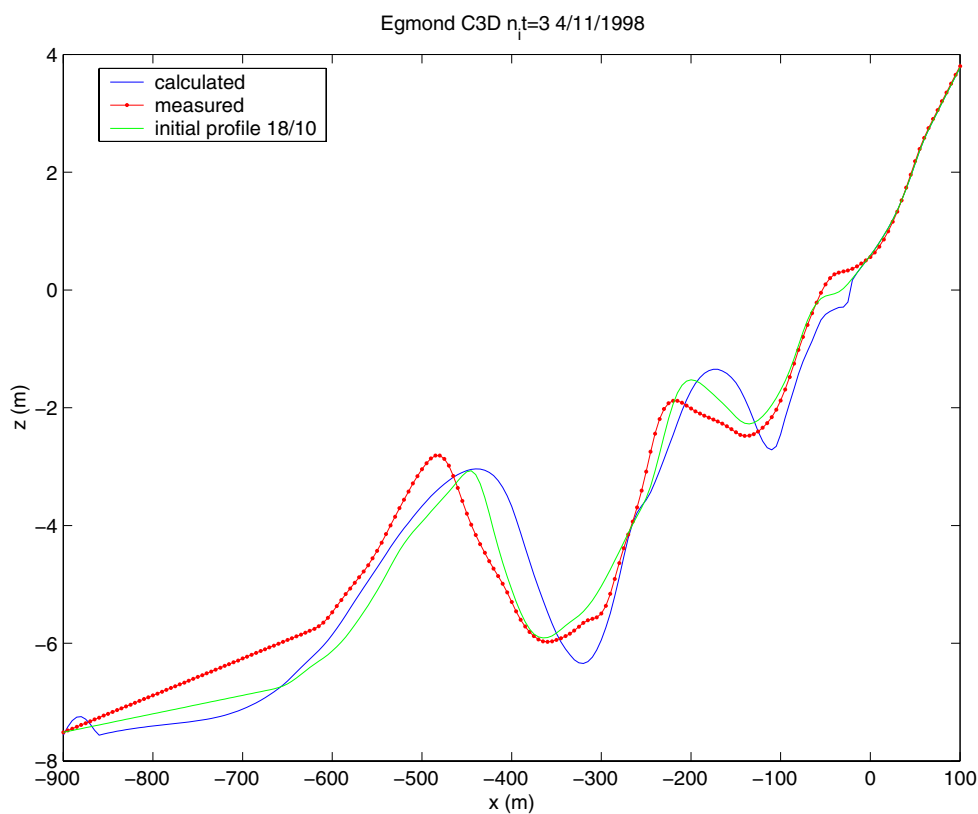


Fig A22: Vergelijking berekende en gemeten bodem 4/11/98,  $n_{it} = 3$

## Appendix B: Figuren 2<sup>e</sup> test Coast3D

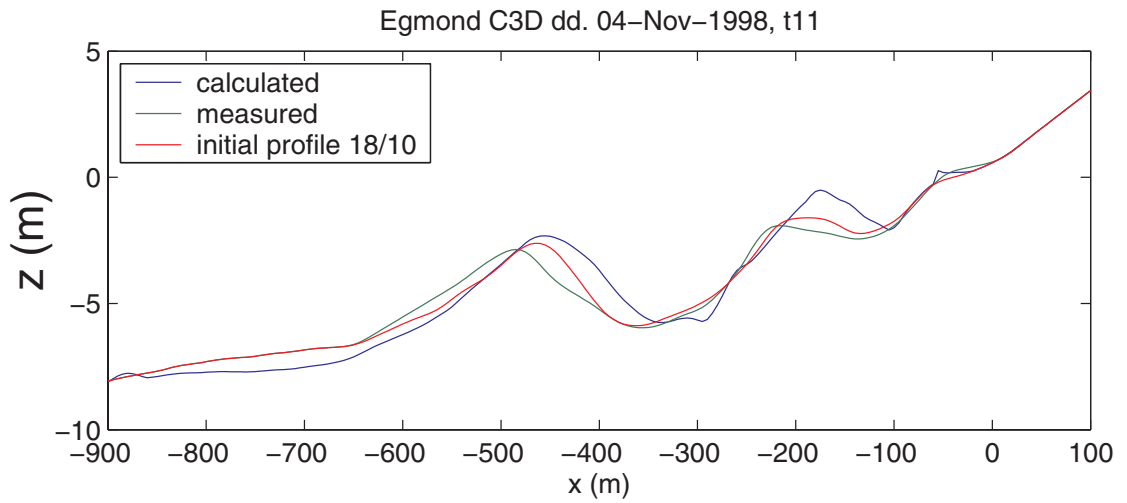


Fig. B1: Vergelijking berekende en gemeten bodem 4/11/98, (oude referentie).

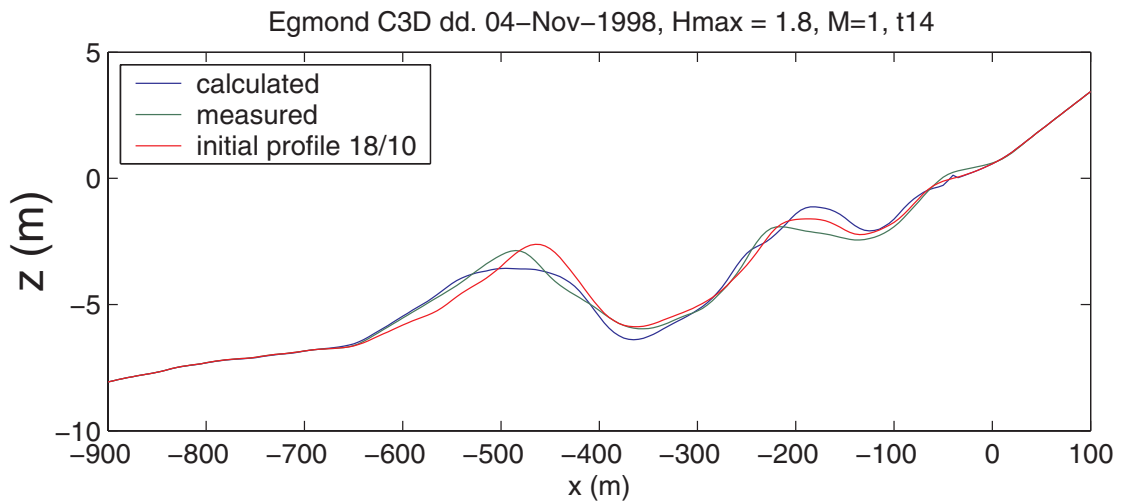


Fig. B2: Vergelijking berekende en gemeten bodem 4/11/98, (nieuwe referentie).

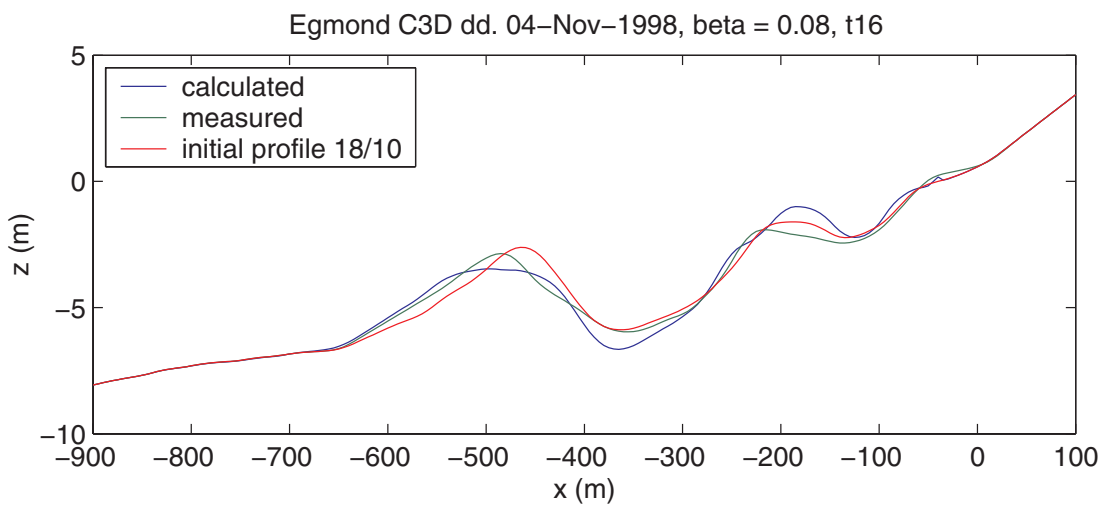


Fig. B3: Vergelijking berekende en gemeten bodem 4/11/98, b = 0.08

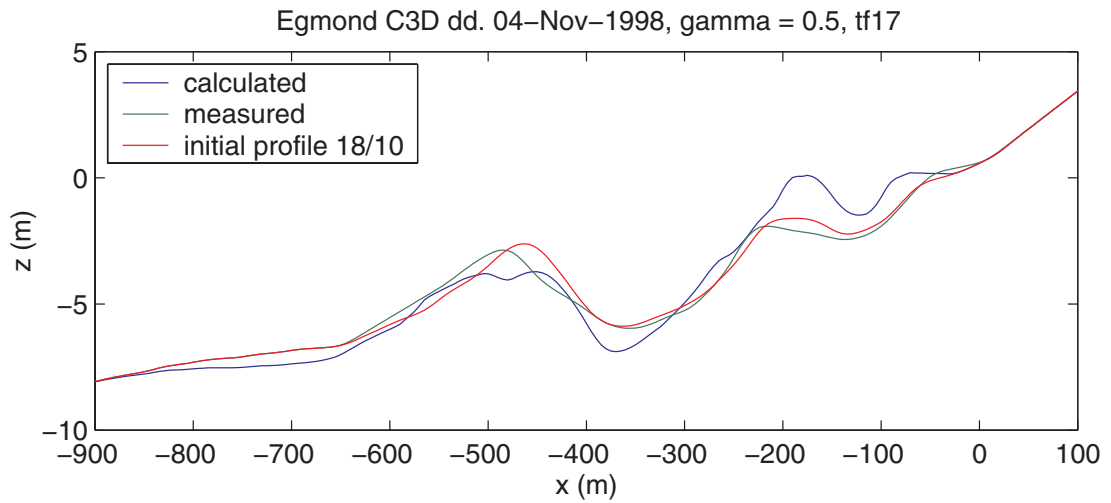


Fig. B4: Vergelijking berekende en gemeten bodem 4/11/98,  $\gamma = 0.5$

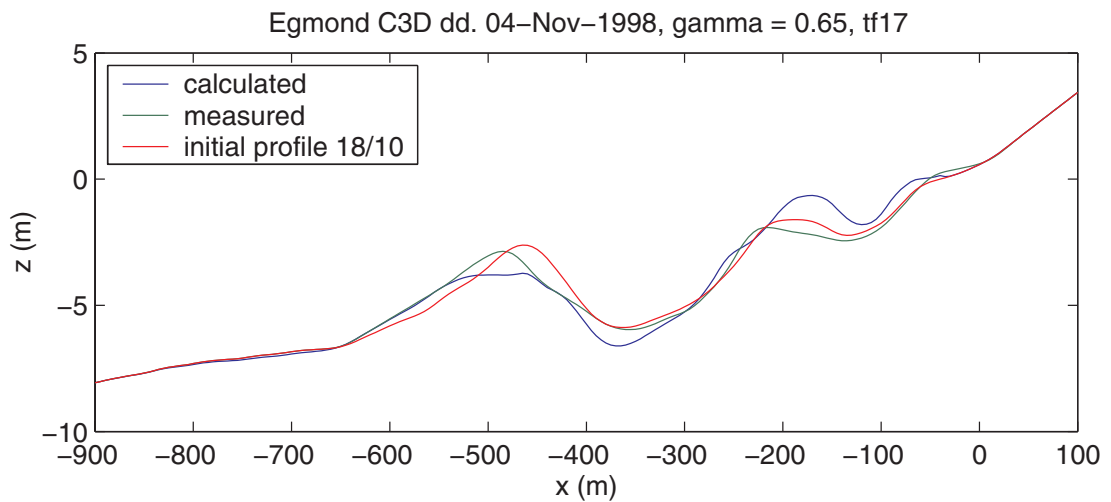


Fig. B5: Vergelijking berekende en gemeten bodem 4/11/98,  $\gamma = 0.65$

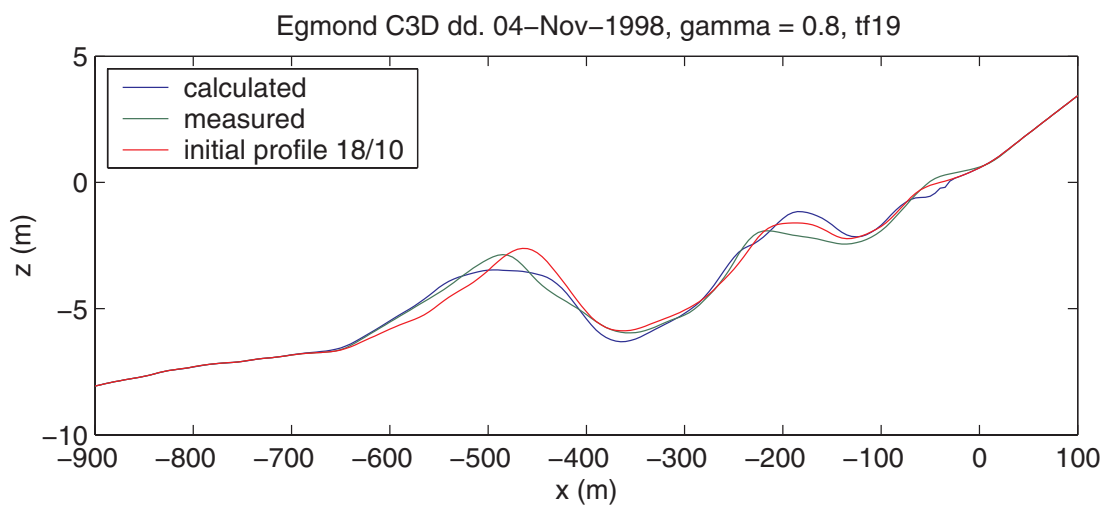


Fig. B6: Vergelijking berekende en gemeten bodem 4/11/98,  $\gamma = 0.8$

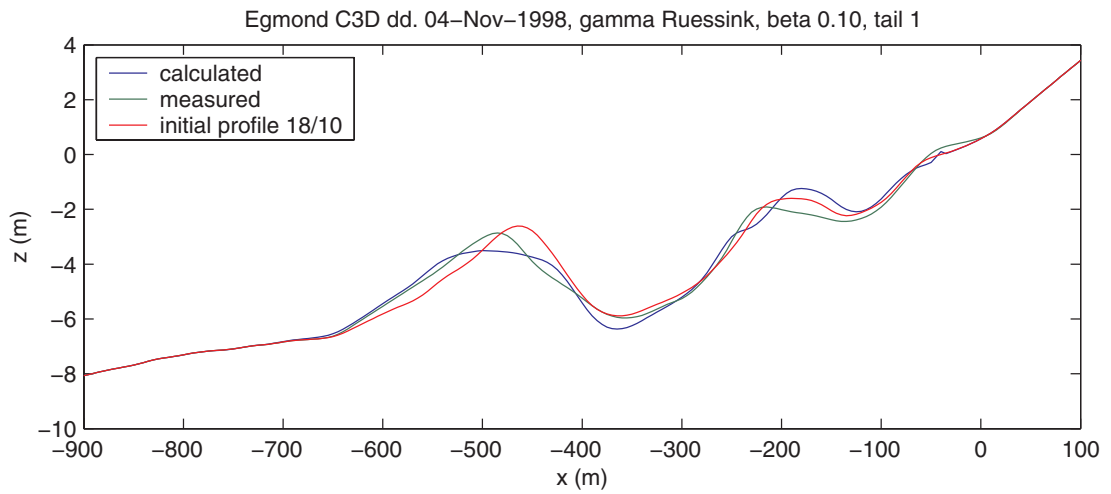


Fig. B7: Vergelijking berekende en gemeten bodem 4/11/98,  $\beta$  volgens Ruessink

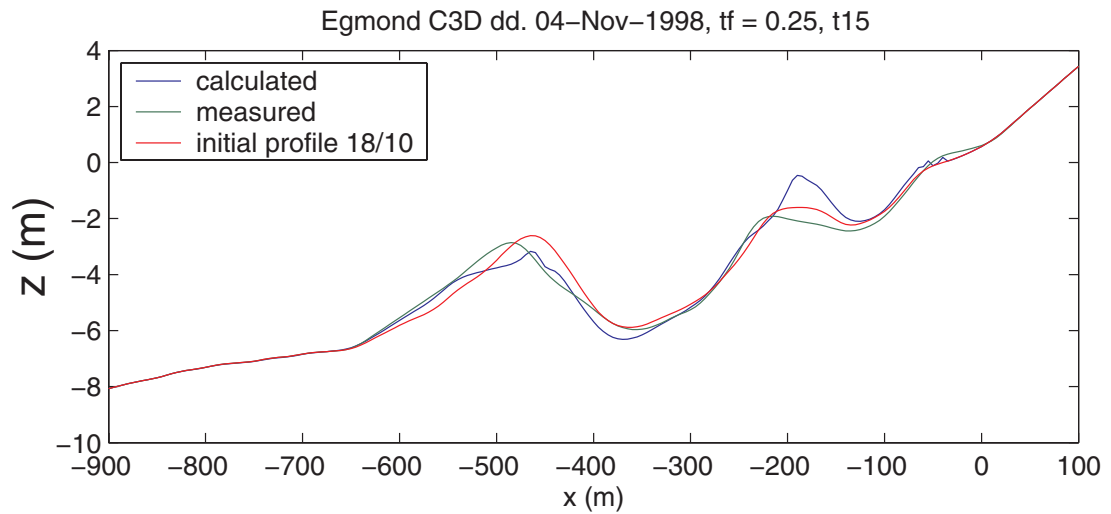


Fig. B8: Vergelijking berekende en gemeten bodem 4/11/98,  $t_f = 0.25$

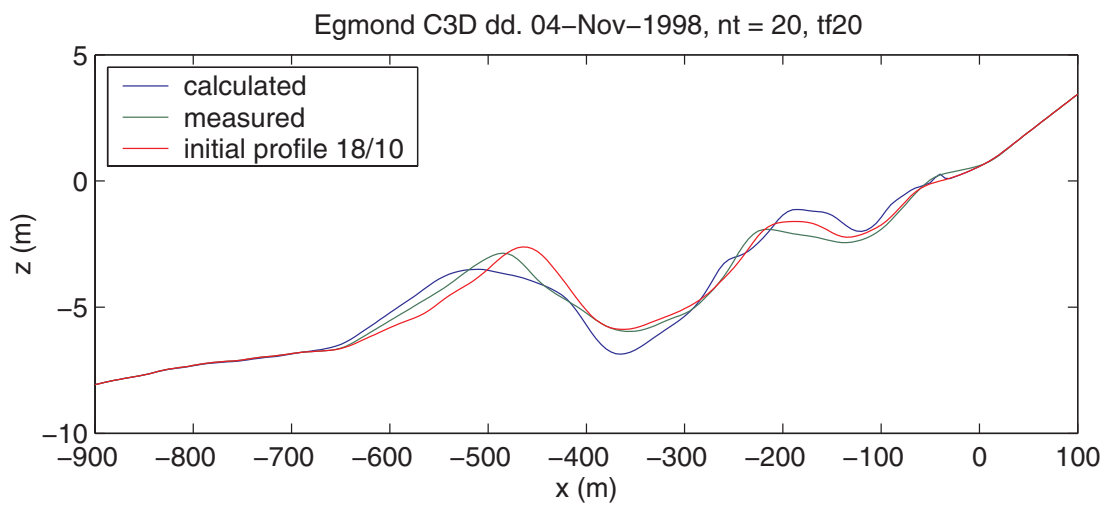


Fig. B9: Vergelijking berekende en gemeten bodem 4/11/98,  $n_{it} = 20$

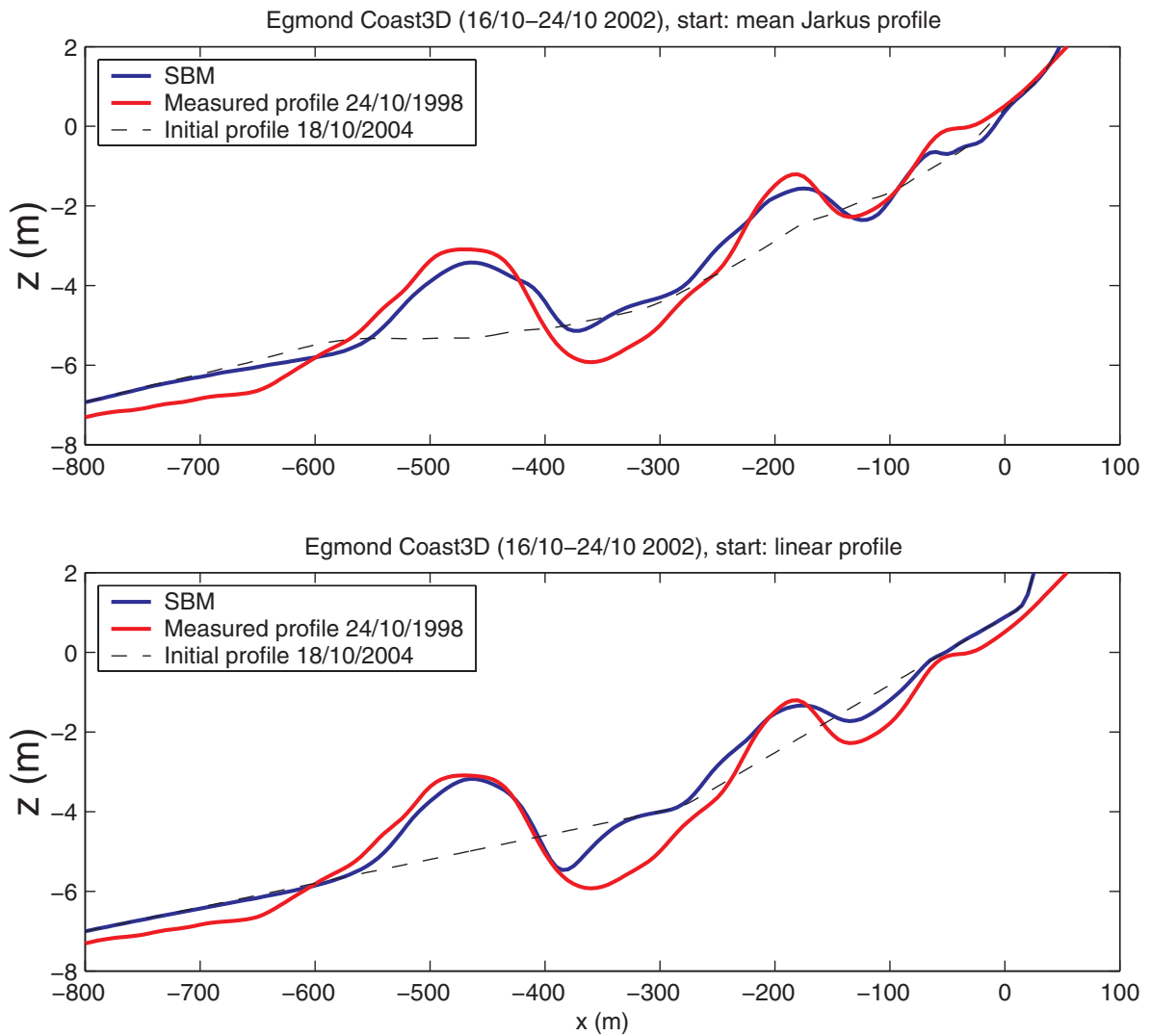


Fig. B10: Ontwikkeling bank-trog profiel vanaf arbitrair beginprofiel.

## Appendix C: Figuren toepassing monitoring Egmond suppleties

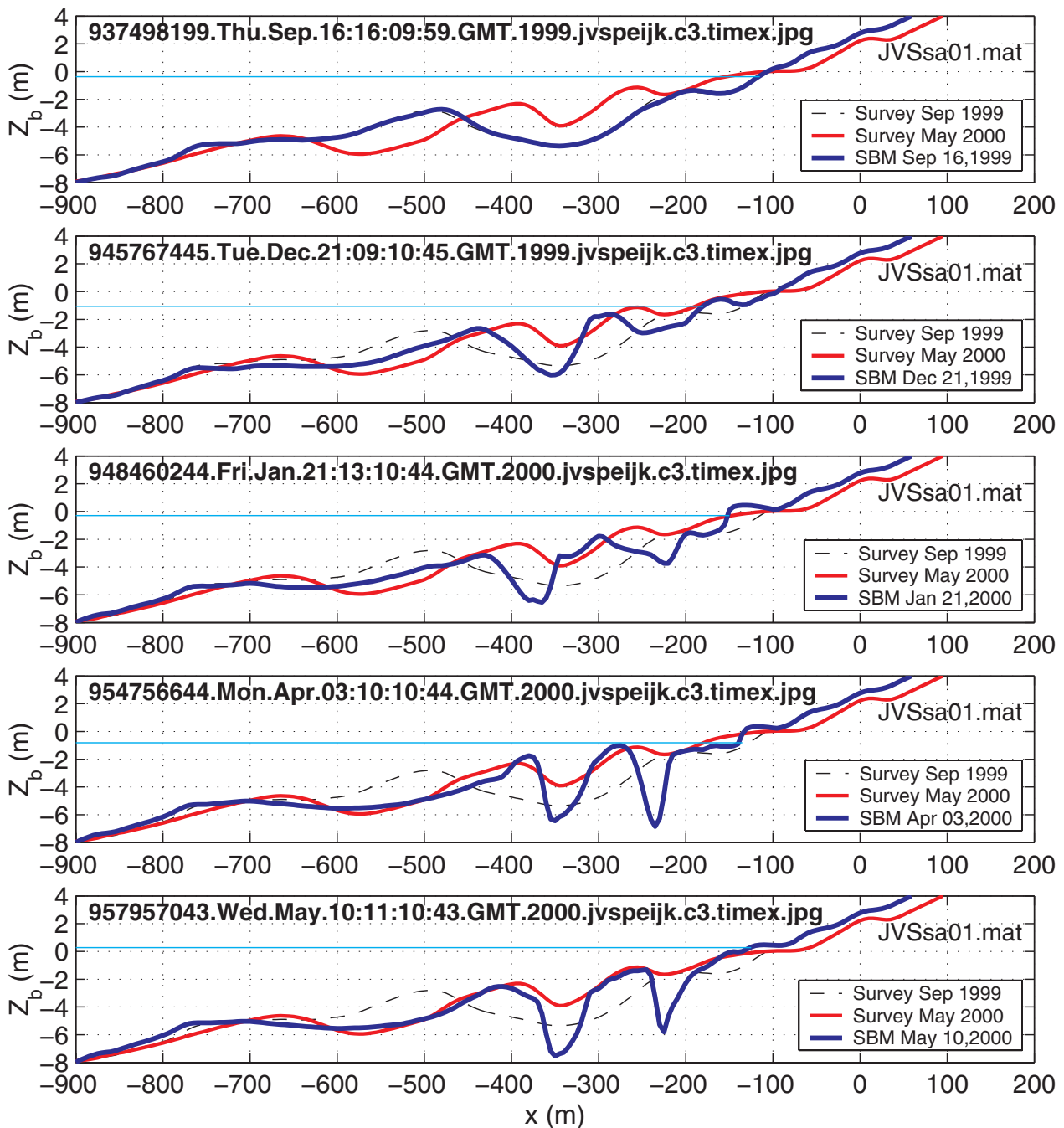


Fig. C1: Resultaat toepassing diepteschattingsmodel Egmond, eerste testrun

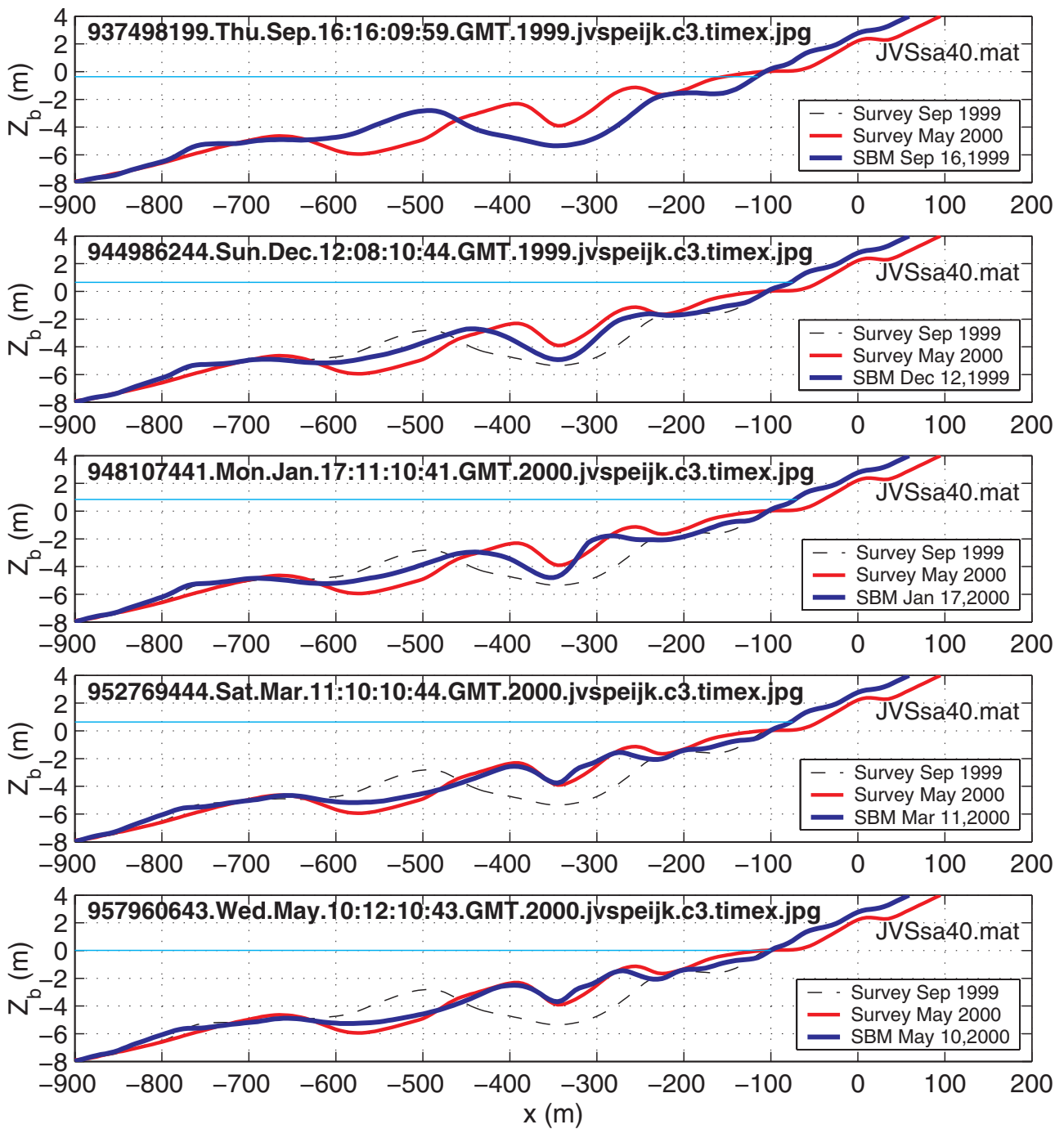


Fig. C2: Resultaat toepassing aangepaste diepteschattingmodel Egmond



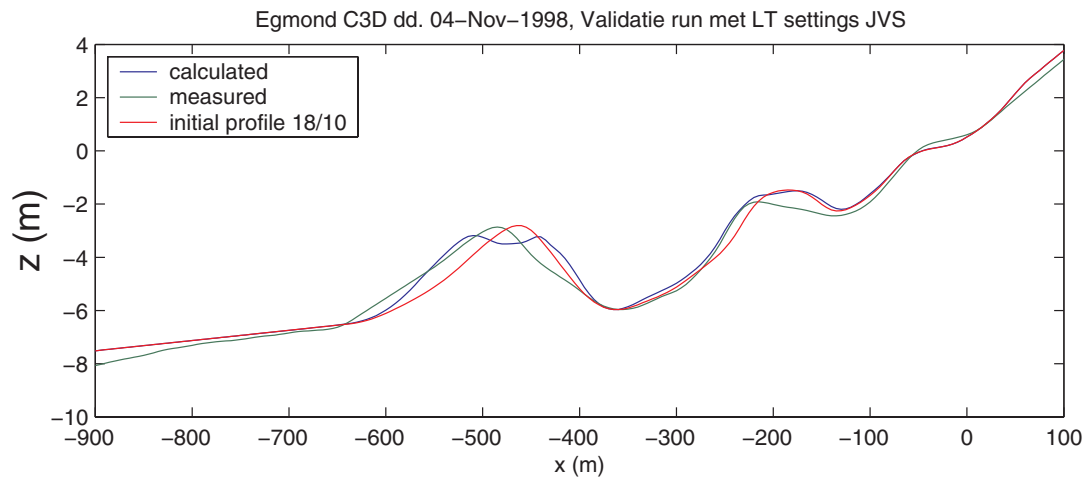


Fig. C3: Toepassing aangepaste diepteschattingsmodel op Coast3D data validatiefase

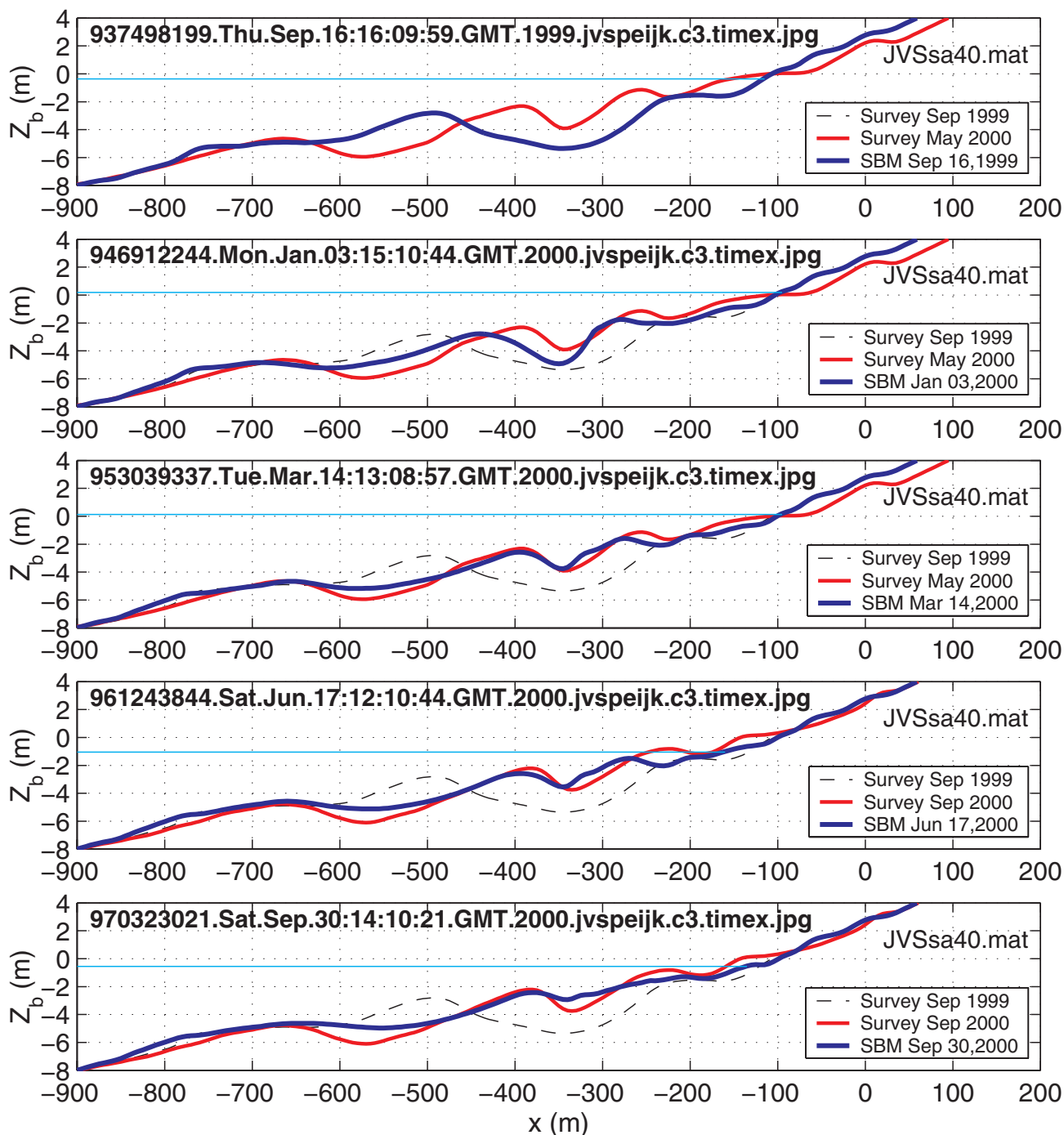


Fig. C4: Resultaat toepassing aangepaste diepteschattingsmodel, toepassing Egmond op tijdschaal 1 jaar.



## **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](mailto:info@wldelft.nl)  
internet [www.wldelft.nl](http://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](mailto:info@wldelft.nl)  
internet [www.wldelft.nl](http://www.wldelft.nl)**

