

Morfologische ontwikkeling van intergetijde-gebieden en modellering met ESTMORF

Deel I: Evaluatie modelresultaten

Z.B. Wang
C. Jeuken

Verslag

augustus 2000



wl | delft hydraulics



OPDRACHTGEVER Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ

TITEL Morfologische ontwikkeling intergetijdgebied en modellering met ESTMORF

SAMENVATTING Om de lange termijn ontwikkelingen van de morfologie in de Westerschelde als gevolg van baggeren en storten te voorspellen is het model ESTMORF ontwikkeld door het WL|Delft Hydraulics en het RIKZ. Het model is gebaseerd op een combinatie van proces-beschrijvingen en empirische relaties. Er is gebleken dat het model betere resultaten geeft voor de geulen dan voor de platen. In 1999 is besloten om ESTMORF te verbeteren, waaronder (indien mogelijk) de weergave van de intergetijdgebieden.

Het doel van deze studie is het ESTMORF Westerschelde model te evalueren met betrekking tot de weergave van de ontwikkelingen van intergetijde-gebieden. Door de resultaten van het model te vergelijken met veldmetingen wordt vastgesteld hoe groot de afwijkingen met betrekking tot de verschillende aspecten van het intergetijde-gebied zijn. De afwijkingen worden geanalyseerd om achter te halen door welke tekortkomingen in de modelformulering ze zijn veroorzaakt.

Samen met de uitkomsten van de literatuurstudie worden de resultaten van de huidige studie gebruikt om tot voorstellen te komen voor verbeteringen van de ESTMORF-formuleringen met betrekking tot weergave van de intergetijde-gebieden.

REFERENTIES

1. Offerteaanvraag RIKZ/OS/2000/60145, d.d. 12 april 2000
2. Helvert, M.A.G. van en B.A. Kornman, Plan van aanpak ESTMORF 2000, Werkdocument RIKZ/OS/2000.821x.

VER.	AUTEUR	DATUM	OPMERK.	REVIEW	GOEDKEURING
1	Z.B. Wang	14 juli 2000		A.W. van der Weck	
2	Z.B. Wang	14 juli 2000		A.W. van der Weck	T. Schilperoort
PROJECTNUMMER:		Z2776			
TREFWOORDEN:		ESTMORF, Intergetijdgebied, Westerschelde			
INHOUD:	TEKST	14	TABELLEN	-	FIGURE 23
STATUS:		☐ VOORLOPIG ☐ CONCEPT ☒ DEFINITIEF			

Inhoud

1	Inleiding	1-1
1.1	Achtergrond	1-1
1.2	Doelstelling.....	1-1
1.3	Opzet van de studie.....	1-1
2	Evaluatie modelresultaten.....	2-1
2.1	Gebruikte data en verwerking modelresultaten	2-1
2.2	Analyse resultaten calibratierun	2-3
2.2.1	Resultaten.....	2-3
2.2.2	Analyse	2-4
2.3	Aanvullende berekeningen.....	2-7
2.3.1	Simulatie zonder afstemmingen.....	2-7
2.3.2	Zonder onnodig vastleggen van vakken.....	2-8
2.3.3	Waterstand bij Bath gebruiken voor hele estuarium	2-8
2.4	Mogelijke maatregelen tot verbeteringen	2-8
2.4.1	Calibratie van het model	2-9
2.4.2	Aanpassing van de schematisatie.....	2-9
2.4.3	Software aanpassing	2-10
2.4.4	Aanpassing van de modelformulering	2-10
3	Conclusies en aanbevelingen.....	3-1
3.1	Conclusies.....	3-1
3.2	Aanbevelingen	3-1
4	Referenties	4-1

I Inleiding

I.1 Achtergrond

Om de lange termijn ontwikkelingen van de morfologie in de Westerschelde als gevolg van baggeren en storten te voorspellen is het model ESTMORF ontwikkeld door het WL | Delft Hydraulics en het RIKZ. Het model is gebaseerd op een combinatie van procesbeschrijvingen en empirische relaties. Er is gebleken dat het model betere resultaten geeft voor de geulen dan voor de platen (Fokkink, 1998a,b). In 1999 is besloten om ESTMORF te verbeteren, waaronder (indien mogelijk) de weergave van de intergetijdegebieden. Om dit te bereiken worden twee voorbereidende activiteiten uitgevoerd in deze studie. In de eerste plaats worden de resultaten van het ESTMORF model nog eens goed geëvalueerd, om precies vast te stellen wat de verschillen zijn tussen de modelresultaten en de veldmetingen. Door Fokkink (1998b) was alleen het areaal van intergetijdegebied op het niveau van individuele plaatcomplexen met velddata vergeleken. In de tweede plaats wordt een literatuurstudie uitgevoerd, om de relevante processen en factoren voor de ontwikkeling voor het intergetijdegebied te achterhalen. Het huidige rapport beschrijft de uitkomsten van de eerste activiteit: evaluatie van de modelresultaten.

I.2 Doelstelling

Het doel van de huidige studie is het ESTMORF model van de Westerschelde te evalueren met betrekking tot de weergave van de ontwikkelingen van intergetijdegebieden. Door de resultaten van het model te vergelijken met veldmetingen wordt vastgesteld hoe groot de afwijkingen met betrekking tot de verschillende morfologische aspecten van het intergetijdegebied zijn. De afwijkingen worden geanalyseerd om te achterhalen door welke mogelijke tekortkomingen ze zijn veroorzaakt.

Samen met de uitkomsten van de literatuurstudie worden de resultaten van de huidige studie gebruikt om tot voorstellen te komen voor verbeteringen van de ESTMORF-formuleringen met betrekking tot weergave van de intergetijdegebieden. Hierbij wordt ook gebruik gemaakt van het commentaar van een aantal experts op deel II van het huidige rapport (de literatuurstudie).

I.3 Opzet van de studie

Eerst worden de resultaten van de calibratie run, die eerder al zijn gerapporteerd (Fokkink, 1998a, 1998b), geëvalueerd met betrekking tot het intergetijdegebied. Hierbij worden de verschillende kenmerken (hoogte, areaal en volume) op verschillende ruimtelijke schaalniveaus beschouwd. De vastgestelde verschillen tussen de modelresultaten en veldmetingen wordt geanalyseerd om de mogelijke oorzaken te achterhalen. Vervolgens worden een aantal aanvullende berekeningen uitgevoerd met het doel de conclusies m.b.t. de oorzaken van problemen te verifiëren en/of te toetsen.

2 Evaluatie modelresultaten

2.1 Gebruikte data en verwerking modelresultaten

De gebruikte gegevens zijn toegeleverd door het RIKZ. Deze gegevens zijn gerapporteerd door Huijs (1995) en Mol e.a. (1997).

Het intergetijdegebied is per definitie het gebied tussen het gegeven laag- en hoogwater. Hiertoe behoren zowel slikken als platen. Slikken zijn de intergetijdegebieden langs de rand van het estuarium, terwijl platen de intergetijdegebieden midden in het estuarium zijn, die bij laagwater eilanden worden. Aangezien het getij zowel in de ruimte als in de tijd varieert is het intergetijdegebied op deze manier niet eenduidig gedefinieerd. Bij het verwerken en rapporteren van de gegevens uit het veld wordt onder andere daarom meestal een constante waarde voor het laagwater en voor het hoogwater gebruikt. Bij de in deze studie gebruikte gegevens wordt als laagwater gebruikt NAP-2 meter en als hoogwater NAP+2 meter. Bij de gegevens voor de platen wordt soms ook alles boven NAP+2 meter gerekend (dit kan uiteraard niet worden gehanteerd bij slikken omdat de bovengrens dan onbepaald is).

De veldgegevens zijn beschikbaar op drie verschillende ruimtelijke schaalniveaus: op het niveau van de hele Westerschelde, op het niveau van westelijk deel - middendeel - oostelijk deel en op het niveau van plaatcomplexen. Bij het laatste niveau worden de volgende 8 plaatcomplexen onderscheiden: Hooge Platen, Middelpaalt, Rug van Baarland, Plaat van Baarland, Plaat van Ossensisse, Plaat van Valkensisse, Plaat van Saeftinge, en Ballastplaat.

Het ESTMORF model geeft als uitvoer dwarsprofielen van alle rekenvakken op iedere morfologische tijdstap. Er ontstaan de volgende problemen bij de vergelijking tussen model resultaten en velddata:

- Uit de modelresultaten kan geen onderscheid tussen slikken en platen worden gemaakt. Dit vormt een probleem bij de vergelijking op het niveau van plaatcomplexen. Maar in de Westerschelde is de omvang van de slikken veel kleiner dan die van de platen. Daarom worden bij de vergelijking op dit niveau alle intergetijdegebieden van de betreffende rekenvakken als platen beschouwd.
- De indeling van de rekenvakken sluit niet precies aan bij de gebiedsindeling van de veldgegevens. Dit kan fouten veroorzaken op alle schaalniveaus, behalve op het niveau van het hele estuarium. Bij de verwerking van de resultaten van de modelberekeningen is hiermee rekening gehouden door sommige ESTMORF vakken te verdelen over verschillende morfologische eenheden (Fokkink, 1998b). Verder is deze mogelijke foutenbron bij de analyse in het achterhoofd gehouden. Zo worden belangrijke ontwikkelingen vooral relatief beoordeeld (vergelijking van de grootte van veranderingen in plaats van absolute grootte van gegevens).

Voor het afleiden van resultaten op het niveau van plaatcomplexen wordt de gebiedsindeling zoals gehanteerd door Fokkink (1998b) gebruikt:

Plaatcomplex	Rekenvakken in het ESTMORF model															
Hooge Platen	11	14	16	17	19	20	21	22	23	24	26	27	31			
Middel Plaat	28	29	31	34	35	36	37	38	41	42	43	44	51	52	53	
Rug van Baarland	44	45	47	49												
Plaat van Baarland	54	55	56	56	58	59	60	62	63	64	65					
Plaat van Ossensisse	65	66	67	68	69	70	71	72	73							
Plaat van Valkenisse	74	75	76	79	80	81	82	83	84	85	88	89	91	92	93	94
Plaat van Saeftinge	103	104	105													
Ballast Paalt	106	107	108	109												

Voor het afleiden van resultaten op niveau van de drie delen van het estuarium wordt in eerste instantie de indeling van lodingsvakken (1 t/m 7) zoals gehanteerd door Fokkink (1998a). Vervolgens worden de lodingsvakken 1, 2 en 7 samengevoegd als het oostelijke deel van het estuarium. Het middendeel komt overeen met lodingsvak 3. Het westelijke deel komt overeen met lodingsvakken 4, 5 en 6 bij elkaar. De indeling van de rekenvakken naar de 7 lodingsvakken is als volgt:

Lodingsvak	ESTMORF-vakken																		
1	89	90	98	99	100	101	103	104	105	106	107	108	109	110	115	116	117	118	119
2	69	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	88	91	92	93	94	96		
3	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	70	71		
4	35	36	37	38	39	44	45	46	47	48	49	53							
5	3	4	5	6	8	9	13	15	16	17	21	22	23	24	26	27	28	29	30
6	1	2	7	10	11	12	14	19	20	184									
7	95	97	102																

Met behulp van de standaard naverwerkingsprogrammatuur kunnen van een bepaald gebied het natte volume en het horizontale oppervlak bij een bepaalde waterstand worden bepaald. Voor het berekenen van het areaal, het volume en de hoogte van het intergetijdegebied worden deze gegevens bij hoog- (NAP+2 meter) en laagwater (NAP-2 meter) gebruikt. De gebruikte formuleringen zijn als volgt:

$$A_{igg} = A_{hw} - A_{lw} \quad (2.1)$$

$$V_{igg} = A_{hw}H - (V_{hw} - V_{lw}) \quad (2.2)$$

$$h_{igg} = \frac{V_{igg}}{A_{igg}} - \frac{H}{2} \quad (2.3)$$

In deze vergelijkingen is:

- A_{igg} = areaal van intergetijdegebied
- A_{hw} = oppervlakte bij hoogwater (=NAP+2 meter)
- A_{lw} = oppervlakte bij laagwater (=NAP-2 meter)
- V_{igg} = volume van intergetijdegebied

H	=	getijverschil (=4 meter)
V_{hw}	=	nat volume onder hoogwater (=NAP+2 meter)
V_{lw}	=	nat volume onder laagwater (=NAP-2 meter)
h_{igg}	=	hoogte van intergetijdegebied t.o.v. gemiddeld waterniveau (=NAP)

2.2 Analyse resultaten calibratierun

2.2.1 Resultaten

Voor de acht plaatcomplexen zijn de berekende en gemeten plaatvolumes en plaathogtes met elkaar vergeleken in Fig.2.1 en Fig.2.2. Het volgende kan worden geconstateerd:

- Zowel bij de plaathoogte als bij het plaatvolume is er al aan het begin van de berekeningen een verschil tussen de modelresultaten en de velddata aanwezig. Dit betekent dat de schematisatie van het model reeds bij de initiële toestand niet overeenkomt met de gegevens uit het veld. Met betrekking tot het plaatareaal is dit eerder al geconstateerd door Fokkink (1998b), zie Fig.2.3. Bij het volume is het verschil het grootste voor de Rug van Baarland en de Plaat van Baarland. Bij de hoogte is het verschil het grootst bij de Plaat van Saeftinghe en de Ballastplaat.
- Bij de plaathoogte wordt voor alle plaatcomplexen de toenemende trend wel gesimuleerd maar de berekende toename is veel minder dan de gemeten. Bovendien komt het berekende verloop niet overeen met de waarnemingen. Volgens de velddata is er sprake van een min of meer geleidelijke toename in de tijd, terwijl de berekende toename voornamelijk optreedt in de beginfase van de berekening.
- Bij het plaatvolume wordt voor Plaat van Saeftinghe zelfs de trend niet goed gesimuleerd.

Op het niveau van grote delen van het estuarium en het estuarium als één geheel zijn de vergelijkingen tussen modelresultaten en velddata gegeven in Fig.2.4 t/m Fig.2.6, voor respectievelijk het areaal, het volume en de hoogte van het intergetijdegebied. In deze figuren zijn de metingen en de berekeningen apart weergegeven. Merk op dat de metingen vanaf 1955 zijn weergegeven en de modelberekeningen vanaf 1968. De volgende conclusies kunnen worden getrokken:

- De overeenkomst tussen de modelresultaten en velddata is op deze grotere ruimtelijke schaalniveaus beter dan op het kleinere schaalniveau van plaatcomplexen. De overeenkomst tussen de metingen en de modelresultaten zijn verschillend voor verschillende delen van het estuarium. Het model doet het het beste in het middendeel en het slechtst in het oostelijke deel, terwijl voor het westelijk deel van de Westerschelde de overeenkomst redelijk goed is.

- Voor alle delen van het estuarium neemt de hoogte van het intergetijdegebied toe, zowel volgens de waarnemingen als volgens de berekeningen. Voor het middendeel wordt de gemeten toename in de periode 1968-1994 (ongeveer 0,2 meter) goed gereproduceerd door het model. Voor het westelijk deel wordt de gemeten toename minder goed gereproduceerd: ongeveer 0,3 meter volgens metingen en ongeveer 0,15 meter volgens de berekeningen. De berekende toename is veel te klein t.o.v. van de waargenomen toename in het oostelijke deel, ongeveer 0.25 m. i.p.v. ongeveer 0.7 m. Verder is er ook een afwijking in het berekende verloop van de toename in de tijd t.o.v. de waarnemingen voor alle delen. In de beginfase van de simulatie is de toename sterker dan in het vervolg, wat niet overeenkomt met de waarnemingen.
- Voor het westelijke deel en het middendeel wordt de trend van de verandering van het areaal van de intergetijdegebieden goed gereproduceerd. In het middendeel is er weinig verandering vanaf 1968 en in het westelijke deel is er sprake van een afname in de periode 1968-1994. De gemeten totale afname in het westelijke deel wordt ook goed door het model gereproduceerd: ongeveer 150 ha. Voor het oostelijke deel waar de veranderingen het grootst zijn wordt de trend niet goed gereproduceerd. Volgens metingen is er sprake van een toenemende trend van het areaal terwijl de berekende veranderingen een afnemende trend laten zien na een heel korte periode van toename aan het begin van de berekening.
- Voor het volume van het intergetijdegebied wordt de trend van de veranderingen goed gereproduceerd door het model voor het middendeel (toename sinds 1968) en voor het westelijke deel (eerst toename en daarna afname). De totale toename in het middendeel bedraagt volgens zowel de metingen als het model ongeveer 3 miljoen m^3 . In het westelijke deel is deze toename volgens metingen ongeveer 5 miljoen m^3 en volgens berekeningen ongeveer 2 miljoen m^3 . Voor het oostelijke deel wordt de trend van de volumeverandering niet goed gereproduceerd. Volgens het model neemt het volume van het intergetijdegebied aan het begin van de berekening toe en daarna weer langzaam af. Aan het eind van de simulatie blijft er een toename t.o.v. het begin over, maar deze toename is veel minder dan volgens de waarnemingen. Bovendien is er volgens de velddata een aanhoudende toename gedurende de hele periode.

Kort samengevat kan men zeggen dat het model het beter doet op een hoger aggregatie niveau. Op het niveau van de grote delen van het estuarium doet het model het goed in het middendeel, redelijk in het westelijke deel en slecht in het oostelijke deel. Wat betreft de trend van de veranderingen doet het model het beter voor de hoogte dan voor het areaal van het intergetijdegebied.

2.2.2 Analyse

De verschillen tussen de modelresultaten en de waarnemingen, zoals hierboven beschreven, kunnen in principe het gevolg zijn van de volgende oorzaken:

- Fouten die ontstaan zijn tijdens het maken van de modelschematisatie.
- Fouten die ontstaan zijn tijdens de naverwerking van de modelresultaten.
- Tekortkomingen in de modelformulering.
- Tekortkoming in de calibratie van het model.
- Bugs in de software implementatie.
- Fouten in de resultaten van de stromingsmodule.
- Fouten in de metingen.

Om tot voorstellen voor verbeteringen te komen is het belangrijk te analyseren welke van de geconstateerde afwijkingen tussen modelresultaten en metingen door welke fouten en/of tekortkomingen zijn veroorzaakt. Deze analyse wordt uitgevoerd door per type fout te bekijken welk onderdeel van de geconstateerde afwijkingen kan worden verklaard.

Fouten in de modelschematisatie

Een deel van de geconstateerde afwijkingen aan het begin van de berekening is toe te kennen aan de fouten in de schematisatie. Zoals Fig.2.1 en Fig.2.3 laten zien, is er al een verschil tussen het model en de data voordat de berekening is begonnen. Dit verschil in plaatareaal en plaatvolume is grotendeels te verklaren door het feit dat de gebiedsindeling van de modelschematisatie niet precies overeenkomt met het betreffende plaatcomplex, en door het feit dat de modelresultaten ook slikken bevatten (Fokkink, 1998b). Het verschil in de plaathoogte, vooral de grote verschillen zoals bij de Plaat van Saeftinge en Ballast Plaat (Fig.2.2), kan hiermee echter niet worden verklaard, en moet dus een gevolg zijn van fouten in de modelschematisatie. Het is opvallend dat voor bijna alle platen de hoogte in het model aan het begin hoger is dan die volgens de data. De schematisatie van het ESTMORF model is afgeleid uit de bestaande IMPLIC schematisatie. Zowel bij het maken van de IMPLIC schematisatie als bij het vertalen van de IMPLIC naar de ESTMORF schematisatie kunnen er fouten ontstaan zijn in het intergetijdegebied.

Fouten bij de naverwerking

Afwijkingen tussen modelresultaten en waarnemingen kunnen optreden doordat de berekende grootte bij de naverwerking niet geheel overeenkomt met de grootte die is afgeleid uit de velddata. Een uitgebreide beschouwing hierover is al gegeven door Fokkink (1998b). Hier zitten de belangrijkste verschillen in de definitie van de verschillende grootte (oppervlakken ten opzichte van waterstanden in plaats van ten opzichte van een vast niveau bijvoorbeeld). Deze problemen zijn eerder aangepakt en tot een minimum teruggebracht (Fokkink, 1998b).

Bugs in de software

Bugs in de software implementatie kunnen in principe nooit worden uitgesloten. Maar de gepresenteerde modelresultaten geven geen aanleiding tot verdenking van bugs in de software.

Fouten in de stromingsmodule

De geconstateerde fouten in de modelresultaten kunnen in principe ook veroorzaakt worden door fouten in de stromingsgegevens berekend door de stromingsmodule. De stromingsmodule IMPLIC is een gecalibreerd model. Dit betekent dat aan het begin van de berekening de stromingsresultaten goed moeten zijn. Maar tijdens de berekening kan dit veranderen omdat de berekende morfologische veranderingen worden meegenomen. Voor het intergetijdegebied gebruikt ESTMORF het hoog- en laagwater als hydrodynamische parameter. In Fig.2.7 zijn deze twee parameters voor de stations Vlissingen, Terneuzen, Hansweert en Bath weergegeven. Vergeleken met de data zoals gerapporteerd door Mol e.a. (1997) is het berekende verloop redelijk goed. De fouten in deze parameters kunnen in ieder geval niet de afwijkingen tussen de modelresultaten en data verklaren.

Tekortkomingen modelformulering

Dat het model het goed doet voor het middendeel en redelijk voor het westelijke deel van het estuarium, geeft aan dat de formulering in het huidige model niet verworpen kan/hoeft te worden. Voor de analyse van tekortkomingen van de formulering wordt vooral gekeken naar het oostelijke deel van het estuarium.

In het oostelijke deel van het estuarium zijn de veranderingen van het intergetijdegebied groot sinds begin jaren 70. De toename van de hoogte is versneld. Het areaal neemt tot 1974 sterk toe en daarna minder sterk (van 300 ha. in 1975 tot 450 ha. in 1994). Voor het areaal is de trend van de verandering in dit gebied anders dan elders in het estuarium. Kenmerkend voor dit gebied is verder dat er veel wordt gebaggerd en gestort sinds 1970. Toename van het intergetijdegebied houdt in dat een deel van de geulen tot platen zijn veranderd (slikken eroderen juist). Dit moet vooral in de vloedgeulen en de kortsluitgeulen zijn gebeurd. De ebgeulen zijn door het baggeren juist verruimd. Een mogelijke reden voor het foute gedrag van het model in dit gebied is dat het model niet in staat is het migreren, verdwijnen en ontstaan van kortsluitgeulen te simuleren. De afgenomen activiteit van de kortsluitgeulen zorgt er voor dat het areaal en de hoogtes van de platen in dit gebied toenemen.

In het model is alleen de hoogte van het intergetijdegebied een systeemvariabele, waarvoor een empirische relatie wordt gebruikt. De breedte en het areaal van het intergetijdegebied wordt in principe vrijgelaten en bepaald door de procedure voor de profiel aanpassing. Dit is mogelijk een verklaring voor de waarneming dat het model de trend van verandering in de hoogte van het intergetijdegebied voor alle delen van het estuarium goed simuleert, terwijl de veranderingen in het areaal van het oostelijk deel niet goed worden voorspeld door het model. De wat schematische manier van aanpassen van de profielen die door Estmorf wordt gehanteerd voldoet wellicht minder goed in het oostelijk deel.

Een andere tekortkoming in de formulering kan zijn dat de gebruikte empirische relaties voor de evenwichtshoogtes van het intergetijdegebied niet goed genoeg zijn. Mol (pers. comm.) heeft geconstateerd dat de hoogtes van de platen in de Westerschelde veel beter correleren met de waterstanden bij Bath dan met de lokale waterstanden. Dit is ook te zien in Fig.2.6 en Fig.2.7. De plaathogtes in het hele estuarium zijn sinds 1955 toegenomen met een veel grotere snelheid dan de verhoging van de waterstanden. In het westelijke deel waar de waterstanden veel minder sterk zijn veranderd, is de plaathoogte ook sterk toegenomen. Van alle stations is de waterstandsverandering bij Bath het grootst. Dit verklaart de constatering door Mol. Een aanvullende berekening is uitgevoerd om de bekijken of verbetering van de evenwichtsrelatie tot een verbetering van de modeluitkomsten kan leiden (zie 2.3).

Tekortkoming calibratie

Een andere foutbron is dat het model nog niet voldoende is gecalibreerd. Het intergetijdegebied werd in het begin van de calibratie van het model veel minder in beschouwing genomen dan de geulen. De snelle verandering aan het begin van de simulatie volgens het model kan een gevolg zijn van het feit dat de morfologische tijdschaal in het model voor het intergetijdegebied te klein is. Dit kan echter ook door het afstemmen van de ESTMORF schematisatie met de IMPLIC schematisatie aan het begin van de berekening zijn veroorzaakt. Een aanvullende berekening wordt uitgevoerd om dit uit te zoeken.

Een ander probleem met de calibratierun was dat in de toen gebruikte versie van het programma een bug zat. Als gevolg hiervan zijn er meer vakken dan nodig vastgelegd (geen morfologische verandering toelaten). Dit betreffen voornamelijk vakken voor kleine geulen. Bij de analyse naar het gedrag van het model met betrekking tot kortsluitgeulen heeft Thoolen (2000) geconstateerd dat voor veel van deze vakken het vastleggen niet meer nodig is met de verbeterde versie van het model.

Bij de calibratie van het model zijn de coëfficiënten voor de evenwichtshoogtes van de intergetijdegebieden alleen aangepast per deelgebied van het estuarium (Fokkink, 1998a). Aanpassing van de coëfficiënten in meer detail is niet uitgevoerd. Dit kan mogelijk een verklaring zijn dat het model het beter doet voor grotere delen dan voor individuele platen.

2.3 Aanvullende berekeningen

Een aantal aanvullende berekeningen zijn uitgevoerd om de bevindingen en vragen uit de bovenstaande analyse nader te toetsen of te beantwoorden. Om erachter te komen wat de reden is voor het verkeerde verloop van de berekende veranderingen (snelle toename van hoogte en volume aan het begin) zijn twee berekeningen uitgevoerd: één zonder iteraties van afstemmingen tussen ESTMORF en IMPLIC en één met een grotere morfologische tijdschaal voor het intergetijdegebied. Zoals eerder vermeld was in de calibratieberekening een aantal vakken onnodig vastgelegd. Om na te gaan wat voor effect dit had op de ontwikkelingen van het intergetijdegebied is een nieuwe berekening uitgevoerd zonder het onnodig vastleggen van vakken. Tenslotte is een berekening uitgevoerd waarbij de evenwichtshoogtes van het intergetijdegebied in het hele model aan de waterstand bij Bath werden gerelateerd, om een indicatie te krijgen of verder verbeteren van de evenwichtsrelaties in het huidige model tot verbeteringen van het model kan leiden.

2.3.1 Simulatie zonder afstemmingen

Om erachter te komen of de onrealistisch snelle verandering in de beginfase van de berekening een gevolg is van verkeerde morfologische tijdschaal of van de afstemmingen tussen ESTMORF en IMPLIC profielen, is een aanvullende berekening uitgevoerd zonder deze afstemmingen. In de calibratie run werden 3 iteraties uitgevoerd.

De resultaten van deze run zijn vergeleken met die van de calibratie run in Fig.2.8 (a t/m c). Het volgende kan worden geconstateerd:

- Ook volgens deze aanvullende run treden de onrealistisch snelle veranderingen aan het begin op.
- De verschillen tussen de twee berekeningen zijn klein voor het middendeel en het westelijke deel maar duidelijk waarneembaar voor het oostelijke deel, vooral met betrekking tot het areaal.

Dat de afstemming, die een gevolg is van de verschillende profielschematisaties in ESTMORF en IMPLIC, invloed heeft op resultaten is zeer ongewenst.

De resultaten van deze run geven nog geen definitief antwoord op de vraag wat de onrealistische snelle verandering aan het begin van de berekening heeft veroorzaakt. Als afstemming vóór de simulatie niet plaatsvindt zal tijdens de simulatie het afstemmingsproces geleidelijk gebeuren samen met de morfologische ontwikkeling. Daarom is nog een extra berekening uitgevoerd, waarbij de machten voor de evenwichtsconcentratie boven het intergetijdegebied zijn veranderd van 4 naar 1. Dit zal voornamelijk tot gevolg hebben dat de morfologische tijdschaal voor het intergetijdegebied met een factor 4 wordt vergroot. De resultaten van deze run zijn met die van de calibratie run vergeleken (Fig.2.9). De veranderingen aan het begin zijn duidelijk langzamer geworden. Er moet dus worden geconcludeerd dat de calibratie van het model voor wat betreft het intergetijdegebied nog onvoldoende is.

2.3.2 Zonder onnodig vastleggen van vakken

De berekening die door Thoolen (2000) is uitgevoerd, waarbij onnodig vastleggen van vakken niet meer voorkomt, is ook uitgewerkt voor het intergetijdegebied en vergeleken met de calibratierun (Fig.2.10). De resultaten van deze run laten alleen marginale verschillen zien ten opzichte van de calibratierun (hoogte neemt minder toe en areaal neemt minder af). Over het estuarium zijn wel enige verschillen waarneembaar in de veranderingen, waarbij de resultaten in het midden en oosten beter in overeenstemming zijn met de werkelijkheid, terwijl de resultaten in het westelijk deel iets minder goed overeenkomen met de metingen.

2.3.3 Waterstand bij Bath gebruiken voor hele estuarium

Er is een aanvullende run uitgevoerd, waarbij in plaats van de lokale waterstanden de waterstanden bij Bath zijn gebruikt voor de evenwichtshoogtes van de intergetijdegebieden in het hele modelgebied. Deze berekening is bedoeld om een indicatie te krijgen in hoeverre verbetering van de evenwichtsrelaties voor de hoogtes het model kan verbeteren. De resultaten van deze run zijn vergeleken met die van de calibratierun in Fig.2.11. De berekening is na ongeveer 8 jaar afgebroken doordat ergens in het model een ongeldig profiel is ontstaan. De resultaten in deze periode laten wel zien dat de toename van de hoogte van het intergetijdegebied veel sterker is dan in de calibratierun. Ook neemt het volume van het intergetijdegebied meer toe. Maar de verkeerde trend van de verandering van het areaal wordt niet verbeterd. Verbetering van de relatie kan dus effect hebben, maar zal niet het probleem van het model met betrekking tot het plaatareaal in het oostelijke deel van het estuarium oplossen. Wel kan de ontwikkeling van de hoogte van het intergetijdegebied worden verbeterd door aanpassing van de evenwichtsrelaties.

Dat de berekening vroegtijdig afbreekt komt door het feit dat het intergetijdegebied in een vak gedefinieerd is met de lokale waterstanden terwijl de evenwichtshoogte daarvan aan de waterstanden bij Bath is gerelateerd. Dit kan leiden tot onrealistische situaties.

2.4 Mogelijke maatregelen tot verbeteringen

Aan de hand van de bevindingen uit de analyse hierboven en rekening houdend met de resultaten van de literatuurstudie (deel II van dit rapport) inclusief het commentaar van de experts, wordt gekeken naar mogelijke maatregelen voor het verbeteren van het model. Deze maatregelen worden geëvalueerd door de te verwachten effecten af te zetten tegen de verwachte inspanningen.

In principe kan het model worden verbeterd door maatregelen op vier verschillende niveaus. In volgorde van moeilijkheid zij dat:

1. Op het niveau van calibratie. Het huidige model wordt verder gecalibreerd zonder aanpassing van software en schematisatie. Alleen de modelparameters worden aangepast.
2. Op het niveau van verbetering van de modelschematisatie. De geometrie en bathymetrie aan het begin van de berekening worden verbeterd.
3. Op het niveau van software aanpassing. Een aantal software-technische details van het model worden aangepast zonder de fundamentele formulering van het model te wijzigen.
4. Op het niveau van de fysisch-mathematische modelformulering.

Hieronder worden de mogelijke maatregelen per niveau geëvalueerd.

2.4.1 Calibratie van het model

De calibratie van het model kan op de volgende punten worden verbeterd met betrekking tot het intergetijdgebied:

- Verbetering van de morfologische tijdschaal. Eén van de aanvullende berekeningen heeft laten zien dat het model nog zeker valt te verbeteren met betrekking tot de morfologische tijdschaal van het intergetijdgebied. *Verwachte verbetering:* Betere weergave van het verloop van de ontwikkelingen in de tijd. *Verwachte inspanning:* klein.
- Verbetering van de coëfficiënten in de empirische relaties voor de evenwichtshoogtes. Men kan overwegen de coëfficiënten per plaatcomplex aan te passen. *Verwachte verbetering:* betere overeenkomst tussen model en data wat betreft de hoogtes en verbetering van de resultaten op fijnere aggregatieniveau's. *Verwachte inspanning:* beperkt.

2.4.2 Aanpassing van de schematisatie

De IMPLIC schematisatie en de daarvan afgeleide ESTMORF schematisatie kunnen worden vergeleken met de basisgegevens waaruit de kengetallen van de ontwikkeling van het intergetijdgebied zijn afgeleid. Hierbij moet men zich vooral concentreren op plaatcomplexen waarvan de hoogte veel verschilt ten opzichte van de data, zoals de Plaat van Saeftinghe, de Ballastplaat, de Platen van Valkenisse, de Rug van Baarland en de Plaat van Baarland. Daarna kan de schematisatie worden verbeterd door middel van het doorvoeren van een betere vakindeling (zoals een verfijning voor het land van Saeftinghe) en aanpassing van de profielen.

Verwachte verbetering: betere overeenkomst tussen model en data bij aanvang van de berekeningen, waardoor de resultaten ook beter bruikbaar worden in absolute zin. Mogelijk kan hiermee simulatie van de ontwikkelingen ook verbeteren, denk bijvoorbeeld aan een grotere toename van de plaathoogte omdat de beginwaarde lager wordt.

Verwachte inspanning: Meer dan bij de maatregelen werden beschreven in paragraaf 2.4.1. Tevens moet rekening worden gehouden met de mogelijkheid dat de calibratie ook moet worden aangepast.

2.4.3 Software aanpassing

De volgende aanpassingen van de software kunnen worden overwogen:

- Aanpassing van de procedure waarmee de ingrepen (baggeren en storten) in het dwarsprofiel zijn verwerkt. Hiervoor moet eerst worden bekeken hoe het bagger- en stortwerk in de praktijk wordt uitgevoerd, in verhouding tot de verschillende delen van de betreffende ESTMORF vakken. *Verwachte verbetering:* Mogelijk een verbetering van de ontwikkeling van het plaatareaal, vooral voor het oostelijke deel van de Westerschelde. *Verwachte inspanning:* relatief beperkt.
- SOBEK versie gebruiken in plaats van IMPLIC versie, waardoor het heen en weer vertalen van profielen tussen de stromingsmodule en de morfologische module wordt vermeden. *Verwachte verbetering:* kwijt raken van de invloed van de afstemmingen. *Verwachte inspanning:* weinig.
- Procedure voor het vastleggen van vakken verbeteren. Extreme veranderingen van bepaalde vakken tijdens de berekeningen kunnen leiden tot onrealistische profielen. Deze vakken kunnen tijdens de berekening voor verschillende onderdelen (geul, lage plaat, hoge plaat) worden vastgelegd voor verdere verandering. Men kan overwegen deze procedure te herzien door bepaalde vervormingen van de profielen in bepaalde situaties te introduceren. *Verwachte verbetering:* betere weergave van de uitwisseling tussen geulgebieden en intergetijdegebieden. *Verwachte inspanning:* relatief veel.
- Ander referentieniveau voor het intergetijdegebied introduceren. In het huidige model wordt het lokale laagwater gebruikt als referentieniveau. Men kan overwegen een absoluut niveau te introduceren, op dezelfde manier als gebruikelijk is bij de verwerking van veldgegevens. *Verwachte verbetering:* betere weergave van de hoogte van het intergetijdegebied. *Vereiste inspanning:* relatief veel.

2.4.4 Aanpassing van de modelformulering

Aanpassingen op dit niveau vereisen de hoogste inspanning. Na aanpassing van de modelformulering moeten de andere stappen (software, mogelijk ook schematisatie, calibratie) opnieuw worden uitgevoerd. Mogelijk aanpassingen zijn:

- Introduceren van andere (extra) evenwichtsrelaties. Voor de hand liggend zijn hierbij relaties die betrekking hebben op het areaal van het intergetijdegebied. Er is op dit moment (zie ook deel II van het huidige rapport, de literatuurstudie) echter nog geen relatie beschikbaar die direct op het niveau van ESTMORF vakken toepasbaar is. Meest belovend is een relatie voor de breedte-diepte verhouding voor geulen. *Verwachte verbetering:* Betere weergave van de ontwikkeling van het areaal van het intergetijdegebied. *Vereiste inspanning:* hoog.

- Aanpassing formulering van evenwichtsconcentraties. *Verwachte verbetering:* betere weergave van de morfologische tijdschaal voor het intergetijdengebied. *Vereiste inspanning:* te overzien.
- Procedure voor aanpassing van profielen. In deze procedure zijn drie soorten regels (relaties) gebruikt: definities, massa-balans en aannamen. De aannamen kunnen opnieuw worden getoetst en eventueel aangepast. *Beoogde verbetering:* betere weergave ontwikkeling van het areaal van het intergetijdengebied. *Vereiste inspanning:* hoog, maar minder dan bij het introduceren van nieuwe evenwichtsrelaties.
- Onderscheid tussen platen en slikken introduceren. *Beoogde verbetering:* introduceren simulatie van ontwikkelingen van slikken. *Vereiste inspanning:* hoog.

3 Conclusies en aanbevelingen

3.1 Conclusies

De bevindingen van deze studie worden samengevat in de volgende conclusies:

- Met betrekking tot het intergetijdengebied is de kwaliteit van de resultaten van het huidige ESTMORF model voor de Westerschelde afhankelijk van het aggregatieniveau waarop de resultaten worden bekeken. Op het niveau waarbij het estuarium in grote delen is verdeeld doet het model het goed in het middendeel, redelijk in het westelijke deel en slecht in het oostelijke deel van de Westerschelde. Op het niveau van individuele plaatcomplexen doet het model het minder goed. De trend van de veranderingen van de plaathoogte wordt wel goed weergegeven. De waargenomen toename van de plaathoogte wordt echter onderschat door het model.
- Door fouten in de schematisatie en problemen met de gebiedsindeling bij de naverwerking is er al een verschil tussen het model en de data aan het begin van de berekening. Als de resultaten relatief worden bekeken (alleen veranderingen beschouwen) zijn ze beter dan wanneer zij in absolute zin worden bekeken.
- Fouten in de schematisatie zijn de enige verklaring van het verschil tussen model en veldgegevens in de hoogte van het intergetijdengebied aan het begin van de berekening. Een deel van de fout is een gevolg van het heen en weer vertalen van profielen tussen ESTMORF en IMPLIC.
- De modelformulering schiet tekort wat betreft simulatie van de ontwikkeling van het areaal van het intergetijdengebied. De resultaten van de calibratierun en de aanvullende berekeningen hebben laten zien dat verbetering van de relatie voor de evenwichtshoogte alleen niet tot voldoende verbetering van het model leidt. De verkeerde trend in de berekende verandering van het areaal van het intergetijdengebied kan hiermee niet worden verbeterd.
- De calibratie van het model met betrekking tot de tijdschaal van de ontwikkelingen van het intergetijdengebied lijkt onvoldoende te zijn. De gesimuleerde veranderingen gaan in het begin van de berekening te snel. Geconcludeerd wordt dat de morfologische tijdschaal in het model te klein is.

3.2 Aanbevelingen

Samen met de uitkomsten van de literatuurstudie (deel II van dit rapport), hebben de bovenstaande bevindingen geleid tot de volgende aanbevelingen:

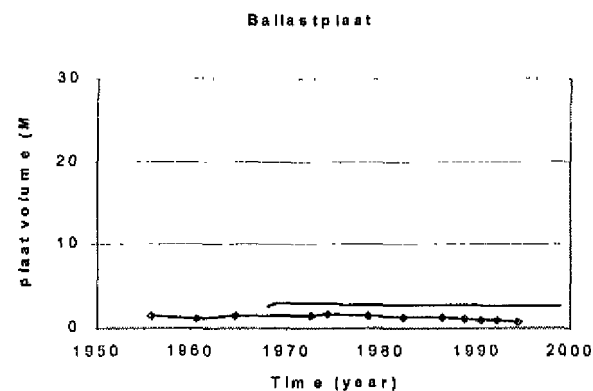
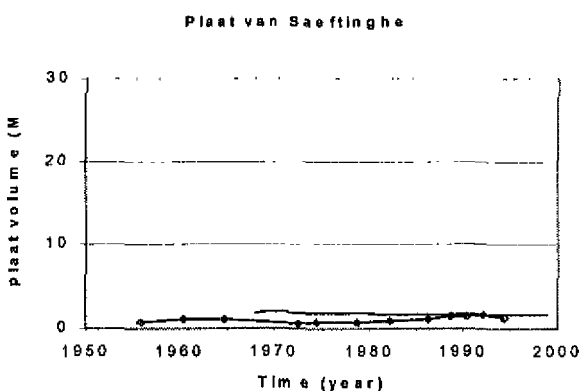
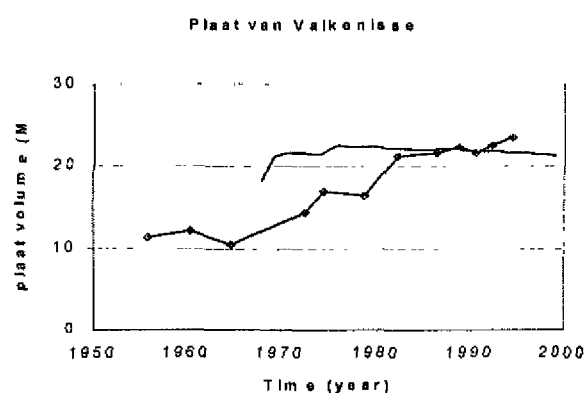
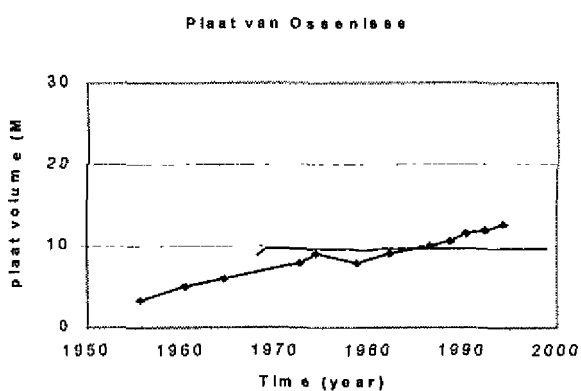
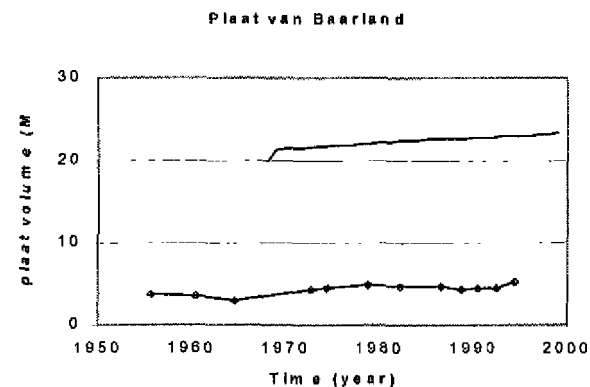
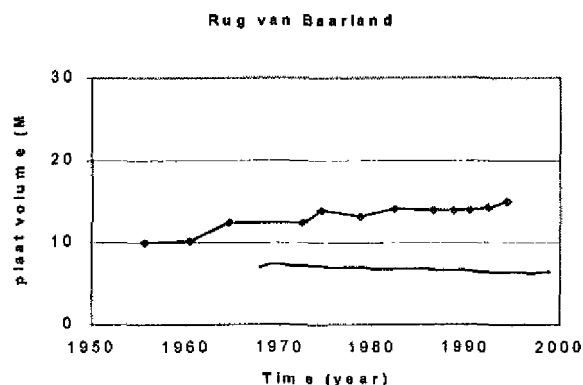
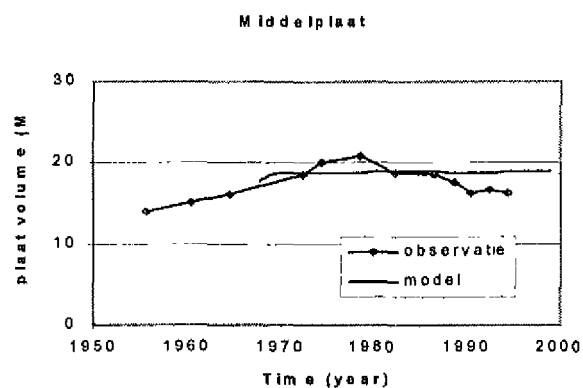
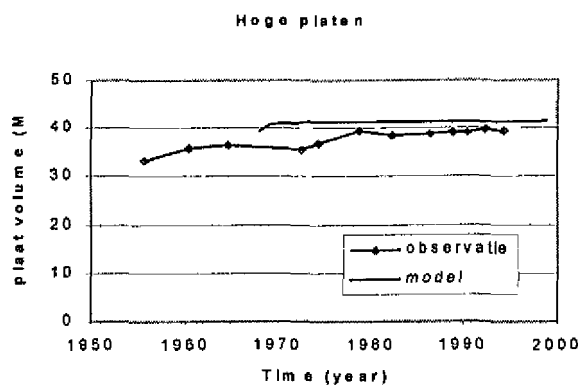
- Bij de verdere verbetering van het model moet men zich beperken tot de hogere aggregatieniveaus. Het fijnste niveau dat bekeken kan worden is het niveau van de lodingsvakken.
- Bij de verbeteringen met name aandacht besteden aan de platen. Slikken maken slechts een klein deel uit van het totale areaal intergetijdengebieden in de Westerschelde. Een onderscheid in de formulering tussen deze verschillende soorten intergetijdengebied zal veel inspanning kosten.

- De in paragraaf 2.4 geëvalueerde maatregelen in de volgende volgorde in beschouwing nemen:
 - Verbeteren van de modelschematisatie
 - De SOBEK versie van het model gebruiken in plaats van de IMPLIC versie
 - Calibratie verbeteren m.b.t. de morfologische tijdschaal
 - Calibratie verbeteren m.b.t. de evenwichtsrelaties
 - Software aanpassing m.b.t. het verwerken van ingrepen in profielen
 - Software aanpassing m.b.t. de procedure voor het vastleggen van vakken
 - Software aanpassing door een vast referentieniveau voor de hoogte van het intergetijdengebied te introduceren
 - Formulering aanpassen m.b.t. de evenwichtsconcentratie
 - Formulering aanpassen m.b.t. aanpassing van profielen
 - Formulering aanpassen door extra evenwichtsrelaties te introduceren
 - Formulering aanpassen door onderscheid te maken tussen platen en slikken

4 Referenties

- Fokkink, R.J., 1998a. Final version of ESTMORF, WL | Delft Hydraulics, Rapport Z2262.
- Fokkink, R.J., 1998b. Vergelijking ESTMORF en meetgegevens, WL | Delft Hydraulics, Rapport Z2547.
- Huijs, S.W.E., 1995. Geomorfologische ontwikkeling van het intergetijdengebied in de Westerschelde, Rapport R 95-3, Universiteit Utrecht, Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen, Vakgroep Fysische Geografie.
- Mol, G., A.M. van Berchum en G.M. Krijger, 1997. De toestand van de Westerschelde aan het begin van de Verdieping 48'/43', Beschrijving van trends in de fysische, biologische en chemische toestand, Rapport RIKZ-97.049.
- Thoolen, P., 2000. Rapport Z2934, in voorbereiding.

1. The first part of the document is a list of names and titles, including "The Hon. Mr. Justice" and "The Hon. Mr. Justice".



vergelijking plaatvolume
op niveau van plaatcomplexen

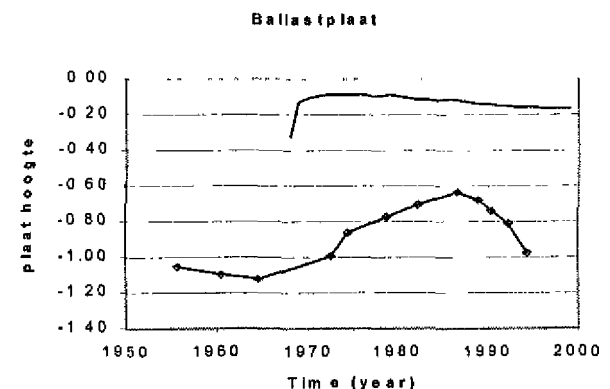
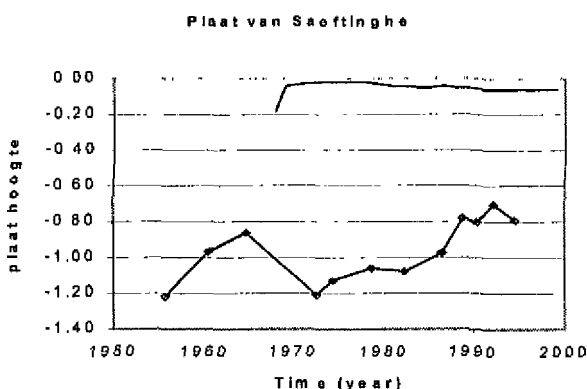
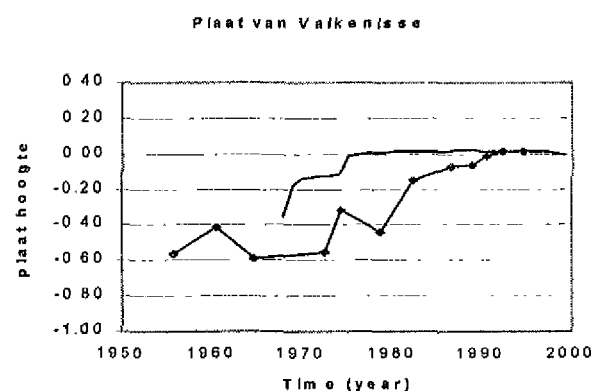
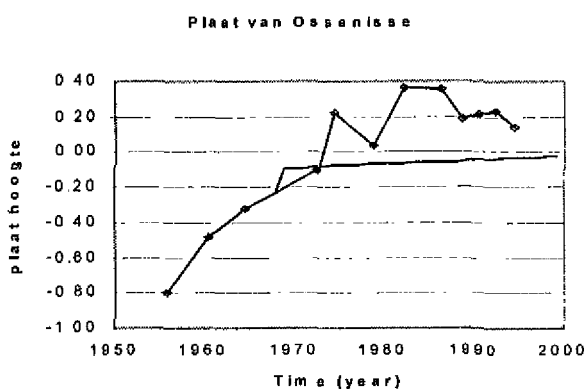
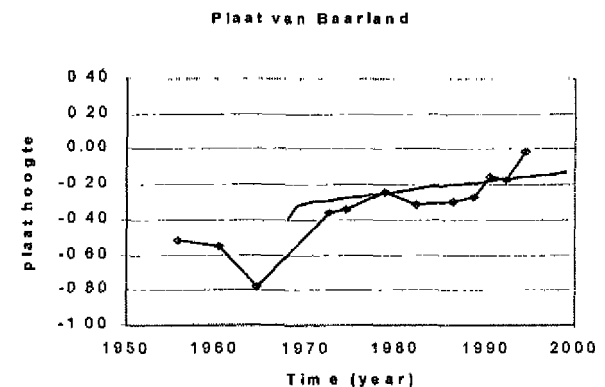
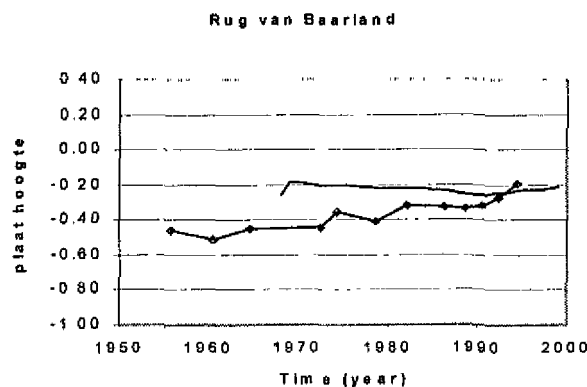
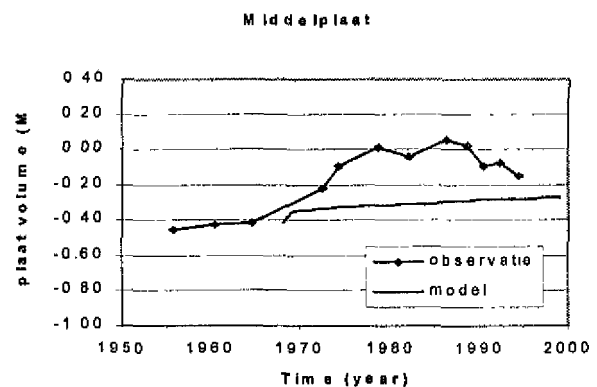
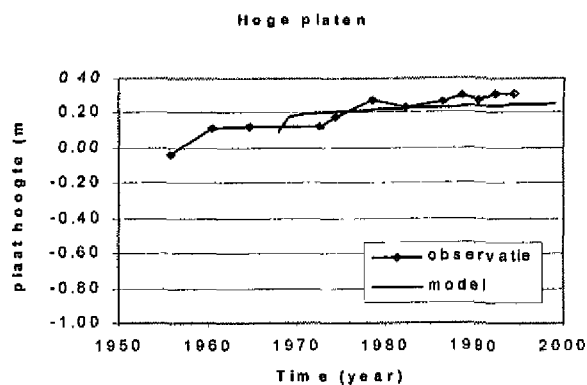
Z2776

juli

2000

WL | DELFT HYDRAULICS

Fig.2.1



vergelijking plaathoogte
op niveau van plaatcomplexen

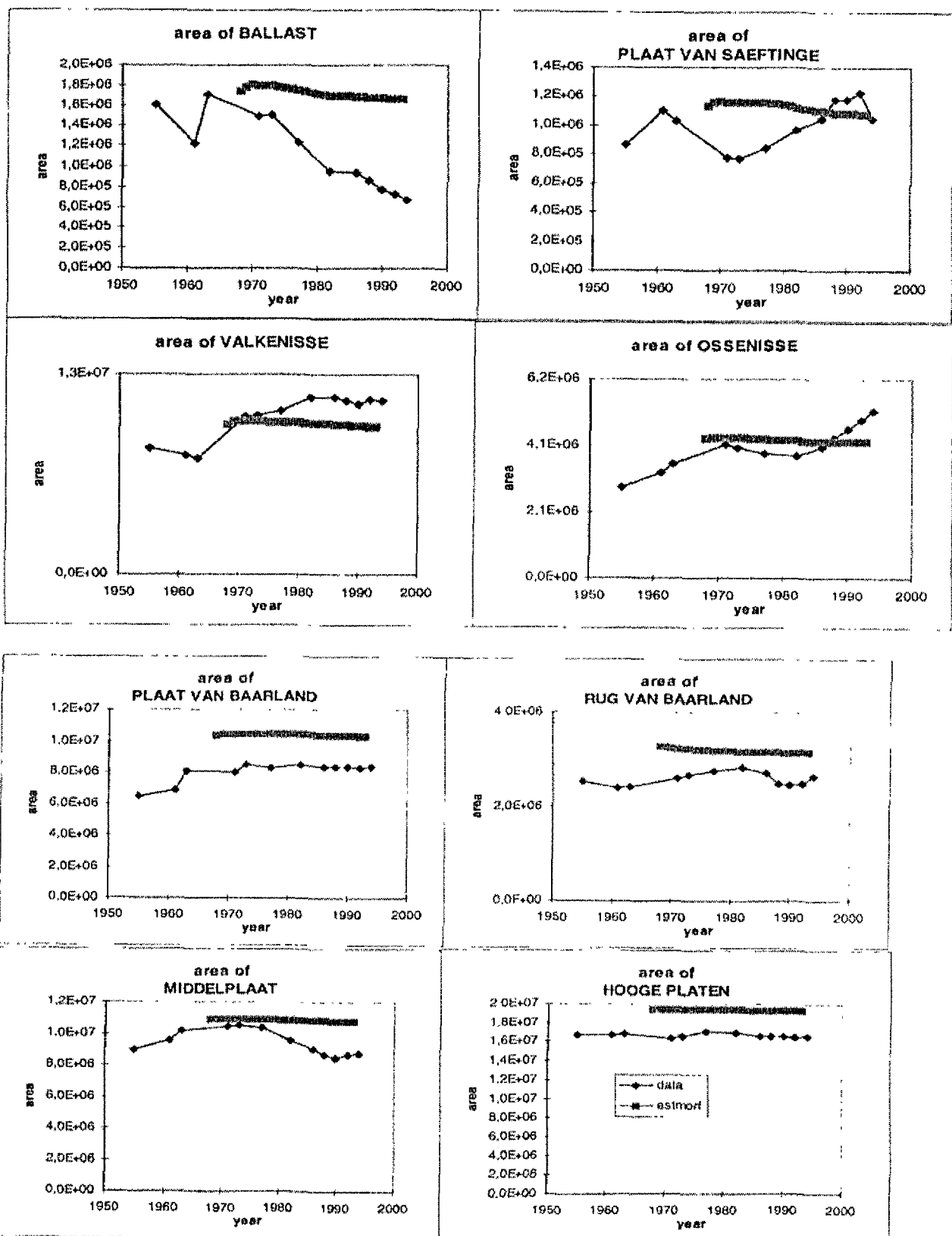
Z2776

juli

2000

WL | DELFT HYDRAULICS

Fig.2.2



Vergelijking voor de plaatareaal
voor verschillende plaatcomplexen
Calibratie run (Fokkink, 1998b)

Z2776

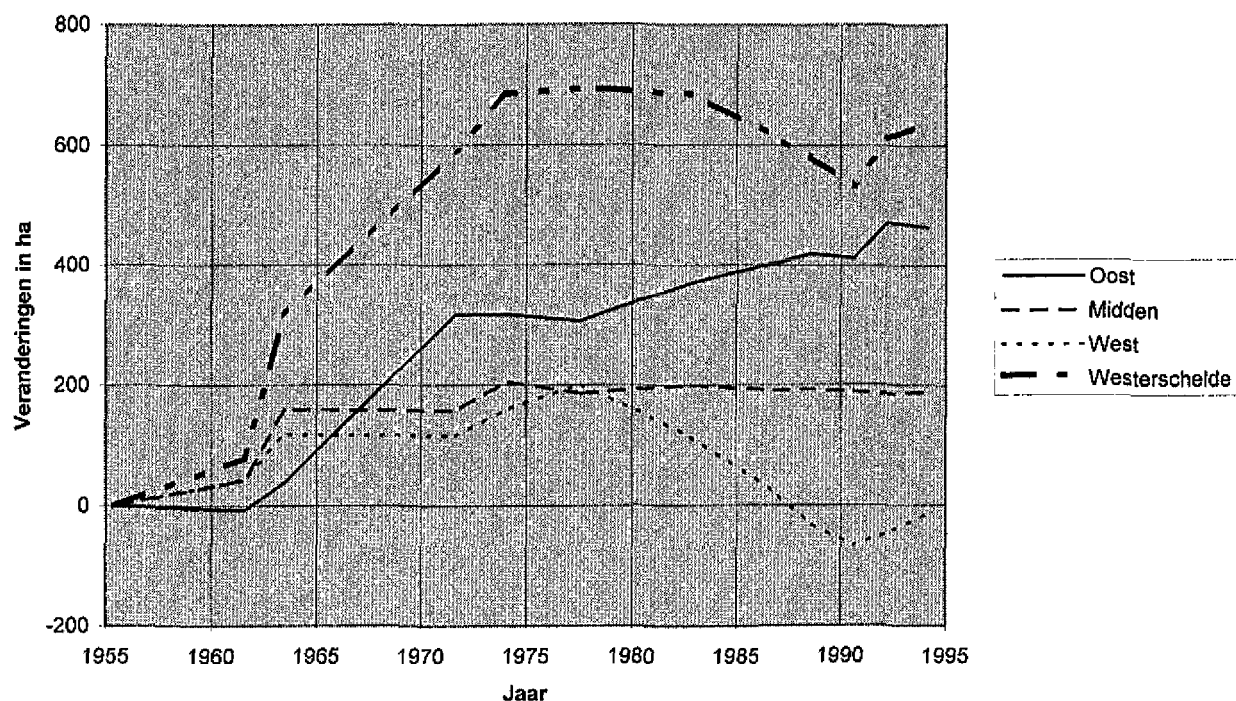
Juli

2000

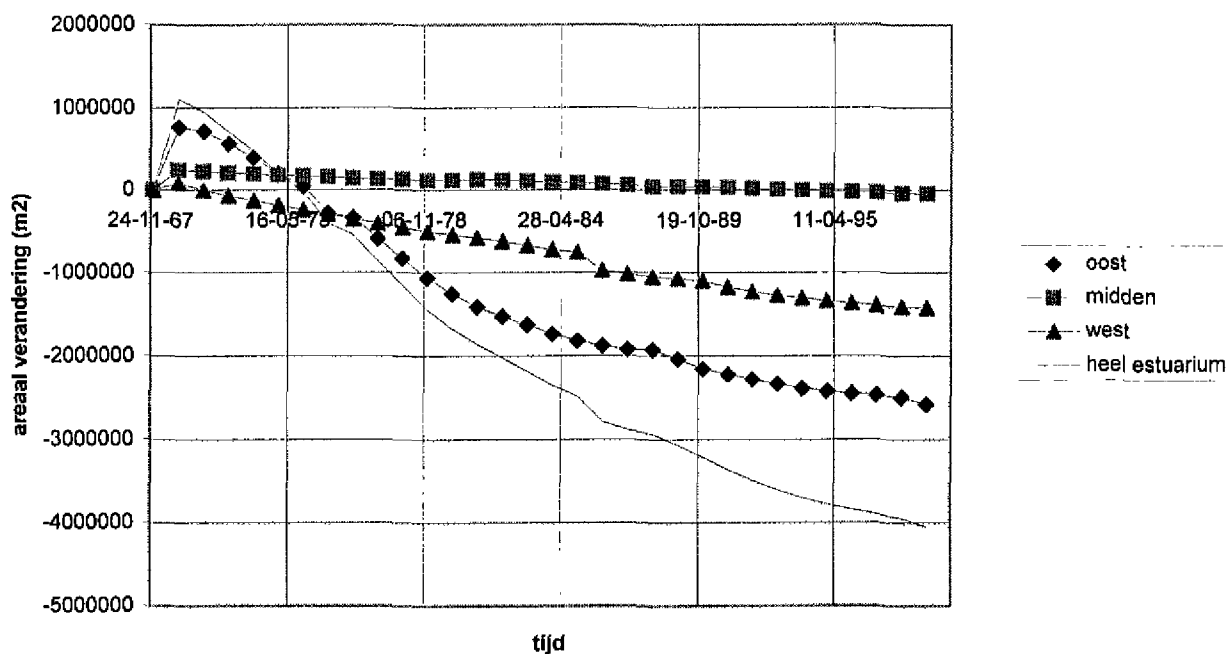
WL | DELFT HYDRAULICS

Fig.2.3

Areaalveranderingen Platen boven NAP-2m t.o.v. 1955



verandering plaatareaal



Vergelijking voor de plaatareaal
in de verschillende delen van het estuarium
Calibratie run

Z2776

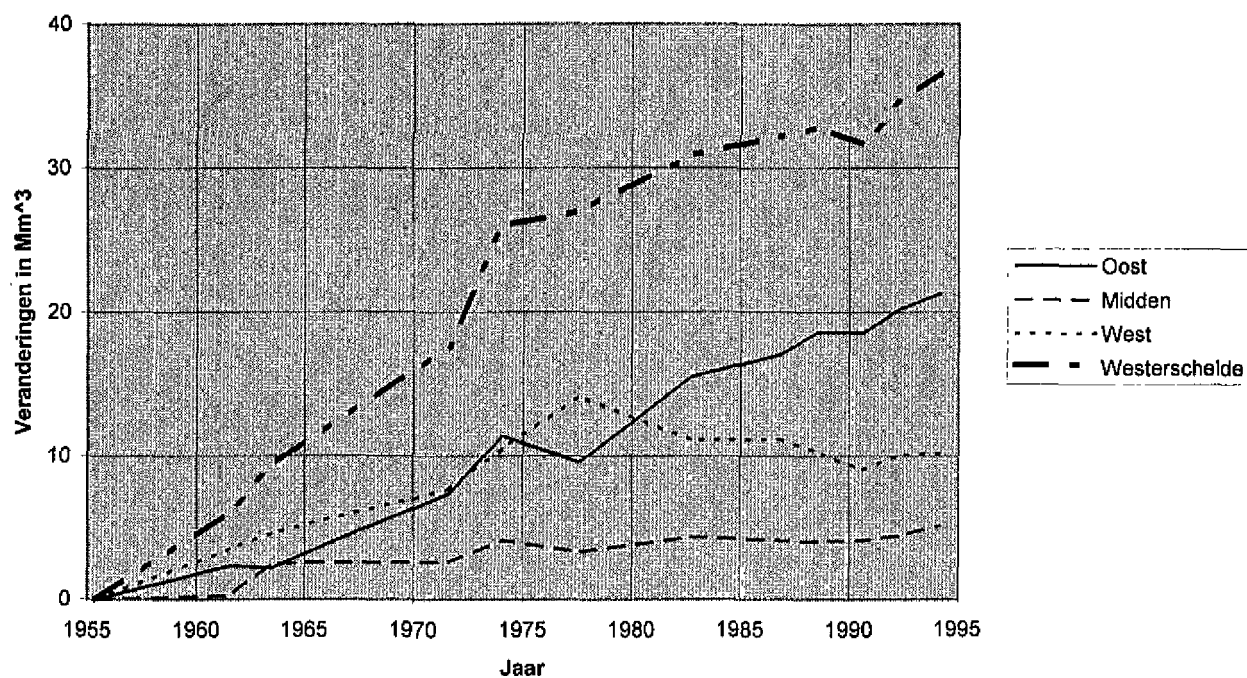
Juli

2000

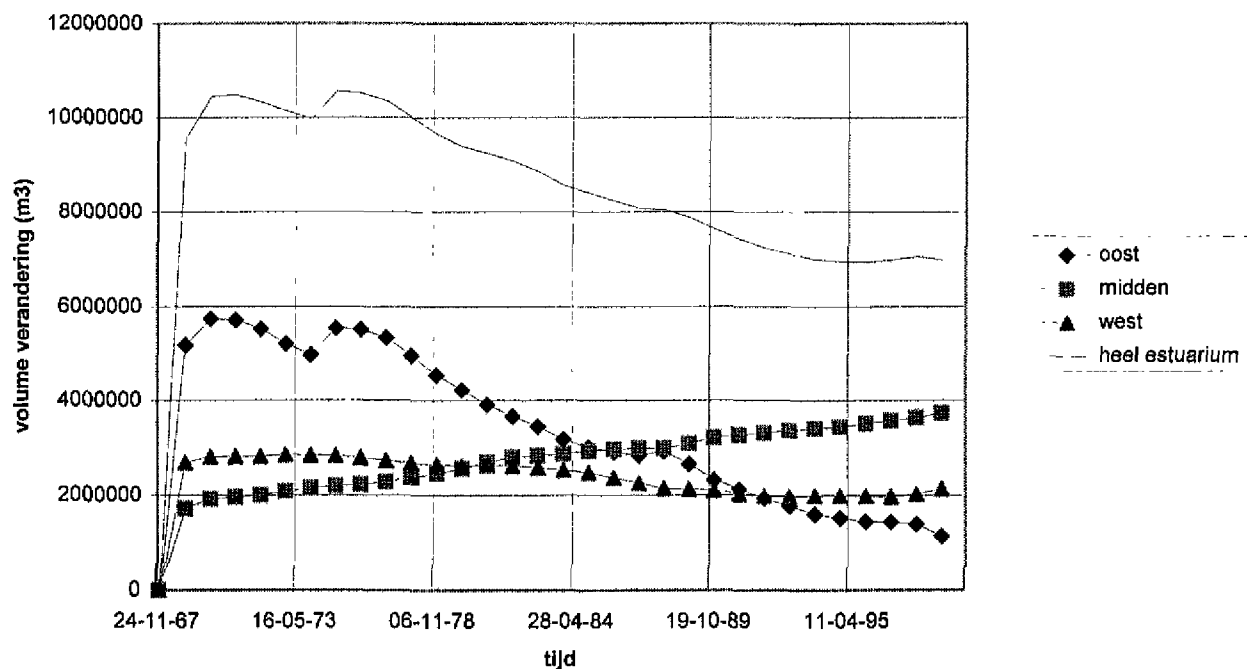
WL | DELFT HYDRAULICS

Fig.2.4

Volumeveranderingen Platen boven NAP-2m t.o.v. 1955



Berekende verandering plaat volume



Vergelijking voor het plaatvolume
in de verschillende delen van het estuarium
Calibratie run

Z2776

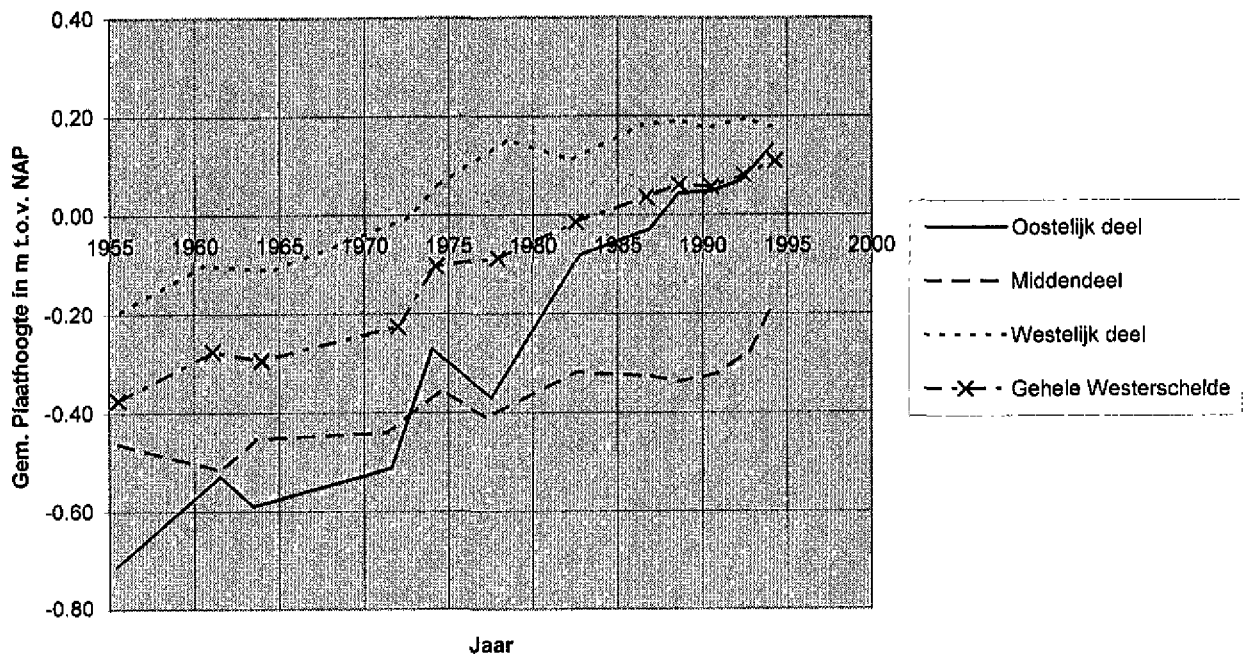
Juli

2000

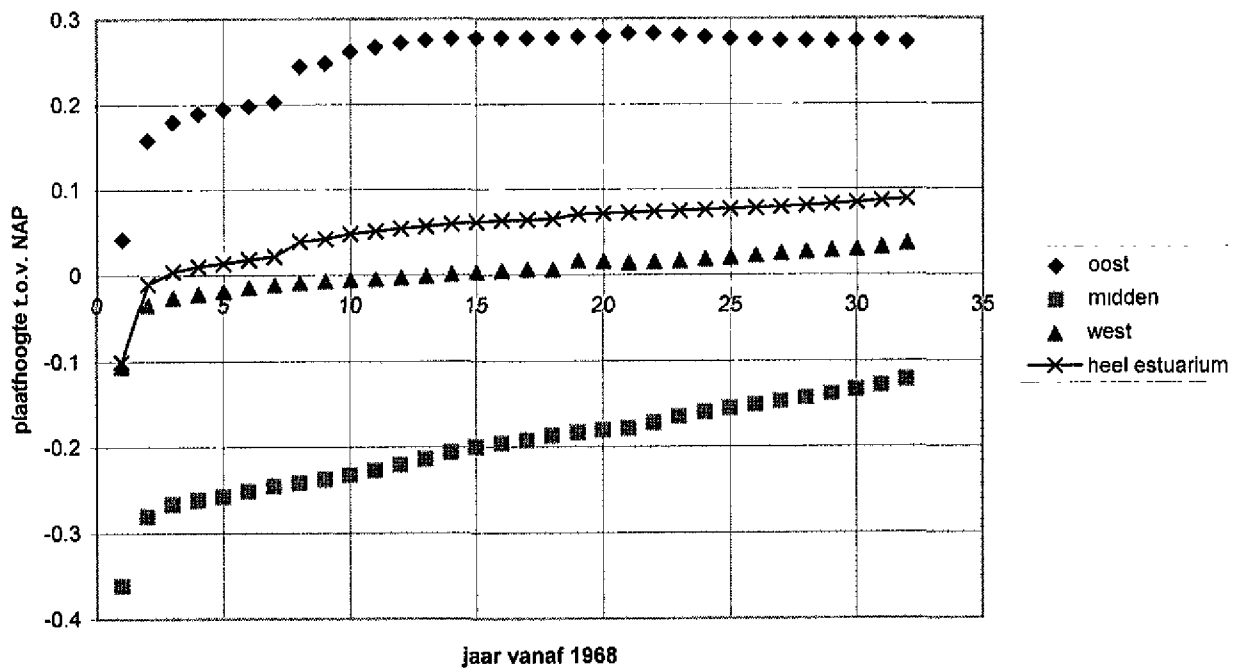
WL | DELFT HYDRAULICS

Fig.2.5

Verloop gemiddelde Plaathoogte



plaat hoogte



Vergelijking voor de plaathoogte
in de verschillende delen
Calibratie run

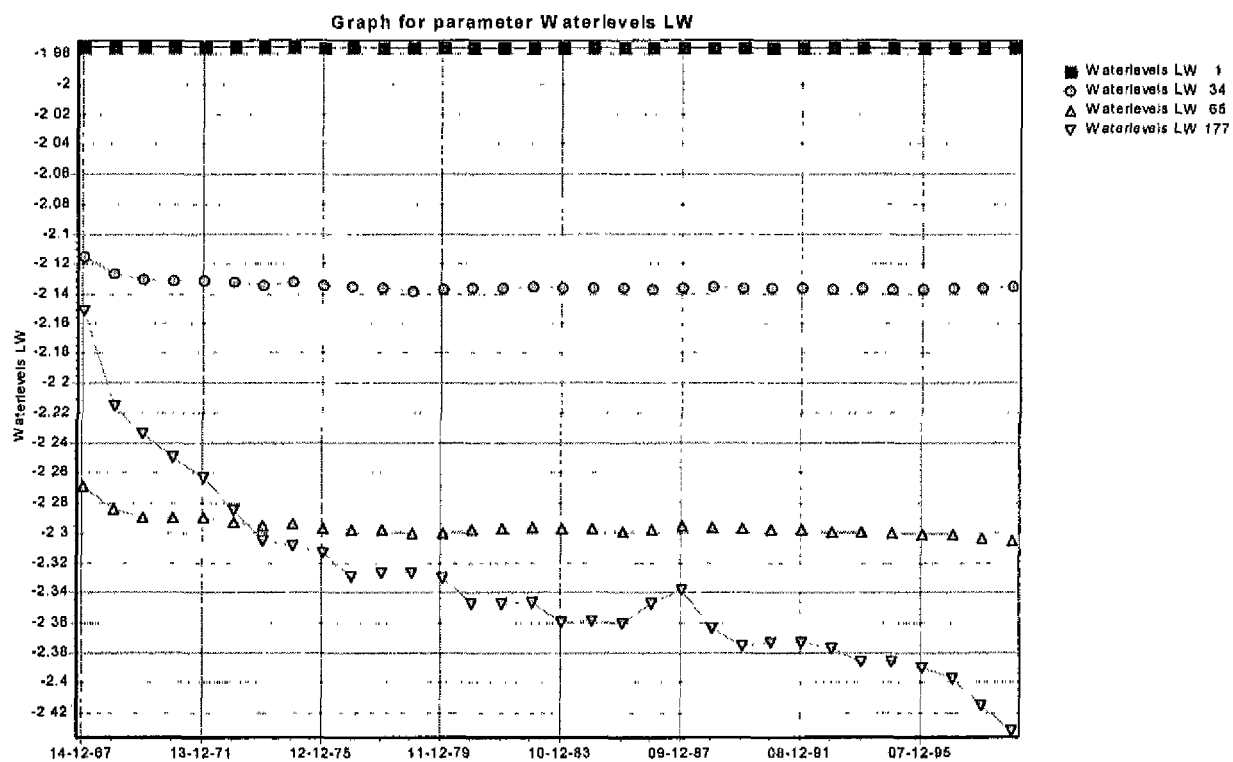
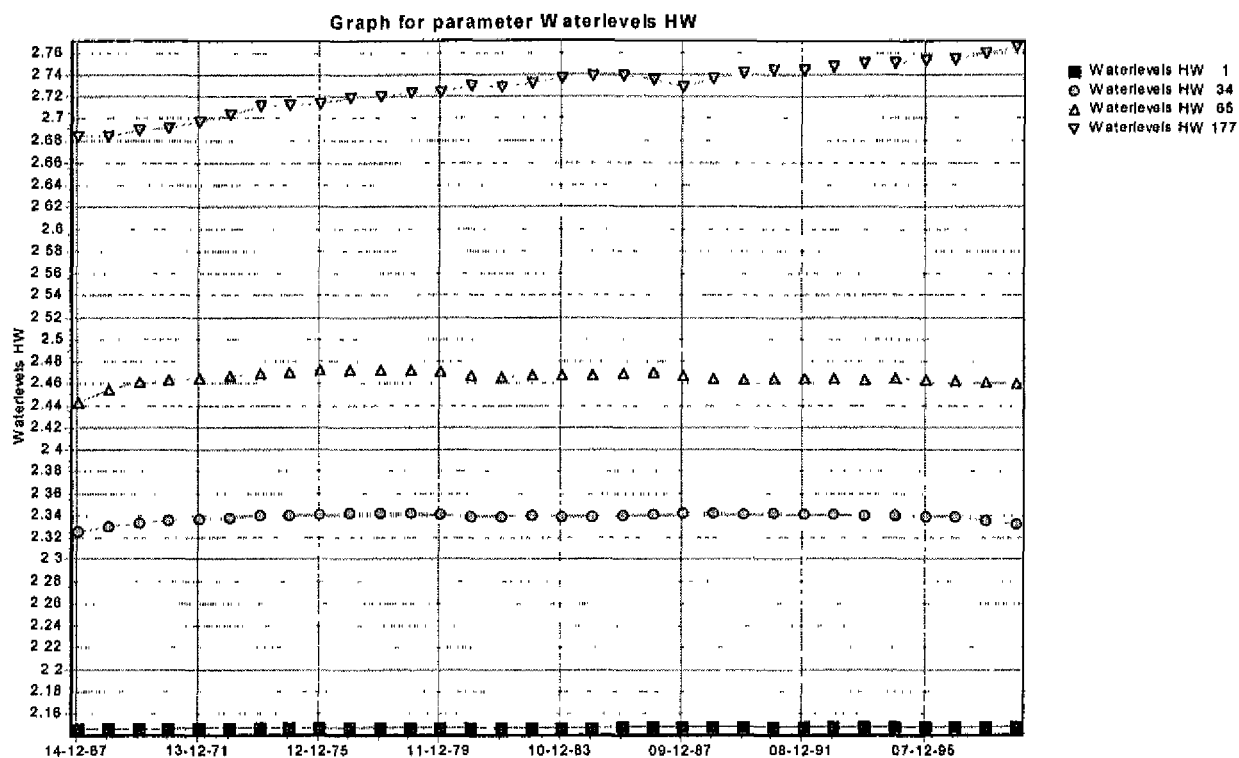
Z2776

Juli

2000

WL | DELFT HYDRAULICS

Fig.2.6



Berekende hoog- en laagwater
bij Vlissingen, Terneuzen, Hansweert en Bath
Calibratie run

Z2776

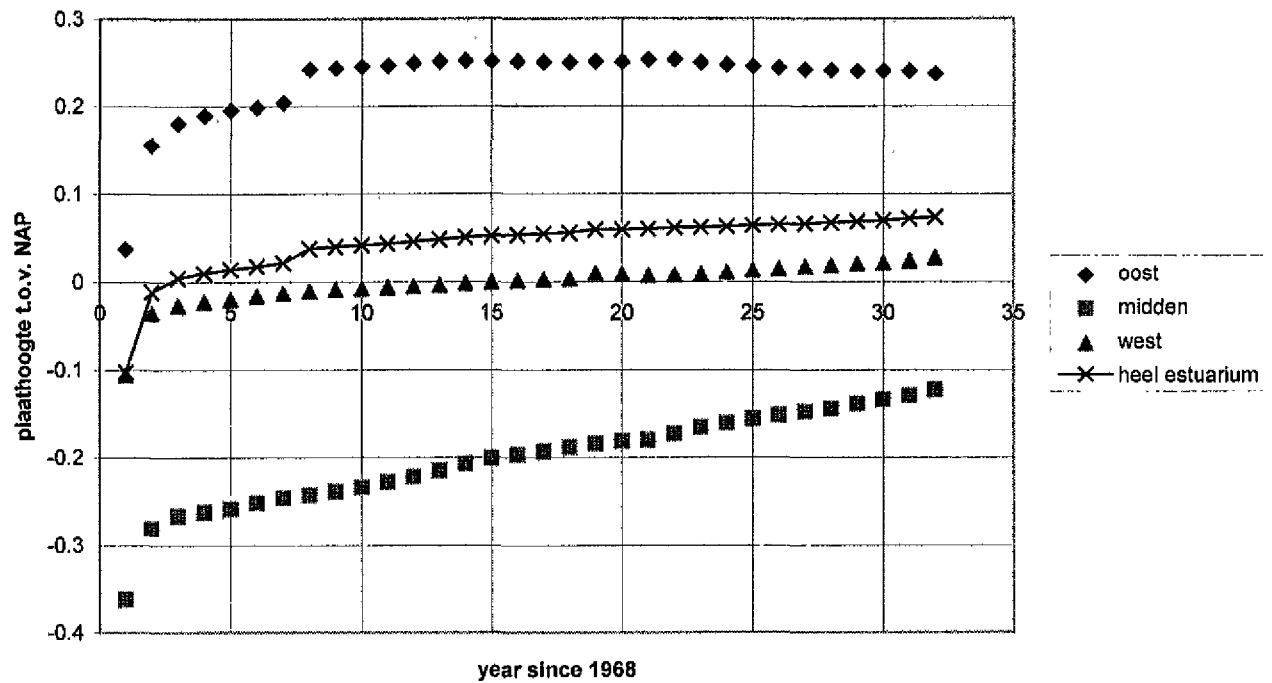
juli

2000

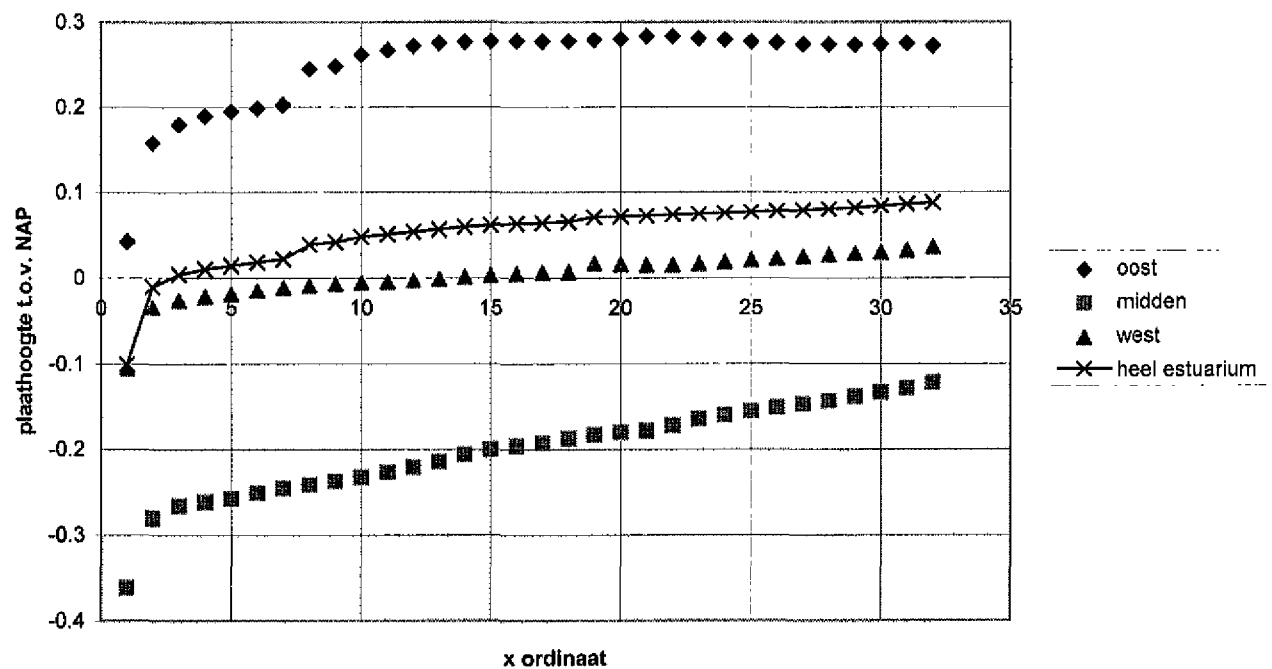
WL | DELFT HYDRAULICS

Fig.2.7

aanvullende run 1



calibratie run



Plaathoogte uit aanvullende run I (boven)
vergeleken met calibratie run (onder)
Zonder afstemmingen aan het begin

Z2776

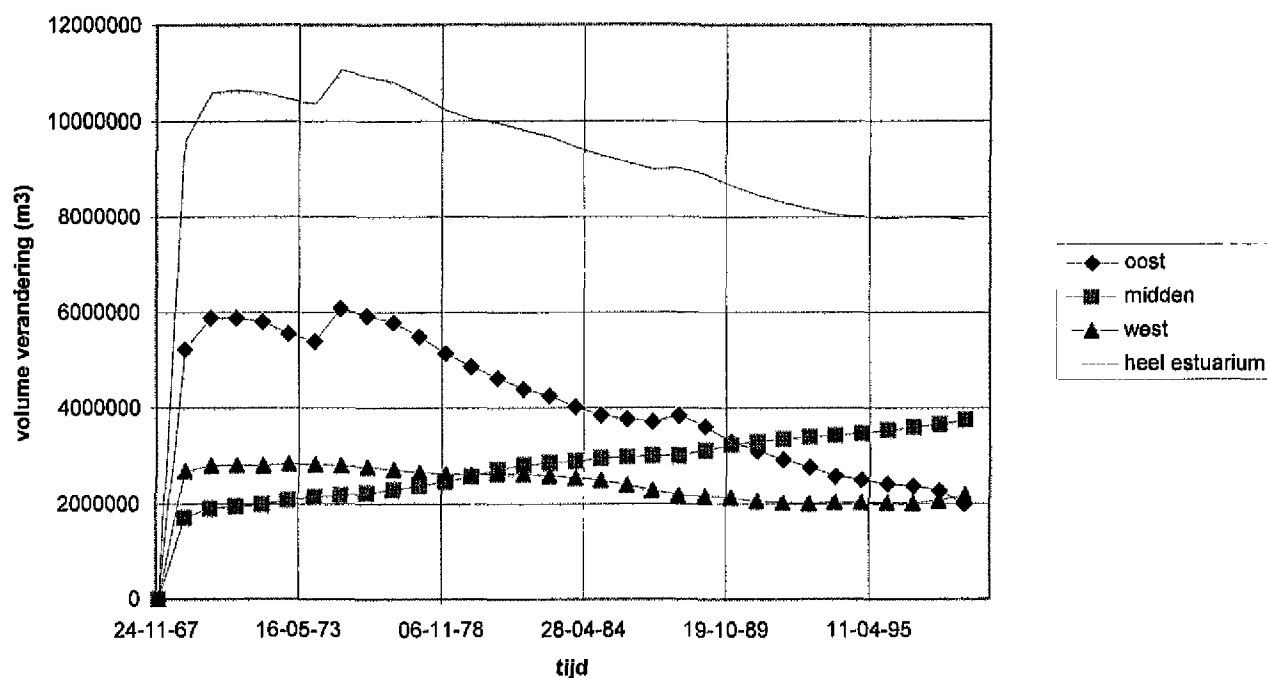
juli

2000

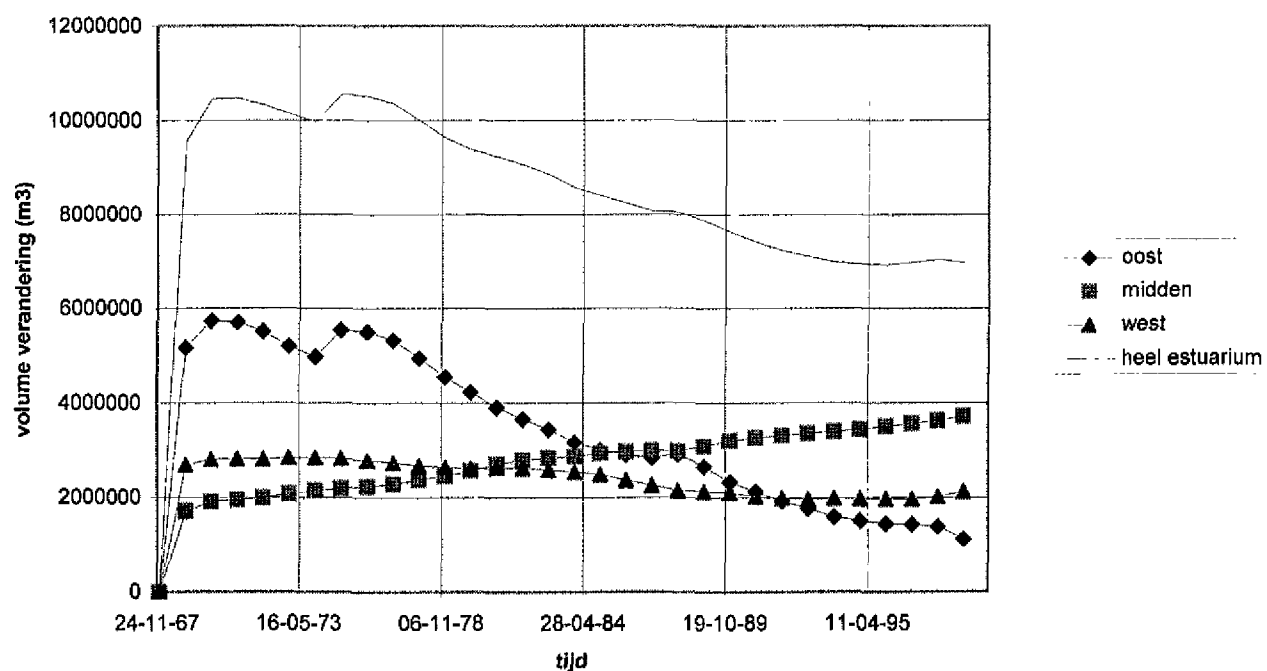
WL | DELFT HYDRAULICS

Fig.2.8a

aanvullende run 1



Calibratie run



Plaatvolume uit aanvullende run I (boven)
vergeleken met calibratie run (onder)
Zonder afstemmingen aan het begin

Z2776

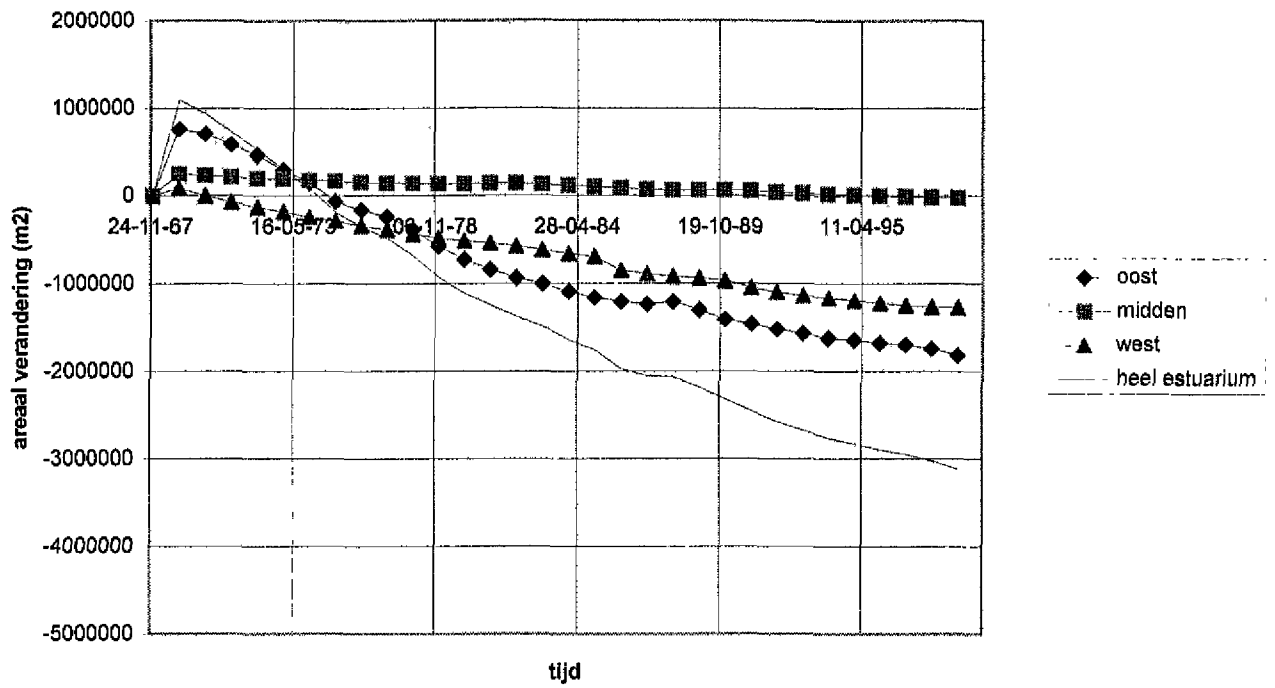
juli

2000

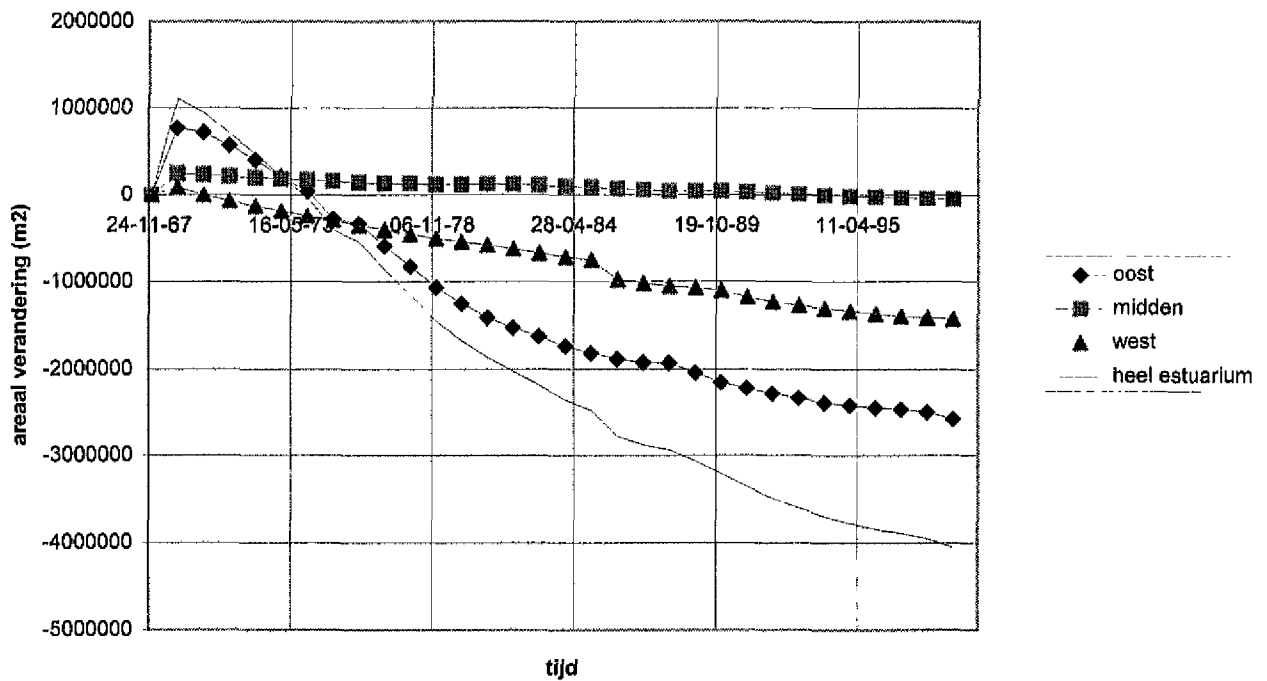
WL | DELFT HYDRAULICS

Fig.2.8b

aanvullende run 1



calibratie run



Plaatareaal uit aanvullende run 1 (boven)
vergeleken met calibratie run (onder)
Zonder afstemmingen aan het begin

Z2776

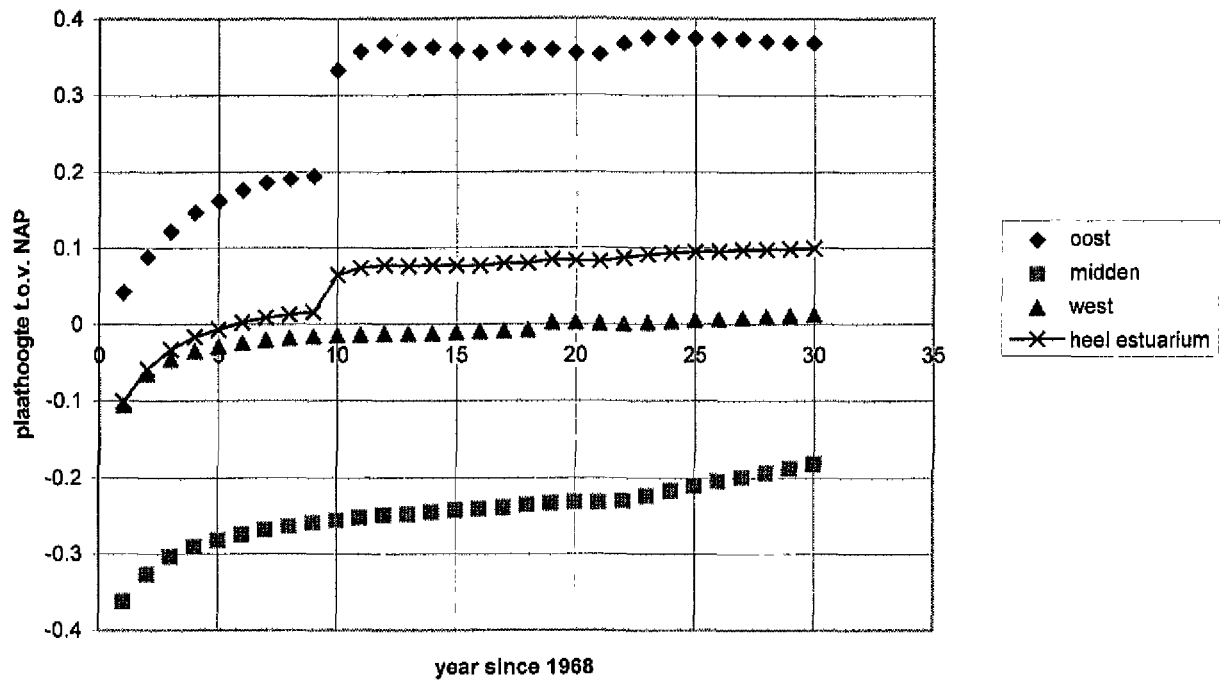
juli

2000

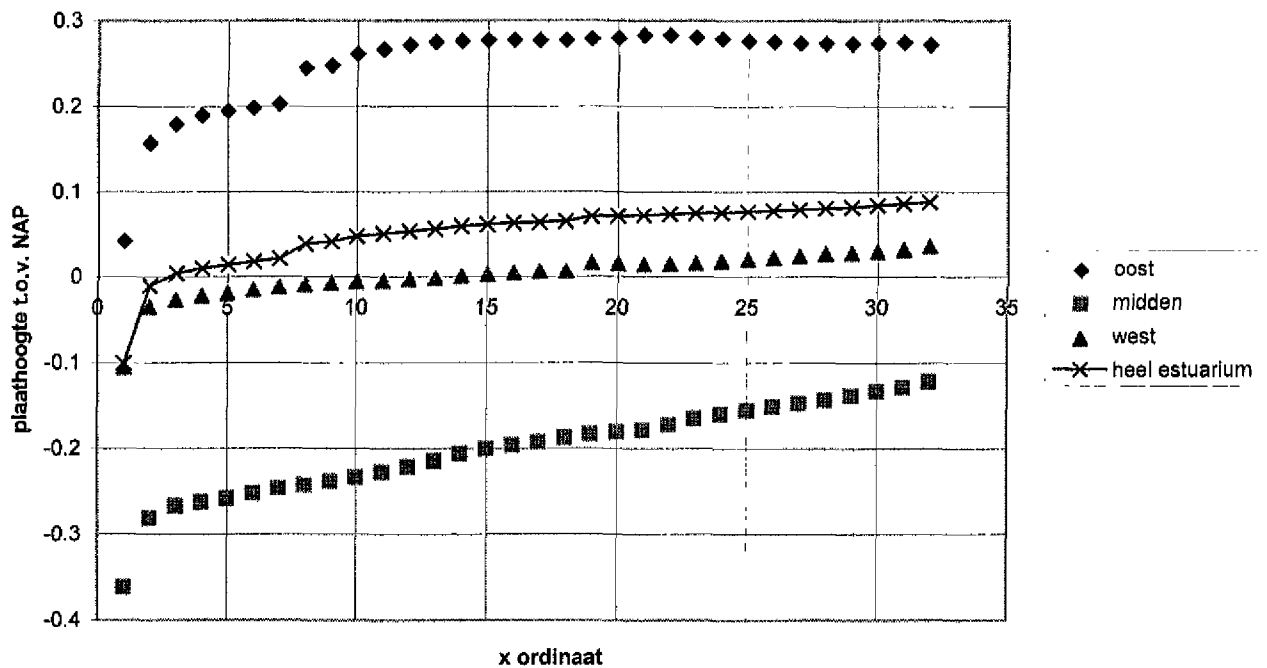
WL | DELFT HYDRAULICS

Fig.2.8c

aanvullende run 4



calibratie run



Plaathoogte uit aanvullende run 4 (boven)
vergeleken met calibratie run (onder)
Kleinere morfologische tijdschaal voor platen

Z2776

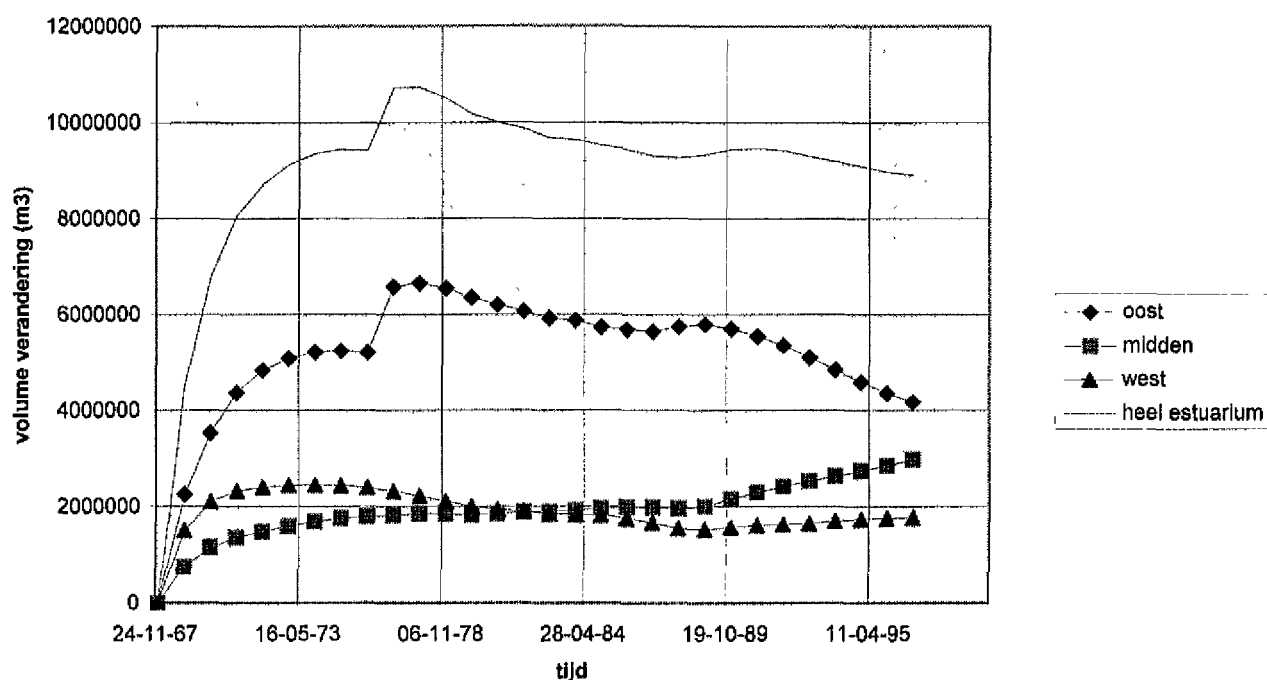
juli

2000

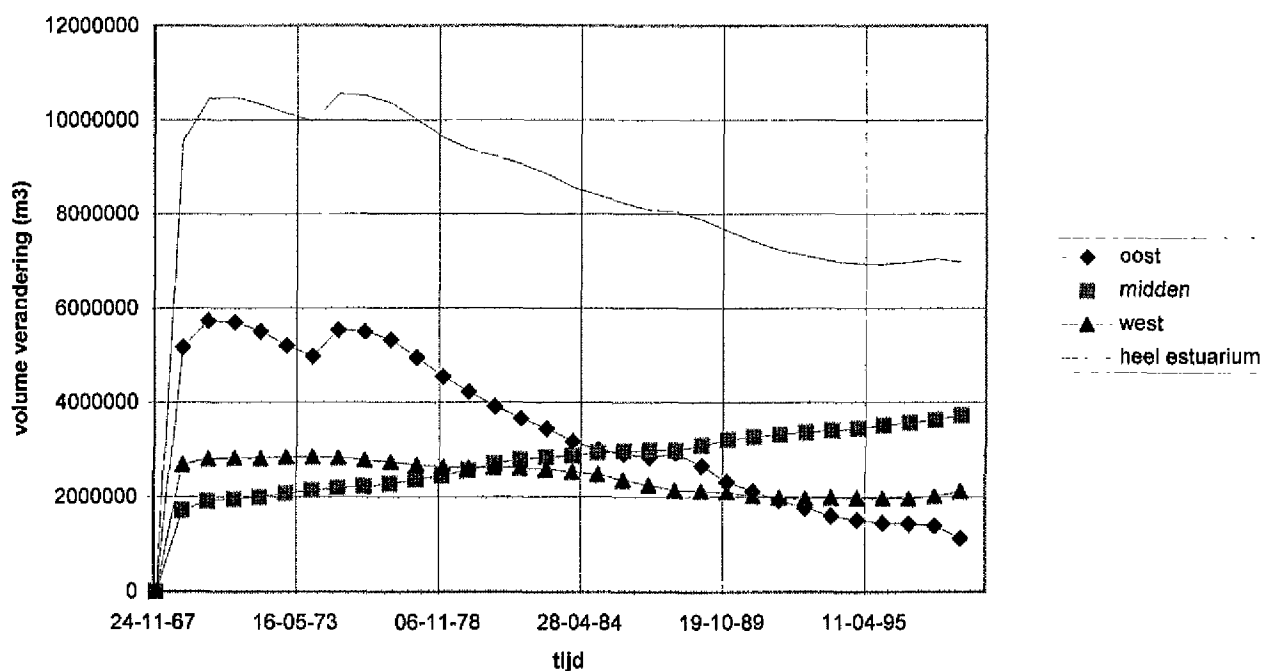
WL | DELFT HYDRAULICS

Fig.2.9a

aanvullende run 4



Calibratie run



Plaatvolume uit aanvullende run 4 (boven)
vergeleken met calibratie run (onder)
Kleinere morfologische tijdschaal voor platen

Z2776

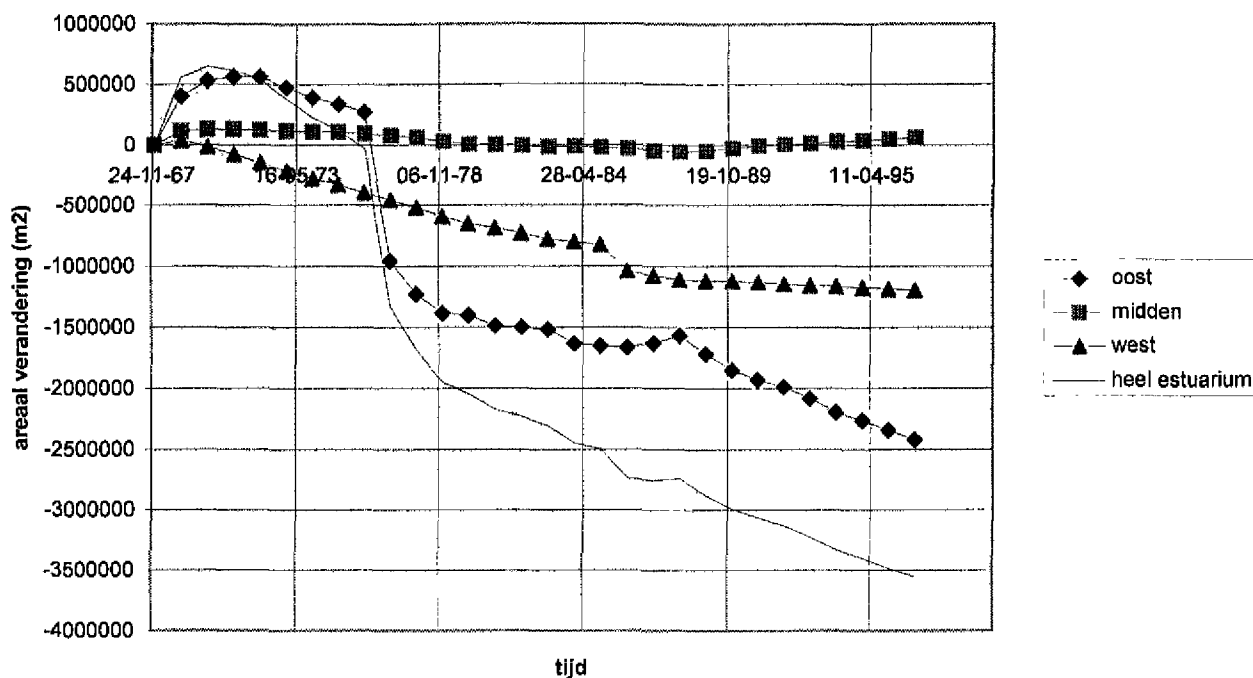
juli

2000

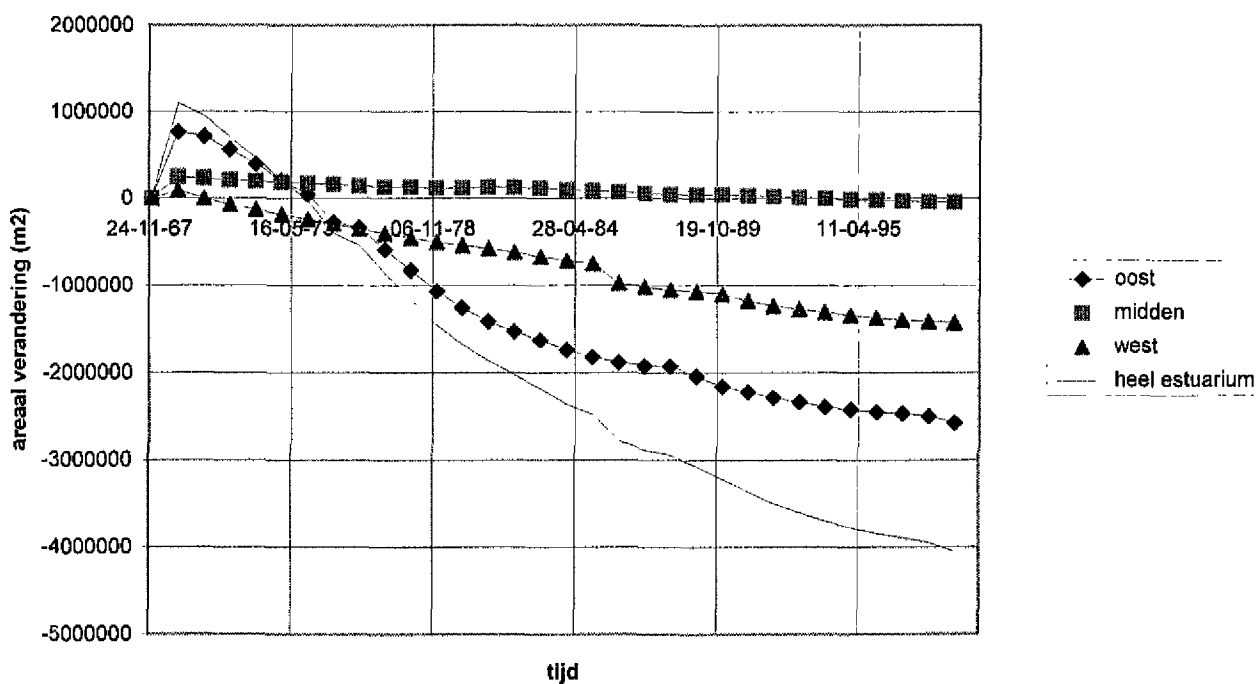
WL | DELFT HYDRAULICS

Fig.2.9b

aanvullende run 4



calibratie run



Plaatareaal uit aanvullende run 4 (boven)
vergeleken met calibratie run (onder)
Kleinere morfologische tijdschaal voor platen

Z2776

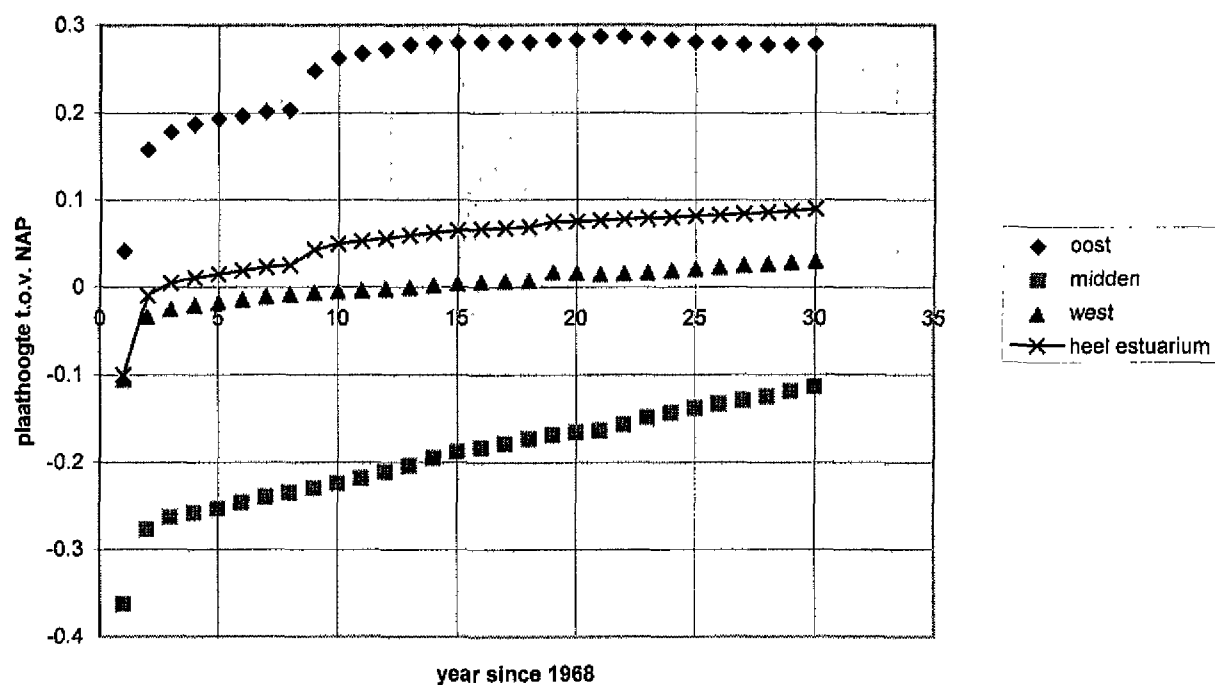
juli

2000

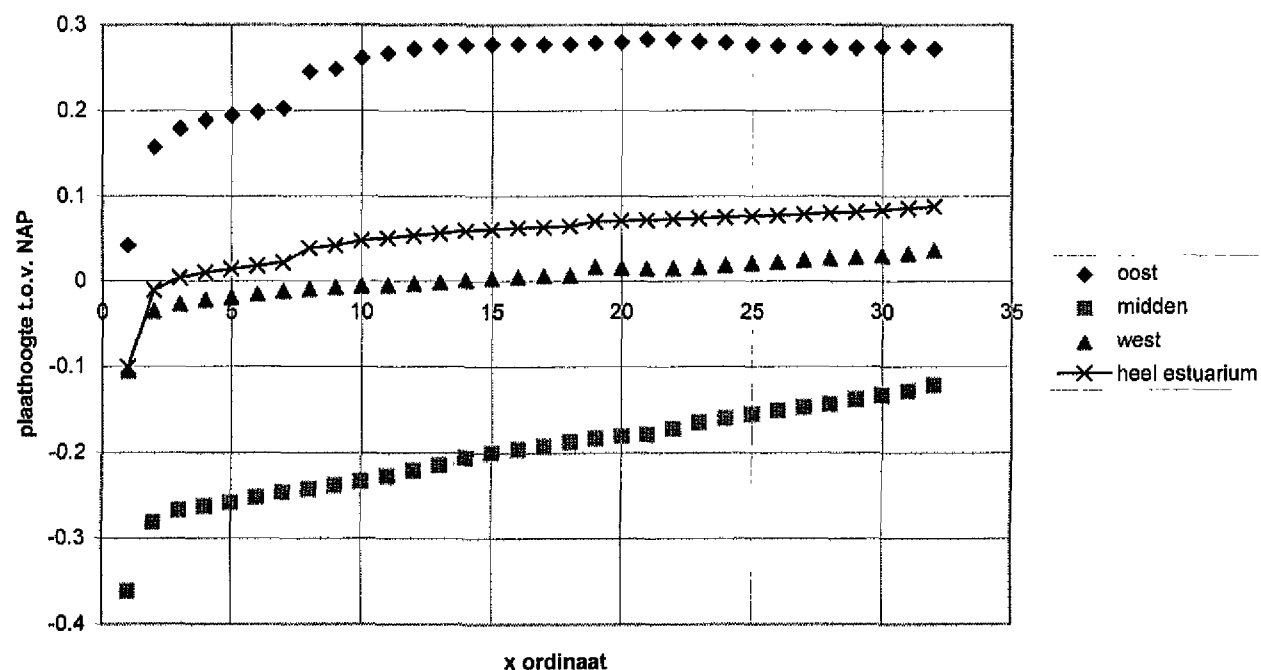
WL | DELFT HYDRAULICS

Fig.2.9c

aanvullende run 2



calibratie run



Plaathoogte uit aanvullende run 2 (boven)
vergeleken met calibratie run (onder)
Zonder onnodig vastleggen van vakken

Z2776

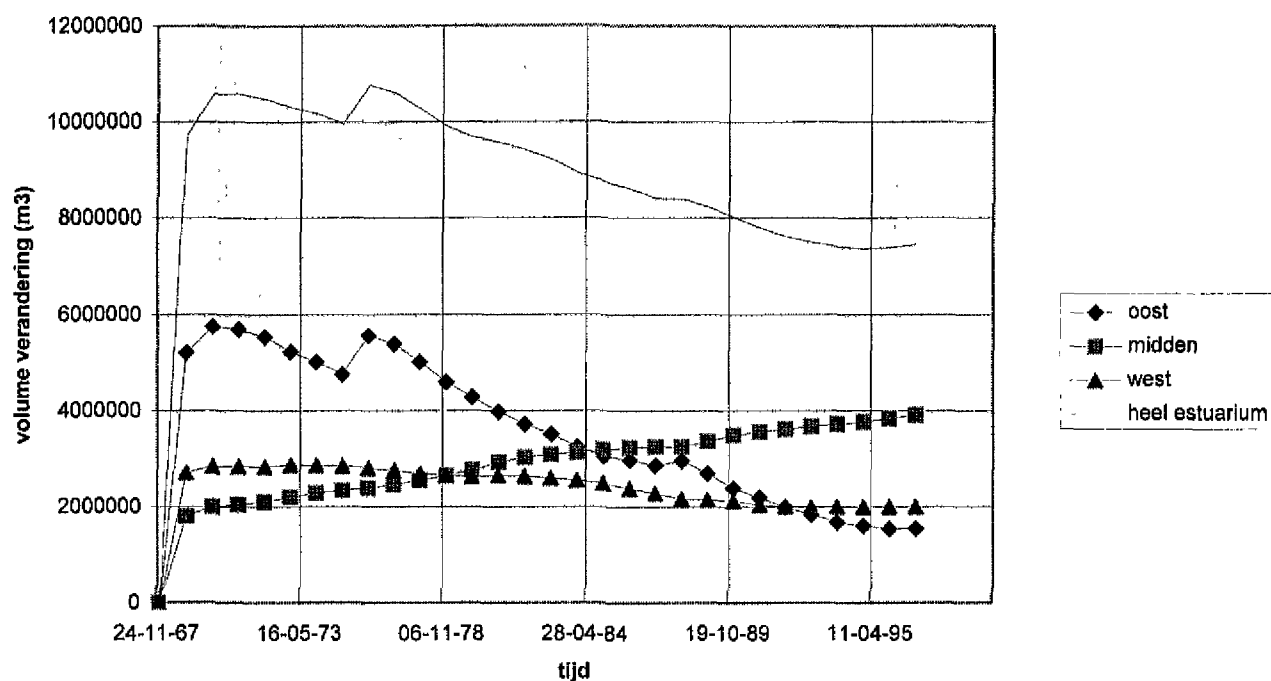
juli

2000

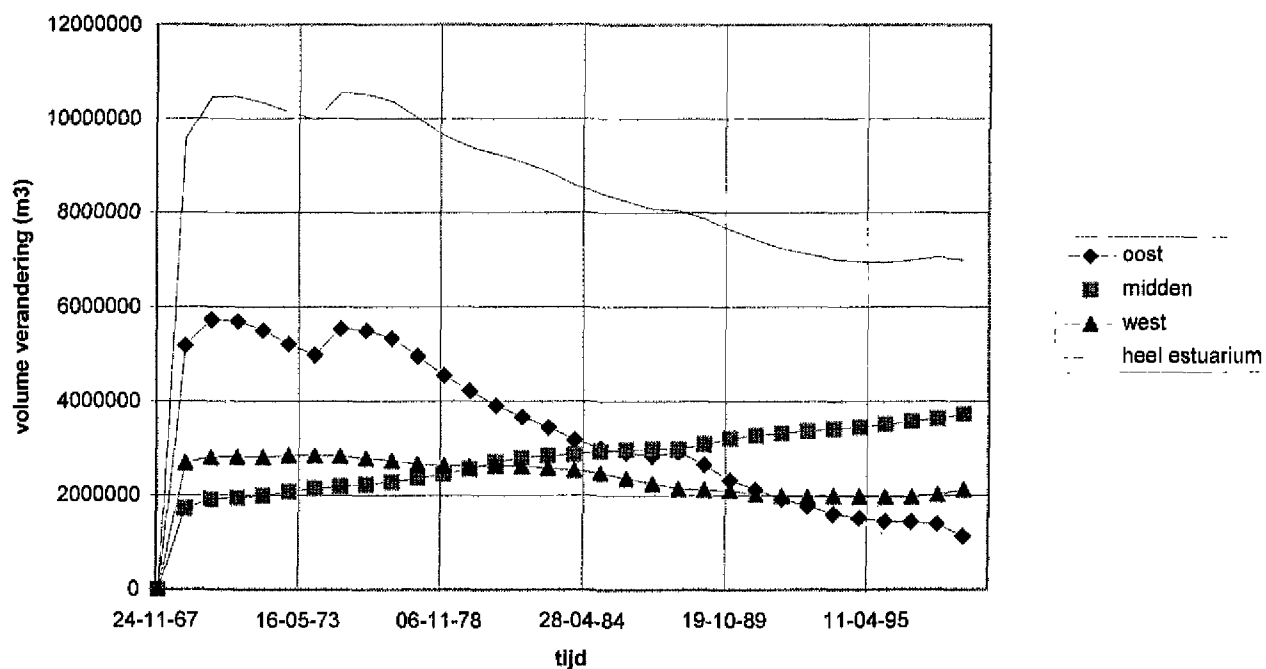
WL | DELFT HYDRAULICS

Fig.2.10a

aanvullende run 2



Calibratie run



Plaatvolume uit aanvullende run 2 (boven)
vergeleken met calibratie run (onder)
Zonder onnodig vastleggen van vakken

Z2776

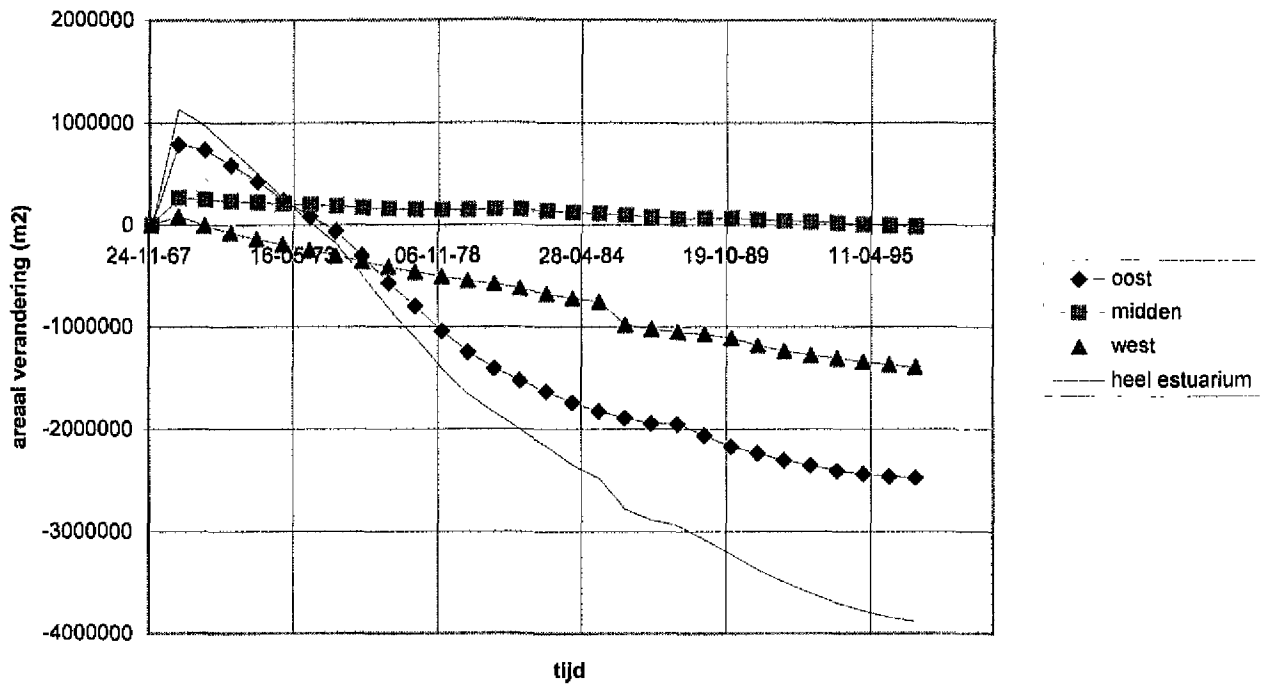
juli

2000

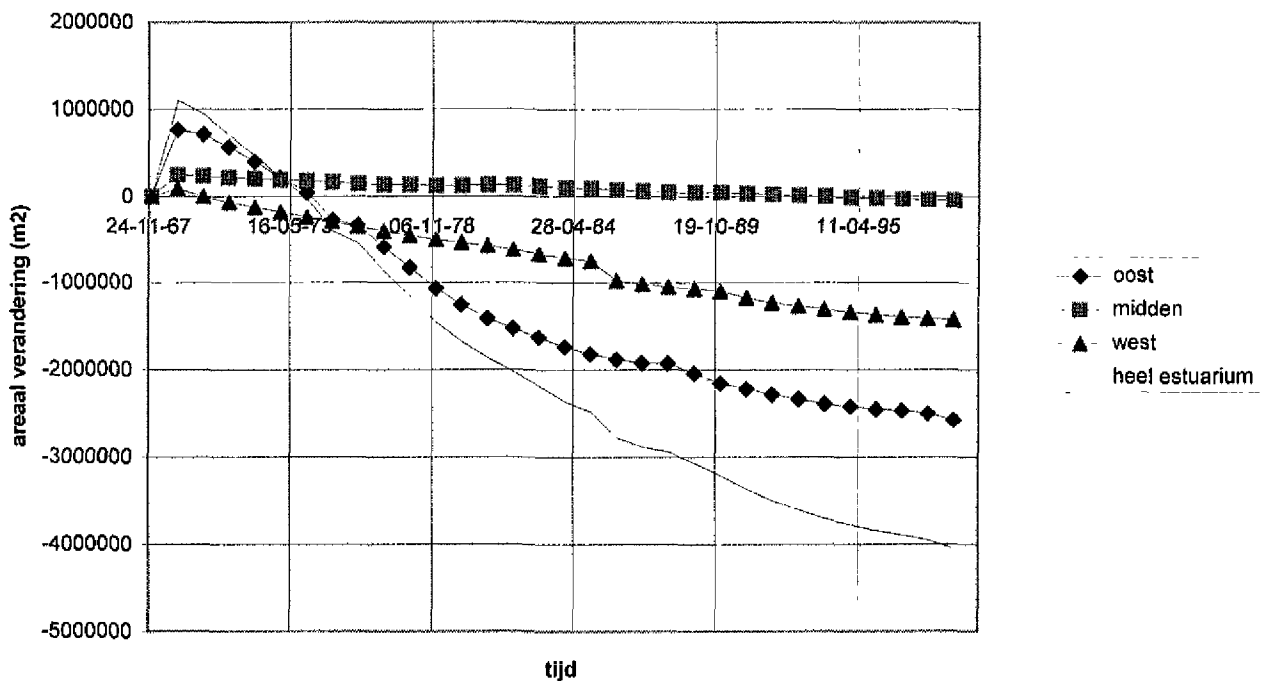
WL | DELFT HYDRAULICS

Fig.2.10b

aanvullende run 2



calibratie run



Plaatareaal uit aanvullende run 2 (boven)
vergeleken met calibratie run (onder)
Zonder onnodig vastleggen van vakken

Z2776

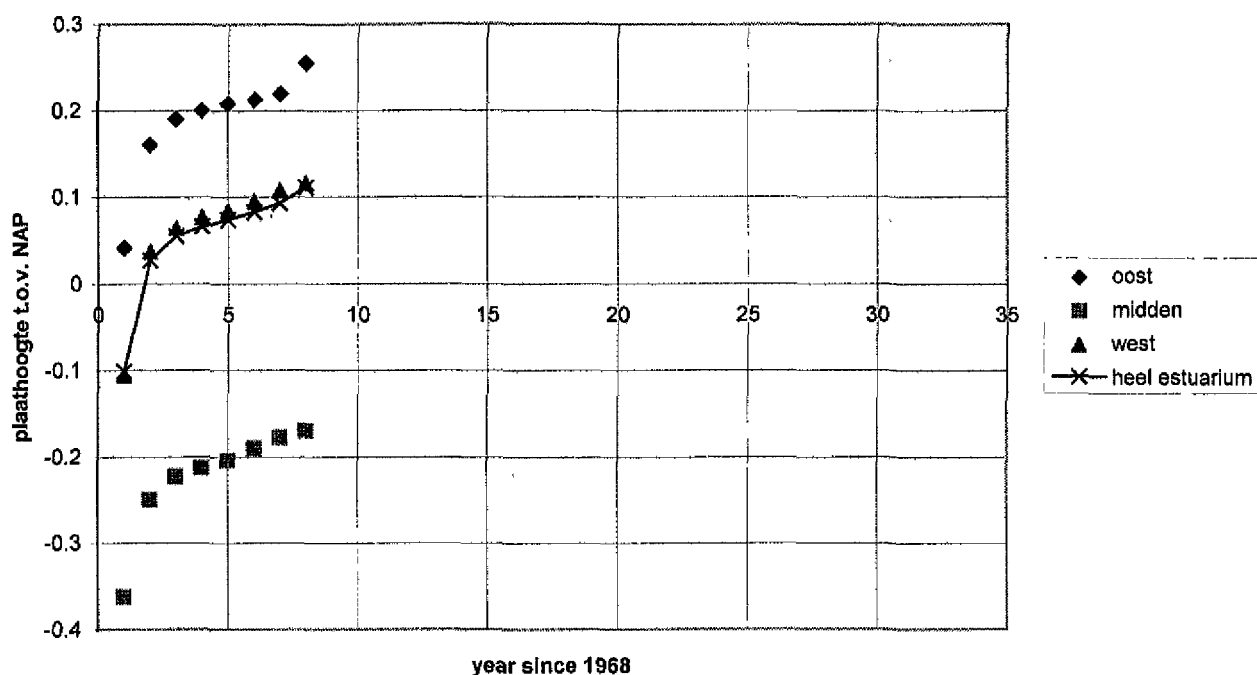
juli

2000

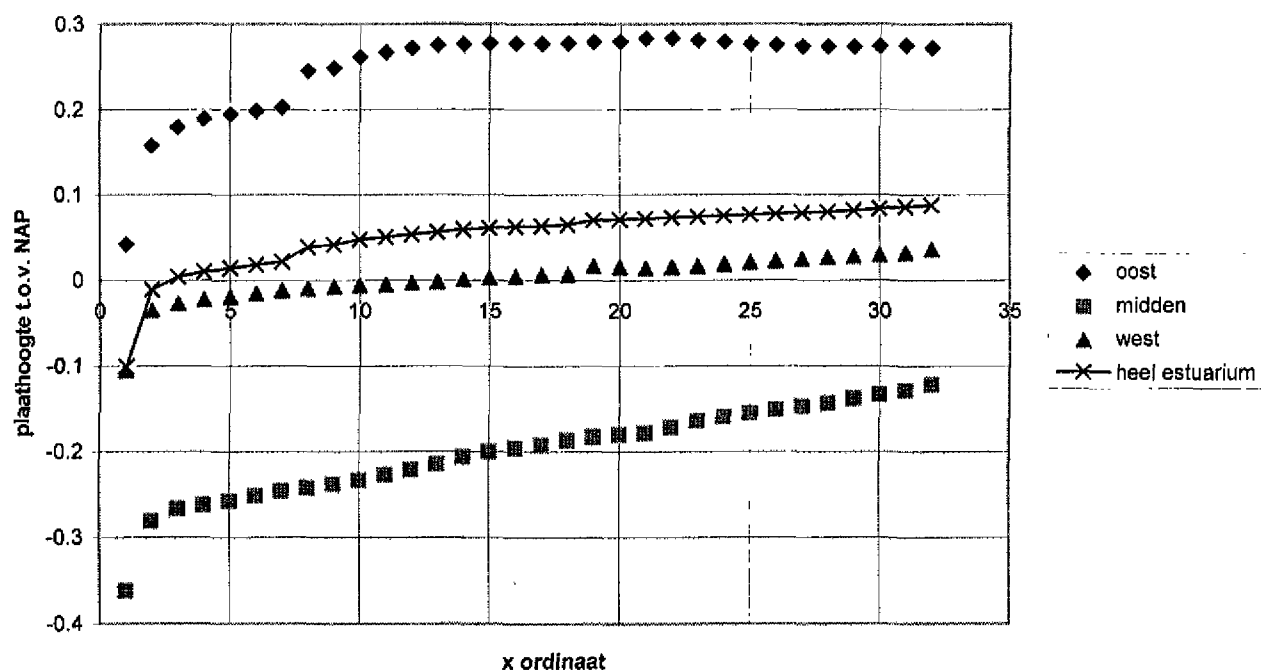
WL | DELFT HYDRAULICS

Fig.2.10c

aanvullende run 3



calibratie run



Plaathoogte uit aanvullende run 3 (boven)
vergeleken met calibratie run (onder)
Gebruik waterstand bij Bath voor evenwichtsrelatie

Z2776

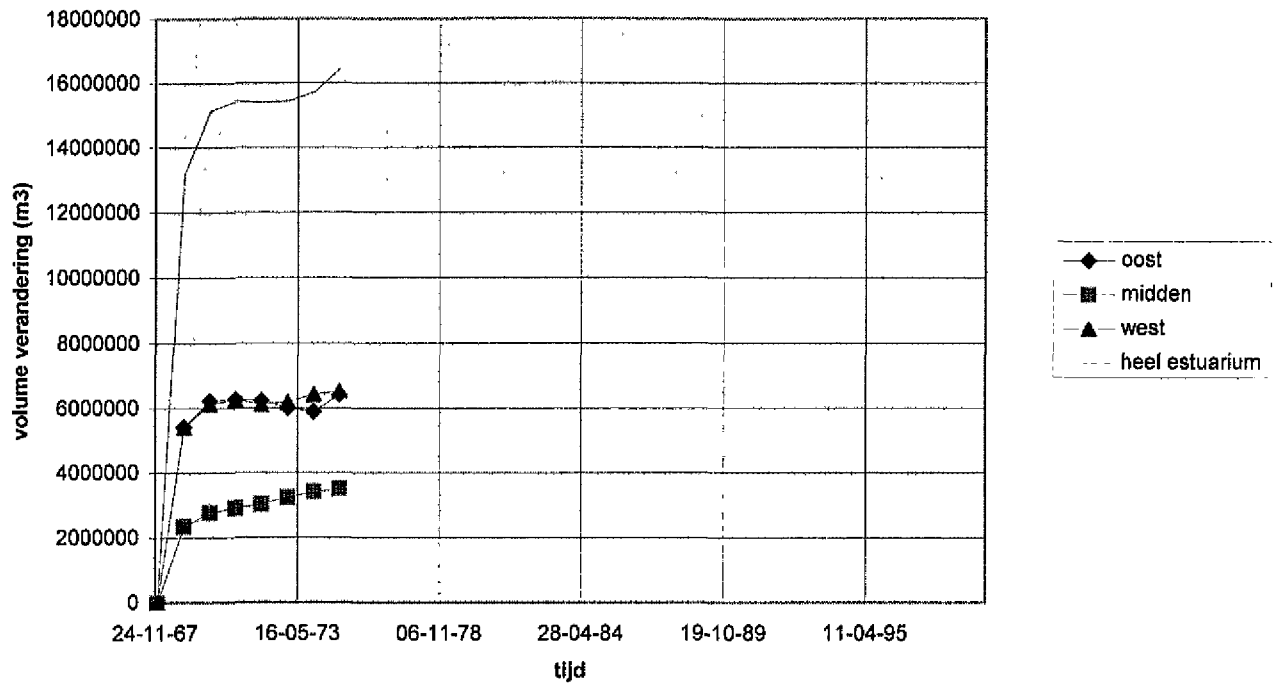
juli

2000

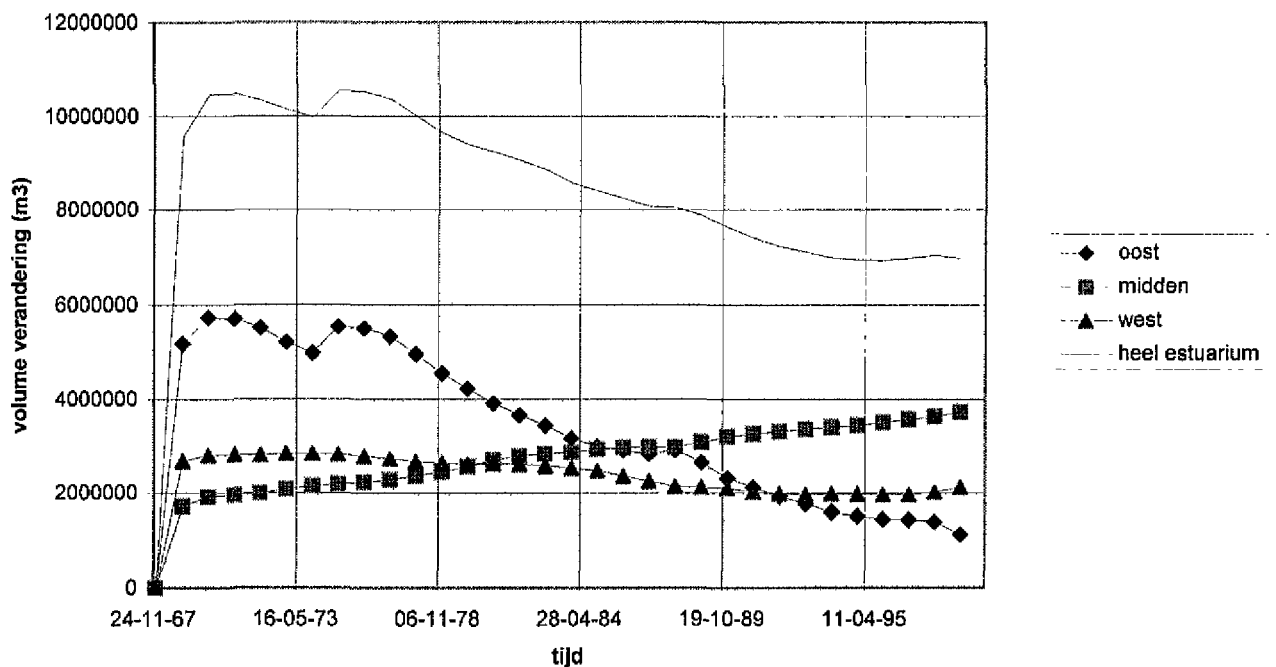
WL | DELFT HYDRAULICS

Fig.2.11a

aanvullende run 3



Calibratie run



Plaatvolume uit aanvullende run 3 (boven)
vergeleken met calibratie run (onder)
gebruik waterstand bij Bath voor evenwichtsrelatie

Z2776

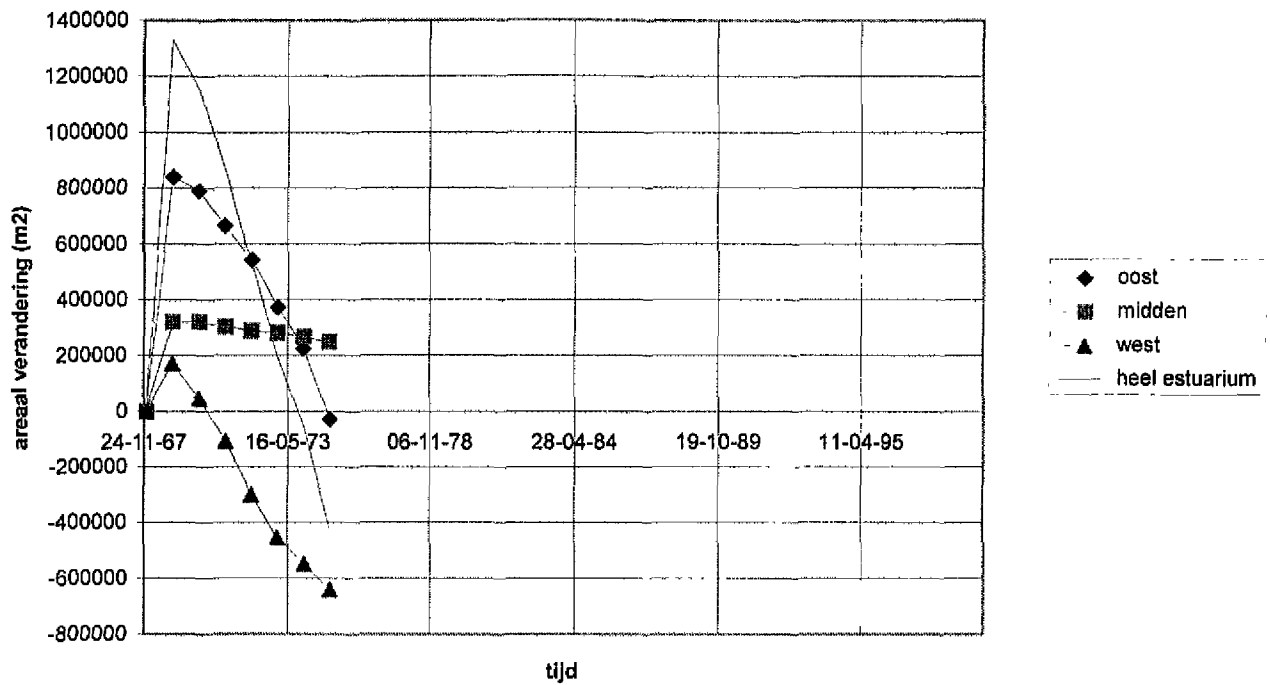
juli

2000

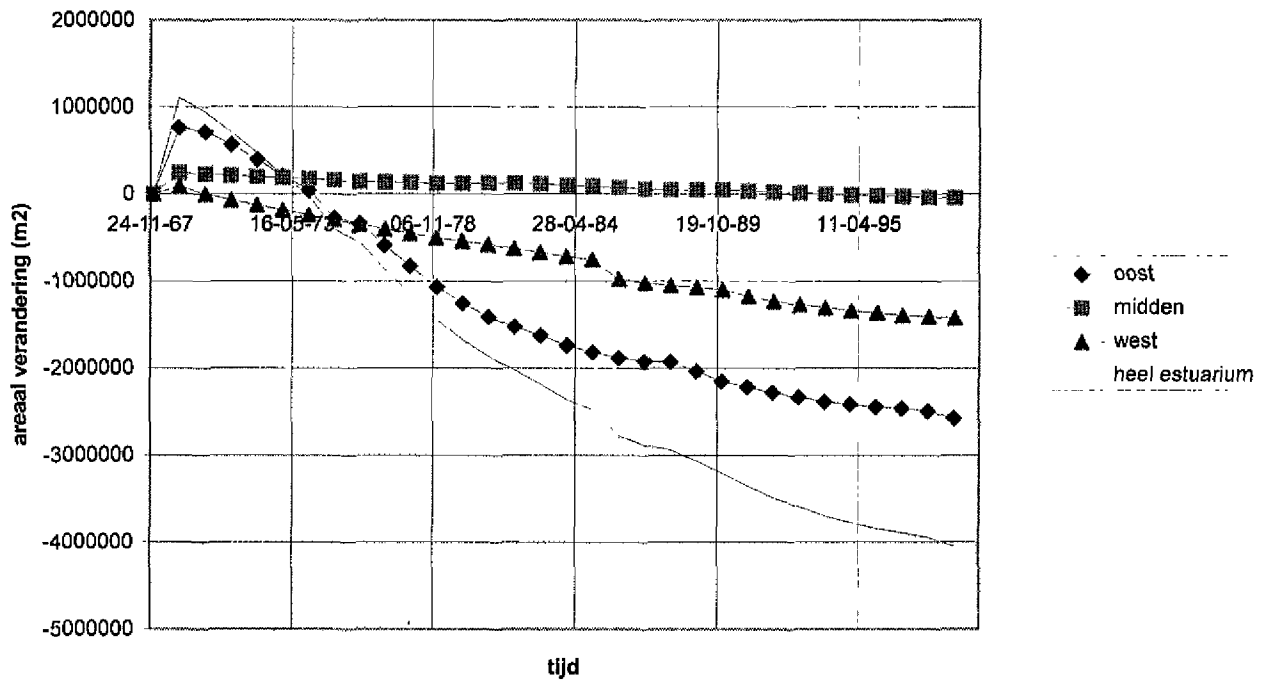
WL | DELFT HYDRAULICS

Fig.2.11b

aanvullende run 3



calibratie run



Plaatareaal uit aanvullende run 3 (boven)
vergeleken met calibratie run (onder)
gebruik waterstand bij Bath voor evenwichtsrelatie

Z2776

juli

2000

WL | DELFT HYDRAULICS

Fig.2.11c