

Z 2694

AFGEHANDELD

Opdrachtgever:

DG Rijkswaterstaat

Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ

Data analyse Voordelta

Grootschalige morfologische veranderingen 1960 - 1996

Verslag

september 1999

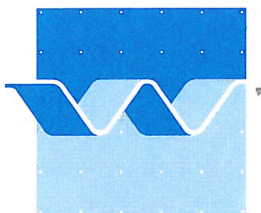
Data analyse Voordelta

Grootschalige morfologische veranderingen 1960 - 1996

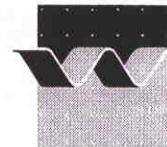
S.G.J. Aarninkhof en T. van Kessel

Verslag

september 1999



wl | delft hydraulics



OPDRACHTGEVER: DG Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ
Postbus 20907
2500 EX Den Haag




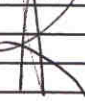
TITEL: Data analyse Voordelta
Grootschalige morfologische veranderingen 1960 - 1996

SAMENVATTING:

Bij het RIKZ wordt onderzoek gedaan naar de ontwikkeling en toepasbaarheid van morfologische modellen voor grote schaal en lange termijn morfologische veranderingen. Een van deze studies behelst een reconstructie van de morfologische ontwikkeling van de voordelta als gevolg van de afsluiting van de zeearmen in Zuidwest Nederland door de Delta werken. Aan dit onderzoek wordt momenteel gewerkt door WLIDELFT HYDRAULICS onder contract nr. RKZ-506 en daaropvolgende wijzigingscontracten. Ten behoeve van dit project is een data-analyse van de vaklodingen van het gebied noodzakelijk.

Deze notitie beschrijft de resultaten van de analyse van de morfologische veranderingen van de Voordelta over de periode 1960 - 1996, in het bijzonder die van de Oosterschelde delta en de Haringvliet delta. Hierbij ligt het accent op de grootschalige ontwikkelingen, waarbij het gedrag van karakteristieke morfologische eenheden is gekwantificeerd met behulp van detail analyse technieken. Uit de analyses blijkt dat zowel in geval van de Oosterschelde als in geval van het Haringvliet grootschalig menselijk ingrijpen een rol heeft gespeeld voor de morfologische ontwikkeling van de delta. In geval van het Haringvliet is dit verband rechtstreeks te leggen; in geval van de Oosterschelde is de grootschalige morfologische ontwikkeling (bv. de noordwaartse migratie en rotatie van de geul Roompot-Noord) hoogsten indirect te relateren aan de aanleg van de Deltawerken. Verder valt op de afname van de morfologische activiteit op grote schaal na 1980; deze trendbreuk komt eveneens duidelijk naar voren uit de detailanalyses.

REFERENTIES:

VER.	AUTEUR	DATUM	OPMERK.	REVIEW	GOEDKEURING			
1	S.G.J. Aarninkhof 	16/09/1999		J.A. Roelvink 	A. Roelfzema  16/9/99 			
PROJECTNUMMER:		Z2694						
TREFWOORDEN:		Morfologie, Voordelta, data analyse						
INHOUD:	TEKST	30	TABELLEN	8	FIGUREN	4	APPENDICES	8
STATUS:	<input type="checkbox"/> VOORLOPIG		<input type="checkbox"/> CONCEPT		<input checked="" type="checkbox"/> DEFINITIEF			

Inhoud

1 Inleiding	1
2 Het Deltaplan: Overzicht van uitvoering werken en monitoring morfologie	3
2.1 Uitvoering van de Deltawerken	3
2.2 Overzicht beschikbare data.....	4
3 Morfologische ontwikkeling van buitendelta's	5
3.1 De fysische ontwikkeling van buitendelta's	5
3.2 Ontwikkeling van het Grevelingen estuarium na afsluiting	7
4 Data analyse vaklodingen Voordelta	9
4.1 Morfologische ontwikkeling Oosterschelde estuarium	9
4.2 Morfologische ontwikkeling Haringvliet estuarium.....	12
4.3 Aanvullende analyse technieken.....	14
4.3.1 Kuberen van morfologische veranderingen.....	14
4.3.2 Animatie	16
5 Detailanalyse morfologische eenheden	18
5.1 Selectie morfologische eenheden	18
5.2 Resultaten detail analyse raaien.....	19
5.3 Resultaten detail analyse plaat systemen.....	23
5.4 Synthese	26
6 Nauwkeurighedsanalyse	27
7 Conclusies	30
Referenties	32
Lijst van figuren.....	33
Appendices	34

I Inleiding

De Voordelta is het kustgebied voor de Zuid-Hollandse en Zeeuwse eilanden. In 1953 werd het gebied geteisterd door een stormvloed, die het leven kostte aan 1835 mensen en noopte tot de evacuatie van ongeveer 72.000 personen. Deze ramp vormde de aanleiding voor het opstellen van het zogenaamde Deltaplan, welke voorzag in de afsluiting van alle zeearmen in zuidwest Nederland, met uitzondering van de Nieuwe Waterweg (toegang haven Rotterdam) en de Westerschelde (toegang haven Antwerpen). In het kader van dit plan kwamen tussen 1961 en 1986 een aantal grote waterbouwkundige werken gereed:

Waterbouwkundig werk	Werkzaamheden	
	Start	Afronding
Veerse Gat dam	1957	1961
Haringvlietsluizen	1957	1970
Brouwersdam	1962	1971
Oosterscheldekering	1967	1986

Tabel 1.1: *Overzicht uitvoering werkzaamheden Deltaplan*

De ligging van deze werken is zichtbaar op de overzichtskaart van de Voordelta in Appendix A. Hoewel geen onderdeel van het Deltaplan, dienen ook de havenuitbreidingen van Rotterdam (Maasvlakte, 1964 - 1976) en de aanleg van de Slufterdam in combinatie met het baggeren van het Hindergat (afgerond 1986) vermeld te worden als grootschalige menselijke ingrepen.

De aanleg van deze werken heeft in de Voordelta geleid tot een groot aantal veranderingen, sociaal, ecologisch maar vooral ook morfologisch. Deze morfologische ontwikkeling van de Voordelta als gemeten over de periode 1960 - 1996 gaat dienen als uitgangspunt voor een studie, die gericht is op de toepasbaarheid van het huidige modellen instrumentarium voor grote schaal en lange termijn morfologische veranderingen (Contract nr. RKZ-506 en daaropvolgende wijzigingscontracten). Dit project beoogt daaraan bij te dragen middels een analyse van de vaklodingen van het gebied. De resultaten hiervan gaan gebruikt worden als referentie voor de nog uit te voeren hindcast van de morfologische ontwikkeling van de Voordelta over de periode 1960 - 1996.

Om een kader te scheppen voor de interpretatie van de waargenomen morfologische veranderingen wordt in dit rapport eerst (beknopt) aandacht geschonken aan de uitvoering van de Deltawerken en een overzicht gegeven van de beschikbare bodemdata (Hoofdstuk 2). Tevens wordt stil gestaan bij de morfologische ontwikkeling van buitendelta's in het algemeen, als bekend uit de literatuur (Hoofdstuk 3). In de daarop volgende hoofdstukken komt de daadwerkelijke analyse van bodem data van de Voordelta aan bod: grootschalig in Hoofdstuk 4 en op detailniveau in Hoofdstuk 5. In Hoofdstuk 6 wordt aandacht geschonken aan het belang van de nauwkeurigheid van de bodemdata, waarna in Hoofdstuk 7 de belangrijkste conclusies van deze studie nog eens worden samengevat.

Voorliggend project is het resultaat van werkzaamheden naar aanleiding van de door WL | DELFT HYDRAULICS uitgebrachte offerte MCM4542/Z2694/sa, welke is gehonoreerd onder opdrachtbon nr. 42991548. Het projectteam van WL heeft bestaan uit ir. S.G.J. Aarninkhof (projectleiding, analyse grootschalige veranderingen), dr.ir. T. van Kessel (detailanalyses), ing. R. Bruinsma (visualisatie), dr.ir. J.A. Roelvink (kwaliteitsborging) en prof.dr.ir. M.J.F. Stive (kwaliteitsborging). De projectbegeleiding van de zijde RIKZ is verzorgd in de persoon van dr.ir. J.M.T. Stam.

2 Het Deltaplan: Overzicht van uitvoering werken en monitoring morfologie

Om een kader te scheppen voor de interpretatie van waargenomen morfologische veranderingen beoogt dit hoofdstuk een overzicht te geven van de fasering van de werkzaamheden ten behoeve van het Deltaplan, alsmede een overzicht van de beschikbare bodemdata.

2.1 Uitvoering van de Deltawerken

Hoewel - op morfologische tijdschaal - de daadwerkelijke afsluiting van de getijgeulen in zuidwest Nederland plotseling is, is de duur van de totale werkzaamheden per project toch relatief lang ten opzichte van de periode van interesse van deze studie (1960 - 1996). Zeker in geval van de meer gedetailleerde bestudering van het gedrag van morfologische eenheden kan het daarom van belang zijn enig gevoel te hebben voor de uitvoeringswijze en fasering van de werken. Dit hoofdstuk beoogt hiervan een beknopt overzicht te geven (gebaseerd op Antonisse, 1986).

Eén van de eerste werken van het Deltaplan betreft de afsluiting van het Veerse Gat (Fig. A.1, Appendix A). De werkzaamheden beginnen met de aanleg van een werkhaven tussen Veere en Vrouwenpolder, die in 1957 gereed komt. Op de ondiepe plaat de Onrust wordt begonnen met de aanleg van de dam, waarna in 1959 een sluitgat van 320 m resteert. Dit wordt bedwongen door het plaatsen van 7 afzinkbare doorlaatcaissons, waarvan op 27 april 1961 de schuiven definitief dicht gaan.

Omdat het Haringvliet nodig is voor de afvoer van overtollig Rijn- en Maaswater wordt deze afsluiting uitgevoerd als spuisluisen complex, met een doorstroombreedte van 1000 m en een maximaal spuidebiet van 25.000 m³/s. Hiertoe komt in 1957 een tijdelijk werkeiland van 1400 bij 600 m gereed, vanaf waar een tweetal sluiscomplexen gebouwd wordt. Na realisatie hiervan in 1966 duurt het vervolgens nog 4 jaar alvorens ook de tussenliggende dammen aangelegd zijn, waarna het complex in 1970 daadwerkelijk in gebruik kan worden genomen.

In 1962 wordt begonnen met de aanleg van de Brouwersdam in het Grevelingen estuarium. Volgens beproefd concept komen eerst de delen aan bod die over de platen lopen (de Middelpaten, 1965 en de Kabellaarsbank, 1966) alsmede de geul daartussen, waarna in 1969 nog 2 sluitgaten restereren met een gezamenlijke breedte van 1500 m. Deze worden gefaseerd afgesloten met caissons (Springersdiep) en een kabelbaan (Brouwershavense Gat). Eind 1971 is de zware Brouwersdam een feit.

Na afsluiting van de het Grevelingen estuarium resteert nog de zwaarste klus: de Oosterschelde. In 1967 worden de voorbereidingen gestart voor de aanleg van een drietal werkeilanden (Roggenplaat, 1969, Neeltje Jans, 1971 en Noordland, 1972). De laatste twee zijn verbonden door een damvak van 4 km, waardoor er nog 3 stroomgeulen overblijven

met een totale lengte van 3 km: de Hammen, de Schaar van Roggenplaat en de Roompot. Volgens plan moet de Oosterschelde in 1978 afgesloten zijn met een dichte dam, echter onder maatschappelijke druk moet hierop worden teruggekomen. In 1974 besluit het kabinet voor de aanleg van een open, afsluitbare kering, waarvan de voltooiing wordt uitgesteld tot 1985. Het ontwerp van de pijlerdam vergt enige jaren. Uiteindelijk wordt in 1983 de eerste pijler geplaatst en is in 1986 de realisatie van de Oosterschelde stormvloedkering een feit.

2.2 Overzicht beschikbare data

De Voordelta kent van nature een grote morfologische activiteit, welke door de grote waterbouwkundige werken in het kader van het Deltaplan (in eerste instantie) slechts versterkt is. Gedurende reeds vele jaren worden bodemveranderingen van de Voordelta dan ook gevolgd met behulp van de zgn. vaklodingen. Hiertoe heeft Rijkswaterstaat het gebied opgedeeld in een groot aantal vakken (Fig. A.2, Appendix A). Ten behoeve van het huidige project heeft RWS-RIKZ data toegeleverd, welke zijn samengevat in onderstaande tabel (stand van zaken dd. 7 juni 1999). Het nummer in de eerste kolom verwijst naar het vaknummer conform de vakindeling door Rijkswaterstaat.

	1960	1964	1972	1976	1978	1980	1983	1984	1985	1988	1989	1992	1994	1995	1996
19	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1
20	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0
21	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0
45	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1
46	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
47	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0
48-1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0
48-2	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0
49	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0

Tabel 2.1: *Overzicht beschikbare data Voordelta periode 1960 - 1996*

Data uit deze tabel hebben slechts betrekking op de estuaria van de Oosterschelde en de Grevelingen. De resolutie van de beschikbare Oosterschelde data is goed, zowel in de ruimte als in de tijd. Om praktische redenen zijn deze data geclusterd in periodes van 4 jaar, met startjaar 1960 en eindjaar 1996, waarbij alleen 1968 ontbreekt. Hiaten in de dataset betreffen vooral het Grevelingen estuarium (vak 45). Om deze reden kan dit estuarium – afgezien van een enkele detailbeschouwing - geen integraal onderdeel uitmaken van voorliggende data analyse studie. Ter compensatie wordt in Hoofdstuk 3 stil gestaan bij de morfologische ontwikkeling van het Grevelingen estuarium als bekend uit de literatuur.

De data betreffende de Haringvliet monding waren reeds in bezit van WL en zijn niet opgenomen in bovenstaande tabel. Binnen het kader van deze studie zijn toegepast de jaren 1957, 1970, 1990, 1994 en 1998, ondanks dat de resolutie van beschikbare data in de jaren negentig wat groter was.

3 Morfologische ontwikkeling van buitendelta's

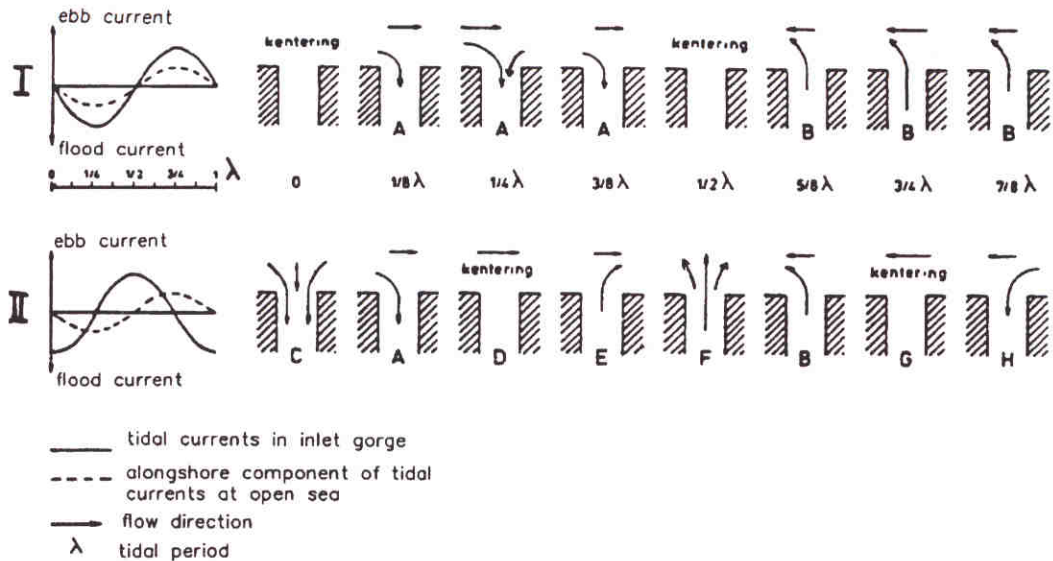
In dit hoofdstuk wordt kort stil gestaan bij de morfologische ontwikkeling van buitendelta's van getijdebekkens (estuaria en lagunes) zoals bekend uit de literatuur. Tijdens de analyse van de vaklodingen periode 1960 - 1996 kan dan gerefereerd worden aan deze bevindingen. Bij wijze van voorbeeld wordt een beknopte beschrijving gegeven van de morfologische veranderingen in het Brouwershavense Gat, na afsluiting van het Grevelingen estuarium. Om hierboven genoemde redenen kon deze inlaat geen deel uitmaken van voorliggende studie.

3.1 De fysische ontwikkeling van buitendelta's

Een buitendelta is een morfologische entiteit, die zich ontwikkelt aan de zeewaartse zijde van een zeegat onder de invloed van de in- en met name de uitstroming (vandaar Eng: 'eb-tidal delta') van een getijgolf in een estuarium of lagune. Vanuit het oogpunt van morfodynamiek is zo'n delta een complex en actief gebied, bestaande uit systemen van platen en geulen, waar een veelheid aan processen een rol speelt.

De belangrijkste factoren die de morfologische geometrie van buitendelta's bepalen zijn de relatieve invloed van golven in vergelijking tot getijdestromingen, de morfologische maatgevende golfrichting en de interactie tussen de getijde stromingen offshore en in de keel van het zeegat (vgl. Sha en Van de Berg, 1993). Op de wat langere tijdschaal (decennia - eeuwen) speelt ook zeespiegelrijzing een rol. De algehele morfologische stabiliteit van buitendelta's is gegarandeerd als de verhouding van het getijdeprisma en golfgedreven kustlangse transporten boven een bepaalde drempelwaarde ligt, waar de Nederlandse buitendelta's allen ruimschoots aan voldoen (vgl. Steijn, 1991).

De belangrijkste morfologische subsystemen van buitendelta's zijn (stelsels van) eb- en vloedgeulen met omringende of aanliggende platen en meer door golfinvloeden bepaalde platen of banken. In het algemeen geldt dat door de lagere waterstanden tijdens eb de zeewaarts gerichte ebstromingen de neiging hebben zich sterker te concentreren in de geulen, resulterend in hogere stroomsnelheden, waardoor ebgeulen over het algemeen dieper zijn dan de vloedgeulen. De globale, gemiddelde oriëntatie van eb- en vloedgeulen wordt primair bepaald door de fase tussen het horizontale getij offshore en dat in de keel en secundair door de golfinvloed. In Sha en Van den Berg (1993) wordt dit toegelicht aan de hand van de hydrodynamica en de morfologie van de Nederlandse buitendelta's.



tidel wave propagates from left to right

Fig. 3.1: *Effect van interactie getijstromingen op morfologie van inlaat*

In geval van een relatief klein getijdebekken (Fig. 3.1, geval I) is er nauwelijks sprake van een faseverschil tussen de kustdwarse getijstrooming door de inlaat en de kustlangse getijstrooming 'buitengaats' (vgl. de buitendelta's van de Waddenzee). Beide stromingen versterken elkaar. Dit betekent dat tijdens het vullen van het bekken de toestroming van water vooral geschiedt vanuit de richting van de vloed, terwijl tijdens het ledigen van het bekken de uitstroming vooral georiënteerd is in de richting van de buitengaats ebstrooming. Dit veroorzaakt een asymmetrie in het patroon van geulen. In geval van een groter estuarium (Fig. 3.1, geval II) zal het faseverschil tussen de kustdwarse getijstrooming in de inlaat en de kustlangse getijstrooming 'buiten' groter zijn, waardoor de stromingen elkaar minder versterken (vgl. de buitendelta's van de Zeeuwse delta). Zo kan het gebeuren dat tijdens maximale instroming van het estuarium de kustlangse strooming vrijwel nul is (geval IIC), waardoor toestroming vanuit alle richtingen optreedt. Analoog kan maximale uitstroming samenvallen met het moment van kentering buitengaats (geval IIF), met als gevolg afstroming in alle richtingen. De resulterende morfologie is een wijder vertakt systeem van meerdere, dus relatief kleinere eb- en vloedgeulen, dat uitwaaiert in alle richtingen.

Eén van de opvallendste morfologische fenomenen van buitendelta's is de veelal (quasi-) cyclische verplaatsing van de eb- en vloedgeulen stelsels. Het is primair de asymmetrie van het getij veroorzaakt door het Kelvin-type getijvoortplanting langs de rand van de shelf (met de kust aan de rechterzijde op het Noordelijk halfrond) die hier een rol speelt. Secundair, is het de netto getijgedreven langstrooming, die hiermee in fase (Waddenzee) of tegenfase (Zeeuwse delta) kan werken. De hieraan verbonden tijdschalen zijn lang, d.w.z. van de orde decennia tot een eeuw.

Ten behoeve van de modellering van de morfologische ontwikkeling van estuariene delta's wordt vaak uitgegaan van een dynamische evenwichtstoestand van de delta (volume, zeewaartse extensie) gedefinieerd met behulp empirische relaties. De laatste betreffen

bijvoorbeeld relaties tussen het volume zand in de delta en het volume van het getijprisma, als afgeleid door Walton en Adams (1976). Eysink (1990) bepaalt analoge evenwichtsrelaties voor de Nederlandse estuaria en laat bij wijze van voorbeeld zien hoe ze toepasbaar zijn in geval van een afsluiting. Door de afname van het getijprisma zijn ten opzichte van de uiteindelijke evenwichtssituatie het huidige volume geulen en het volume zand van de buitendelta te groot. Deze volumina kunnen gekwantificeerd worden, waarmee een indruk wordt verkregen van de te verwachten morfologische veranderingen op weg naar nieuw evenwicht. De verhouding buitendelta extensie over minimale zeegatbreedte als functie van de ratio getijdeprisma over maatgevende golfhoogte en getijslag wordt uitgewerkt in Sha en Van den Berg (1993).

3.2 Ontwikkeling van het Grevelingen estuarium na afsluiting

In 1971 werd met de voltooiing van de Brouwersdam het Grevelingen estuarium definitief afgesloten. Dit veroorzaakte aanzienlijke morfologische veranderingen op de Voordelta van de Grevelingen monding, welke onder meer beschreven staan in Steijn e.a. (1989) en Nipius (1998). Een korte samenvatting volgt hieronder.

Voor het gereedkomen van de Brouwersdam (1971) werd de waterbeweging op de Voordelta Grevelingen monding gedomineerd door de kustdwarse getijstroming in en uit het zeegat. Het Brouwershavense Gat was een vloeddominante geul, terwijl de Kous ebstroom dominant was (Fig. 3.2). De Schaar is een vloedgedomineerde kortsluitgeul, waarin de stroming vooral bepaald wordt door verschillen in waterstand in de Grevelingen- en Haringvlietdelta.



Fig. 3.2 Voordelta Grevelingen monding (Bron: Nipius, 1998)

Met de voltooiing van de Brouwersdam (1971) behoort de dominantie van de kustdwarse getijstroming tot het verleden en krijgt de kustlangse getijstroming de overhand, waardoor er in het bekken een rondstroming ontstaat. De sterkte van de in- en uitgaande stroming op de buitendelta's neemt af met 50 tot 90%, waardoor het gerelateerde zandtransport vrijwel tot nul reduceert. Hiermee is het dynamisch evenwicht tussen kustwaarts golf-geïnduceerd

transport en zeewaarts getij-geïnduceerd transport abrupt verstoord, en begint de vorm van de buitendelta's te veranderen.

De periode 1971 - 1978 wordt gekenmerkt door erosie van de vooroever tussen NAP -9 m en NAP -4 m, in combinatie met bankvorming in het voormalige mondingsgebied en sedimentatie van de oude getijgeulen. De zandbanken ontstaan vooral langs de noordrand van de buitendelta's. Ze groeien in hoogte van ca. NAP -3.5 m tot NAP -0.5 m en verplaatsen zich landwaarts met een afnemende snelheid van honderden meters per jaar in 1971, tot nog slechts tientallen meters per jaar in 1978. De opvulling van de getijgeulen is het grootst nabij de dammen, en neemt af in zeewaartse richting. Vanaf ongeveer 1978 treedt stabilisatie van de zandbanken op, bij een hoogteligging tussen NAP -1 en NAP 0 m.

4 Data analyse vaklodingen Voordelta

Om een vergelijking van bodemdata van verschillende jaren mogelijk te maken was het nodig de beschikbare data te interpoleren naar een vast grid. Het grid als ontworpen voor het schaduw- cq. vervolgproject 'Grootschalig morfodynamisch modelleren' (RKZ-506) is hiervoor gebruikt. Met het oog op de ruimtelijke resolutie van de data (20 m.) is het modelgrid verfijnd met een factor 3, zowel kustlangs als kustdwars. De Haringvliet data als reeds voorhanden op WL waren gegeven op een kleiner detailgrid, dat speciaal ontworpen was voor de Haringvliet monding. Aangezien de beschikbare Haringvliet jaren weinig overlap vertonen met die van de Oosterschelde/Grevelingen is ervoor gekozen de Haringvliet data niet te interpoleren naar het nieuwe overall grid. De data analyses voor respectievelijk de Oosterschelde en het Haringvliet worden dan ook gescheiden uitgevoerd en besproken. Overigens zijn de bodemdata nog niet geïnterpoleerd naar het rekengrid voor de modelstudie (RKZ-506); dit gebeurt in het kader van het vervolgproject, zonder dat er sprake is van een gescheiden behandeling van de Oosterschelde en het Haringvliet.

4.1 Morfologische ontwikkeling Oosterschelde estuarium

Met een gemiddeld getijprisma van 1100 miljoen m³, een verval van 2.8 m bij gemiddeld getij en een maximale geuldiepte van 40 m is het Oosterschelde estuarium de grootste van alle afgesloten zeearmen. Voor, tijdens en na de afsluiting zijn met grote regelmaat vaklodingen genomen. Gemeten bodems zijn weergegeven als bijlagen Fig. B.1 t/m B.5; de bijbehorende erosie/sedimentatie plots (over verschillende tijdsintervallen) zijn opgenomen als bijlagen Fig. C.1 t/m C.6.

Hydrodynamica en morfologie van het Oosterschelde estuarium

Fig. 4.1, gebaseerd op de gemeten bodem van 1964, geeft een overzicht van het platen- en geulenstelsel in de monding van de Oosterschelde. Namen in *cursief* betreffen de namen van ondiepe plaatsystemen. Een tweetal geulenstelsels is dominant aanwezig: De Hammen/Schaar van Roggenplaat, die in de monding samenvloeien tot het Westgat en weer uitwaaiert op de diepere buitendelta en de Roompot, die zich op de buitendelta opsplijt in een noordelijke en een zuidelijke tak. Ook direct langs de eilandkoppen treffen we geulen, het Oostgat voor de kust van Walcheren en het Krabbengat voor de kust van Schouwen. De geulen worden afgewisseld door grootschalige plaatsystemen, zoals de Hompels, het Noordland en de Banjaard.

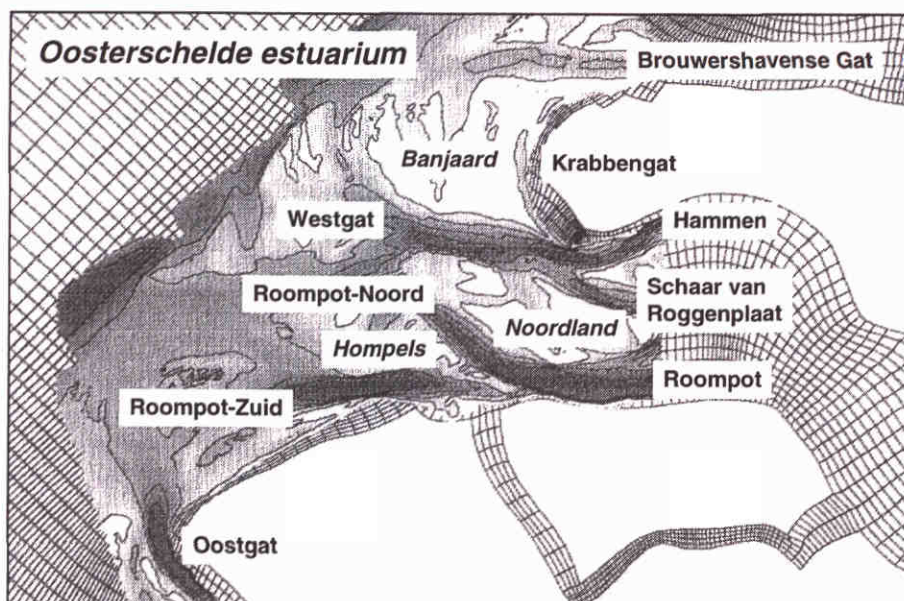


Fig. 4.1: *Overzichtskartaal morfologie Oosterschelde estuarium*

Gelet op de aanzienlijke afmetingen van het Oosterschelde bassin, is het aannemelijk dat er een faseverschil zal bestaan tussen de kustdwarse getijcomponent in de hals van het estuarium en de kustlangse getijcomponent op de voordelta. Als gevolg hiervan is er sprake van een estuarien systeem, waarbij zowel het binnendringen van de vloed als het afstromen van de eb geen duidelijke voorkeursrichting kennen (zie Paragraaf 3.1, Sha en Van den Berg, 1993). Dit verklaart de hoge mate van vertakking van de geulen op de Voordelta. Vergelijk ter referentie de geulsystemen tussen de Waddeneilanden, die alle een duidelijk geprononceerde hoofdgeul kennen, die afbuigt in de stromingsrichting van de vloed!

Per geulstelsel is er sprake van meer vloed-gedomineerde en meer eb-gedomineerde geulen. In het meest noordelijke stelsel lijkt de diepere Hammen eb-gedomineerd en de wat ondiepere Schaar van Roggenplaat vloed-gedomineerd. Deze observatie is in lijn met het effect dat de Coriolis kracht uitoefent op een waterbeweging met grote lengteschalen: de binnentredende vloedstroom wordt afgebogen naar het zuiden terwijl de uitredende ebstroom wordt afgebogen in noordwaartse richting, met als gevolg dat de ebgeul aanligt aan de noordelijke oever. Op de buitendelta is het de Roopot-Zuid tak die vloed-gedomineerd lijkt, terwijl de Roopot-Noord geul eb-gedomineerd is. Op de buitendelta is het niet zozeer de diepte die doorslaggevend is als het gaat om de vraag of een geul vloed-danwel eb-gedomineerd is. Vaak is er sprake van relatief diepe vloedgeulen, die uitdiepen als gevolg van contractie van de stroomlijnen van de binnendringende vloedgolf (zie de Roopot-Zuid geul). Rond het zeewaartse uiteinde van een ebgeul zien we juist vaak sedimentatie gebieden, ontstaan als gevolg van afnemende stroomsnelheden doordat de stroomlijnen uitwaaiëren. Dit laatste is bijvoorbeeld het geval bij de Roopot-Noord. De geulen langs de koppen van de eilanden (Oostgat, Krabbengat) zijn deels vloed- en deels golfgedomineerd. Dit wordt veroorzaakt enerzijds door het onvermogen van ebgeulen om bij divergentie langs de eilandkoppen in combinatie met een zuidgaande ebstroming buitengaats 'aan te liggen' en anderzijds door de concentratie van golfaandrijving in de brandingszone langs de eilandkoppen.

Grootschalige morfologische veranderingen Oosterschelde estuarium

De grootschalige morfologische veranderingen zijn deels te relateren aan de afsluiting van getijgeulen, deels onderdeel van het natuurlijke gedrag van het estuariene systeem. Een van de grootschalige veranderingen is de versteiling van de buitendelta na afronding van de Oosterscheldekering. Dit blijkt duidelijk uit Fig. C.5 (Appendix C), waarin de bodemveranderingen over de periodes 1964 - 1980 en 1980 - 1992 geplot zijn. Tot 1980 is er sprake van een lichte aanzanding op de diepere buitendelta (zeg diepte groter dan 10 m). Echter, door de vernauwing van de doorstroomopening van het Oosterschelde estuarium na aanleg van de stormvloedkering neemt het getijprisma af van 1130 miljoen m³ in 1959 naar 740 miljoen m³ in 1987 (Stive en Eysink, 1989), en daarmee ook de sedimentaanvoer vanuit het estuarium naar de buitendelta. We zien dan ook dat de aanzandende trend op de buitendelta van voor 1980 omslaat in een erosieve trend over de periode 1980 - 1996. Wat overigens ook opvalt, op de grote schaal gezien, is de opvallende afname van de morfologische variabiliteit na 1980. Dit blijkt direct uit Fig. C.5, maar ook uit vergelijking van de bodemveranderingen over bijvoorbeeld de periodes 1960 - 1964, 1976 - 1980 en 1992 - 1996. De oorzaak hiervan kan deels liggen in de afname van het getijprisma en daarmee de afname van de aandrijving, alsook in een afname van het aantal vrijheidsgraden van het systeem als gevolg van de gedeeltelijke vastlegging.

Anders dan geobserveerd bij de afsluiting van de Grevelingen is er in geval van de gedeeltelijke afsluiting van de Oosterschelde geen sprake van de spectaculaire vorming van zandbanken. Weliswaar zandt platensysteem de Hompels behoorlijk aan, doch deze trend was duidelijk al ingezet vóór 1980, en lijkt niet zozeer een gevolg van de gedeeltelijke afsluiting. Mogelijk dat zich enige zandbankvorming voordoet juist zeewaarts van werkeiland Neeltje Jans (zie Fig. C.5, Bodemveranderingen 1980 - 1992) met zand afkomstig van platensysteem Noordland, doch de bevestiging van deze observatie vereist een meer gedetailleerde analyse van de bodemveranderingen.

Op de wat kleinere schaal is het morfologisch effect van de aanleg van de drie werkeilanden ten behoeve van de stormvloedkering gedurende de periode 1969 - 1972 zichtbaar in Fig. C.2 (Bodemveranderingen 1972 - 1976). De drie resterende geulen (de Hammen, de Schaar van Roggenplaat en de Roompot) diepen sterk uit en in de luwtegebieden aan weerszijden van de werkeilanden treedt aanzienlijke aanzanding op. Het verdient aanbeveling het patroon van erosie/sedimentatie te vergelijken met dat over de periode 1960 - 1964, aangezien vergelijking met de twee keer zo lange periode 1964 - 1972 moeilijker te interpreteren is. Een ander constructie-gerelateerd effect op de kleinere schaal is de aanzanding die optreedt in de monding van het Veerse Gat, direct na afsluiting in 1961 (Fig. C.1, Bodemveranderingen 1960 - 1964).

Mogelijk dat laatst genoemde afsluiting mede debet is aan de verschuiving van het onderlinge belang van de vloed-gedomineerde geulen. Daar waar het belang van de Roompot-Zuid geul licht afneemt (zie de aanzanding in deze geul over de periode 1964 - 1992, Fig. C.6), daar ontwikkelt de noordelijke tak van het Westgat zich juist sterk in Noordelijke richting (vergelijk de gemeten bodems van 1964 en 1992). Een zelfde ontwikkeling in noordelijke richting zien we in het gedrag van de Roompot-Noord geul, die langzaam maar zeker wegdraait van de Roompot-Zuid geul om zich min of meer aan te sluiten bij het Westgat. Genoemd gedrag, het noordwaarts roteren van de geulenstelsels, is

overigens ook duidelijk waarneembaar uit Fig. C.6 (verschilbodem van 1964 en 1992) waar aangrenzende gebieden van erosie en sedimentatie in de regel een indicatie zijn van de verplaatsing van geulen of platen. Deze grootschalige ontwikkeling kan indirect gerelateerd zijn aan de aanleg van de Oosterscheldekering, maar zou ook kunnen duiden op cyclisch gedrag van het geulensysteem. Voor de vaststelling van dat laatste is echter de tijdschaal van de beschouwde periode (1960 - 1996) te kort.

In het verlengde van de toegenomen importantie van het noordelijke geulensysteem voor de verwerking van eb- en vloedstromingen neemt het belang van aanliggende platensystemen als de Banjaard af. Op de grote schaal gezien is dit platensysteem aanzandend, echter in iets meer detail bezien is er nog een interessante ontwikkeling waarneembaar. Daar waar in 1960 en 1964 vloedgeultjes het platensysteem vanaf de zeezijde penetreren, daar lijken de rollen in 1988, 1992 etc. te zijn omgedraaid met de aanwezigheid van ebgeultjes, die vanaf de estuarium zijde het platensysteem binnendringen. Dit kan duiden op een verschuiving van een vloed-gedomineerd systeem naar een eb-gedomineerd systeem. De afname van de vloedstroming over de platen, samenhangend met de juist genoemde toegenomen importantie van het noordelijke geulensysteem, ondersteunt deze observatie. De extra aanvoer van sediment die deze verandering met zich meebrengt kan een verklaring bieden voor de aanzandende tendens van het platensysteem over volledige periode.

Daar waar de Banjaard zich goed ontwikkelt, heeft het Noordland platensysteem te kampen met toegenomen erosie. Wellicht is deze erosie verklaarbaar uit de toegenomen importantie van de Roompot-Noord geul, waardoor het platensysteem meer water trekt. Gelet op de oriëntatie van de geultjes die in latere jaren het Noordland vanaf de zeezijde binnendringen (zie bv. de gemeten bodems van 1988 en 1992) is er inderdaad sprake van een toegenomen vloeddominantie van het platensysteem, met daaraan gekoppeld de erosie van sediment. Tegelijkertijd komt platensysteem de Hompels wat meer in de luwte te liggen (door de wegdraaiende Roompot-Noord geul en de afgenomen importantie van de Roompot-Zuid geul), met als gevolg een aanzienlijke aanzanding van dit platensysteem. Dit zand lijkt afkomstig van de vooroever juist zeewaarts van het platenstelsel, waar aanzienlijke erosie optreedt over de periode 1964 - 1992. Dit gedrag - aanzanding van de hoger gelegen platen en geulen - is in lijn met de verwachte ontwikkeling van een delta na (gedeeltelijke) afsluiting van een zeearm.

4.2 Morfologische ontwikkeling Haringvliet estuarium

Deze paragraaf geeft een beschrijving van de morfologische ontwikkelingen in het Haringvliet estuarium sedert 1957, op basis van vaklodingen in 1957, 1970 en in de jaren negentig. Ongelukkigierwijs zijn er dus geen data voorhanden gedurende de jaren zeventig en tachtig, wat het moeilijk maakt het morfologisch effect van grootschalige ingrepen als de aanleg van de Maasvlakte en de Slufterdam expliciet te maken.

Gemeten bodems zijn weergegeven in de appendices als Fig. B.6 t/m B.10; de bijbehorende erosie/sedimentatie plots zijn opgenomen als bijlage Fig. B.7 en B.8. Observaties in deze paragraaf zijn vooral beschrijvend van aard, voor achtergronden en literatuur referenties wordt verwezen naar Van Holland (1997).

Hydrodynamica en morfologie van het Haringvliet estuarium

Fig. 4.2, gebaseerd op de gemeten bodem van 1994, geeft een overzicht van het platen en geulen stelsel in het Haringvliet estuarium zoals dat tegenwoordig aangetroffen wordt. Vergelijking met de 'natuurlijke' situatie in 1957 (Fig. B.6 bijlage) leert dat de vele grootschalige ingrepen in het kuststelsel gezorgd hebben voor aanzienlijke veranderingen van de morfologie. Het woord 'natuurlijke' staat hier tussen aanhalingstekens, omdat reeds in de vorige eeuw de afsluiting van de Brielse Maas plaats vond, met als gevolg een grote landwaartse verplaatsing van zand in de richting van de voormalige Brielse Maas monding (in feite is later op deze zandophoping de Maasvlakte gebouwd). Echter, op de tijdschaal van deze studie wordt de situatie van 1957 als de 'natuurlijke' uitgangssituatie beschouwd.

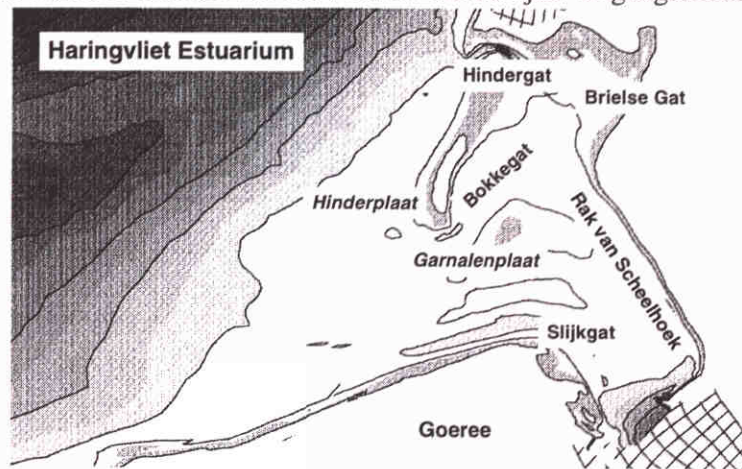


Fig. 4.2: Overzichtskartaal morfologie Haringvliet estuarium

In 1957 is er sprake van een stelsel van twee hoofdgeulen, het Rak van Scheelhoek en het Slijkgat. Van deze twee is het Rak van Scheelhoek de eb-gedomineerde geul, gelet op de opeenhoping van sediment op de plaats waar het Rak van Scheelhoek uiteenwaaiert en de sedimentrijke ebstroming divergeert. Evenals in het Oosterschelde estuarium ligt de vloed-gedomineerde geul (het Slijkgat) aan tegen de zuidelijke eilandkop. Ten gevolge van de grote afmetingen van het (oorspronkelijke) Haringvliet estuarium zal ook hier noch de instroming tijdens vloed noch de uitstroming tijdens eb een duidelijke voorkeursrichting kennen. Dit wordt veroorzaakt door het faseverschil tussen de kustdwarse getijstroming in en uit het estuarium en de kustlangse getijstroming 'buitengaats' (vgl. Paragraaf 3.1, Sha en Van den Berg, 1993) en komt tot uiting in de verwaaiering van het geulenstelsel op de buitendelta. Tussen beide geulen treffen we een groot ondiep gebied (de Garnalenplaat) en zijn reeds de contouren herkenbaar van wat later zal uitgroeien tot de Hinderplaat.

Grootschalige morfologische veranderingen Haringvliet estuarium

Meer dan in geval van de Oosterschelde zijn de morfologische veranderingen in het Haringvliet estuarium te relateren aan grootschalige ingrepen zoals de afsluiting van het Haringvliet. Voor dit werk komt in 1957 een werkeiland van 1400 bij 600 m gereed, gelegen middenin de hals van het estuarium. Het gevolg is een sterke erosie van het ondiepe gedeelte van de doorgang ten zuiden van het eiland over de periode 1957 - 1970 (Fig. C.7 bijlage). Door de afname van het doorstroomprofiel over deze periode neemt ook het

getijprisma af, met als gevolg afnemende stroomsnelheden zeewaarts van de beoogde afsluiting. Hierdoor zien we een grootschalig patroon van sedimentatie over de gehele buitendelta. Het Rak van Scheelhoek verzandt sterker dan het Slijkgat. In lijn met de toegenomen importantie van de zuidelijke doorstroomopening lijkt het belang van het Slijkgat ten opzichte van het Rak van Scheelhoek eveneens toe te nemen, en wordt de geul minder sterk vloed-gedomineerd. In het noorden van het interessegebied wordt de aanzet gegeven voor de vorming van de Hinderplaat.

Over de periode 1970 - 1990 is het effect van de afsluiting van het Haringvliet zeer duidelijk waarneembaar. Conform observaties in de literatuur (bv. Steijn e.a., 1989) treffen we op de vooroever van de buitendelta sterke erosie, veroorzaakt door het afsnijden van de aanvoer van sediment vanuit het estuarium. In de ondiepere delen van het estuarium treedt juist een sterke aanzanding op, als gevolg van de reductie van de transport capaciteit van het in- en uitgaande getij. Afgezien van een marginaal overblijfsel van het Slijkgat zijn de geulen bijna helemaal verzand, en zien we dat de Hinderplaat sterk tot ontwikkeling is gekomen (en zelfs is drooggevallen). Na 1990 (Fig. C.8 bijlage) is er sprake van een verdere uitbreiding van het platen systeem centraal in de oorspronkelijke monding - hoewel de snelheid van de veranderingen afneemt - waarbij de Hinderplaat zich verplaatst in kustwaartse richting.

Volgens Van Holland (1997) kent de huidige Haringvlietmonding een complex stromingspatroon, omdat de kentering op zee niet in fase is met de kentering meer stroomopwaarts in de monding. Met vloed stroomt het water via het Slijkgat en het Bokkegat (Fig. 4.2) de monding in en tegelijkertijd verlaat het gebied door het Hindergat. Tijdens eb stroomt het water via het Slijkgat en het Bokkegat weer naar zee, terwijl tegelijkertijd door het Bokkegat water de Haringvlietmonding in stroomt. Er is hier dus sprake van een rondstroming door het gebied. Dit stromingspatroon en de plaat-gedomineerde morfologie indachtig kan men zich afvragen in hoeverre hier nog wel sprake is van het type buitendelta waarover gesproken wordt in voorgaande hoofdstukken en in het geval van de Oosterschelde. In de conclusies wordt kort teruggekomen op deze vraag.

4.3 Aanvullende analyse technieken

Ter completering van de data analyse op grote schaal zijn de grootschalige veranderingen gekwantificeerd met behulp van kuberingstechnieken en de morfologische ontwikkeling over de periode 1960 - 1996 gevisualiseerd aan de hand van een animatie. De resultaten hiervan worden hieronder kort beschreven en ondersteunen de observaties van de analyses in Sectie 4.1 en 4.2.

4.3.1 Kuberen van morfologische veranderingen

In voorgaande paragrafen zijn de grootschalige veranderingen van de morfologie voornamelijk kwalitatief beschreven. Middels kuberen kunnen deze veranderingen gekwantificeerd worden. Echter, in gevallen als de Oosterschelde waar de schaal van de veranderingen (bv. verplaatsing geul Roompot-Noord) groter is dan schaal van de morfologische entiteiten zelf, kan dit kuberen een hachelijke zaak zijn.

Om deze reden is ervoor gekozen de analyse van de grootschalige morfologische veranderingen uitsluitend gebruik te maken van vakken die de schaal van de individuele morfologische eenheden (geulen, platen) overstijgen. Daartoe zijn vakken gedefinieerd van de buitendelta (noord en zuid), de binnendelta en het gehele gebied (Fig. D.1, appendix). De oppervlaktes van deze vakken bedragen respectievelijk 46.7, 57.6, 138.4 en 370.2 miljoen m². Vervolgens zijn de lange-termijn morfologische veranderingen gekubeerd over de periodes 1964 - 1980, 1980 - 1992 en 1964 - 1992. Er is uitsluitend gekeken naar verschillen tussen genoemde jaren, met andere woorden er is ten behoeve van de kubering van de grootschalige morfologische veranderingen geen rekening gehouden met een trend over deze periodes. Een dergelijke trend analyse geeft overigens wel een indruk van de betrouwbaarheid van de kuberingen - zie hiervoor Hoofdstuk 6. De jaren 1964, 1980 en 1992 zijn gekozen vanwege de goede ruimtelijke dekking van bodemdata in deze jaren.

Het resultaat van de kuberingen van de morfologische veranderingen over de genoemde periodes is gegeven in onderstaande tabellen 4.1 (in volumina) en 4.2 (in gemiddelde bodemverandering):

Vak	Typering	Aanzanding/erosie (10 ⁶ m ³)		
		1964 - 1980	1980 - 1992	1964 - 1992
1	Buitendelta Noord	11.614	-19.985	-8.371
2	Buitendelta Zuid	21.449	-11.617	9.816
3	Binnendelta	0.666	-21.989	-22.593
4	Totaal	101.945	-54.584	46.173

Tabel 4.1: Aanzanding/erosie per kuberingsvak (volumina)

Vak	Typering	Gemiddelde bodemverandering (m)		
		1964 - 1980	1980 - 1992	1964 - 1992
1	Buitendelta Noord	0.249	-0.428	-0.179
2	Buitendelta Zuid	0.372	-0.202	0.170
3	Binnendelta	0.005	-0.159	-0.163
4	Totaal	0.275	-0.147	0.125

Tabel 4.2: Gemiddelde bodemverandering per kuberingsvak (m)

De neiging tot aanzanding van de buitendelta's in combinatie met een stabiele binnendelta over de periode 1964 - 1980 slaat om in een erosieve tendens over de periode 1980 - 1992. Deze afname van de aanvoer van sediment op de buitendelta is mogelijk gerelateerd aan de gedeeltelijke afsluiting van de Oosterschelde (bijvoorbeeld omdat meer sediment achterblijft op de binnendelta waar de geulen - gelet op de afname van de debieten - mogelijk 'te ruim in hun jasje steken'). De erosie van de binnendelta is echter onverwacht. In plaats van de sedimentatie van zand afkomstig van de vooroever treedt ook op de binnendelta erosie op. Het lijkt erop dat de verantwoordelijkheid hiervoor ligt bij morfologische processen op een grotere schaal. Dit blijkt ook uit de kuberingen van het totale gebied: daar waar over de periode 1964 - 1980 sprake was van een aanzanding van ruim 100 miljoen m³, daar treedt tussen 1980 en 1992 een erosie op van meer dan 50

miljoen m³. Oftewel, er is niet alleen sprake van een herverdeling van zand binnen het gebied van interesse, er is tevens een netto aanvoer cq. afvoer van zand over de gebiedsgrenzen heen.

Op basis van de kuberingen is het ook mogelijk de morfologische activiteit te kwantificeren. Als maat hiervoor tellen we de absolute waarde van de erosie en aanzanding per m² over de volledige periode bij elkaar op, en middelen vervolgens door het aantal jaren. Het resultaat is een maat voor de totale morfologische verandering (in m/jaar). Dit levert voor de verschillende vakken:

Vak	Typering	Morfologische activiteit (m/jr)		
		1964 - 1980	1980 - 1992	1964 - 1992
1	Buitendelta Noord	0.027	0.043	0.021
2	Buitendelta Zuid	0.031	0.029	0.018
3	Binnendelta	0.131	0.105	0.088
4	Totaal	0.078	0.071	0.053

Tabel 4.3: *Morfologische activiteit per kuberingsvak*

Als gevolg van de toegenomen erosie neemt de morfologische activiteit van de Buitendelta Noord na 1980 toe. Deze toename blijkt niet uit het gedrag van de Buitendelta Zuid; de gedachte is dat de relatief geringe activiteit hier mede veroorzaakt wordt door het wegroteren van de geul Roompot Noord - zie tevens Paragraaf 4.3.2 'Animatie'. Op de binnendelta en overall gezien is de afname van de morfologische activiteit evident. Deze observatie is in lijn met eerdere conclusies. Het feit dat de activiteit per jaar over de periode 1964 - 1992 kleiner is dan in de 2 afzonderlijke periodes daarvoor geeft aan dat er een omslag zit in het morfologisch gedrag van het systeem.

4.3.2 Animatie

Het aanmaken van de animatie is gedaan in 2 stappen, waarbij uitgegaan is van de ruwe bodemdata van de kernjaren 1960, 1964, 1972, 1976, 1980, 1984, 1988, 1992 en 1996. Daar waar bodemgegevens in deze jaren gedeeltelijk ontbraken, zijn deze aangevuld door middel van interpolatie van de meest nabij gelegen jaren (stap 1). Deze 'kunstmatige opvulling' betrof overigens slechts een gering aantal 'gaten', vergelijk ter referentie de figuren B.1 t/m B.5 uit de appendix, die een indruk geven van de beschikbaarheid van ruwe data. Vervolgens zijn de gegevens van de tussenliggende jaren verkregen door interpolatie van de bodemdata uit de kernjaren (stap 2). Op deze manier is een totaal aantal van 37 bodems verkregen, wat voldoende is voor een vloeiende beeldovergang in de animatie.

De animatie ondersteunt de observaties ten aanzien van de morfologische ontwikkeling Voordelta zoals die eerder beschreven zijn op basis van de bodemkaarten en de verschilplots. Kort samengevat zijn nogmaals de meest in het oog springende veranderingen:

- Het gedrag van de Roompot Noord: grootschalige verplaatsingen van sediment veroorzaken een aanzanding van het uiteinde van de geul, gecombineerd met een doorbraak in noordwestelijke richting. Door deze ontwikkeling neemt het belang van

getijstromingen in noordwestelijke richting toe, die in zuidwestelijke richting zal afnemen. Na het verdwijnen van de zuidwestelijke tak vormt zich enkele kilometers naar het zuidoosten een nieuwe tak die zich in noordwestelijke richting verplaatst.

- Het gedrag van de buitendelta: de buitendelta vertoont een erosieve tendens in het zuidwesten en noordwesten van het interesse gebied. Dit is in overeenstemming met de 'verwachtingen', vergelijk Hoofdstuk 3. In het midden, juist ten noorden van de uitstroming van de Oosterschelde, is de tendens echter aanzandend. Dit kan verklaard worden uit de toegenomen aanvoer van sediment in dit gebied, als gevolg van de hierboven beschreven heroriëntatie van de geul Roompot Noord.
- Het verdieping van de geul tussen de Banjaard en Banjaard-West. Parallel hieraan zien we de oostelijke tak aan belang winnen ten koste van de westelijke tak.
- De migratie van de Banjaard, welke in de loop der tijd aanzienlijk verplaatst in noord-oostelijke richting. Deze observatie zal bevestiging vinden in de nog te bespreken detailanalyse van het gedrag van de plaat.
- De verdieping van het Krabbengat. Ook deze observatie wordt bevestigd bij de detailanalyse van 'raai 7'. Eveneens in het Grevelingen estuarium valt op de verzanding van het Brouwersgat.
- De aanzanding van de kust van Walcheren nabij de Oosterscheldekering. Afnemende debieten, samenhangend met de verkleining van het getijprisma na gedeeltelijke afsluiting van de Oosterschelde, veroorzaken hier een afname van het zeewaarts transport van sediment. Bij gelijkblijvend kustwaarts transport veroorzaakt dit een netto aanzanding.

5 Detailanalyse morfologische eenheden

Als reeds aangestipt in Hoofdstuk 4 vertoont een aantal morfologische eenheden van de Voordelta sterk dynamisch gedrag over de periode 1960 - 1996. Om dit gedrag nader te kwantificeren zijn aanvullende analyse technieken voorhanden, zoals detailkuberingen ten opzichte van een verticaal referentie niveau en het trekken van raaien over het grid voor de analyse van verplaatsingen en vormveranderingen. In dit hoofdstuk worden de resultaten van de toepassing van dit type technieken beschreven.

5.1 Selectie morfologische eenheden

Op basis van de eerder beschreven morfologisch ontwikkeling Voordelta is in overleg met de opdrachtgever een selectie gemaakt van morfologische eenheden die in aanmerking komen voor detail analyse. Deze selectie, die een tiental raaien door geulen en platen en een zestal polygonen rond platen omvat, wordt gepresenteerd in de onderstaande tabel. Hierbij worden de platen aangeduid met een letter en de geulsystemen met een cijfer. In Fig. E.1 (Appendix E) wordt de ligging van de raaien getoond ten opzichte van het gebruikte rooster; Fig. E.2 toont op eenzelfde manier de ligging van de polygonen.

Eenheid	Naam	Opmerkingen
1	Roompot-Schaar van Roggenplaat-Hammen	dwarsraai nabij stormvloedkering
2	Roompot-Zuid	dwarsraai
3	Roompot	langsraai
4	Hammen	langsraai
5	Roompot-Noord	dwarsraai
6	Westgat	dwarsraai
7	Krabbengat	dwarsraai
8	Brouwershavense Gat	dwarsraai
9	Vooroever	dwarsraai voordelta Brouwersdam
10	Kous	dwarsraai aanzandende geul tussen zandbanken
A	Noordland	
B	Hompels	
C	Domburgerrassen	platen voor de kust van Walcheren
D	Banjaard-West	voordelta Schouwen Duivenland
E	Banjaard	
F	Middelplaat	platen voor de Brouwersdam

Tabel 5.1: *Overzicht geselecteerde morfologische eenheden*

Zoals te zien is in Fig. E.2, lopen de grenzen van de plaatsystemen door de aanliggende geulen. Het is van belang deze ruim te kiezen, vanwege de grote morfologische dynamiek van de geulen in het systeem. Voor wat betreft de morfologische veranderingen op de

vooroever is gekozen voor een raai in de Grevelingen monding (raai 9), aangezien de bodemveranderingen in dat gebied significant groter zijn dan in de Oosterschelde monding. De Haringvlietmonding is voor wat betreft de selectie van morfologische eenheden buiten beschouwing gelaten, aangezien over het gedrag van de Hinderplaat na 1990 al veel gezegd is in andere studies, en de resolutie in de tijd onvoldoende is om zinnige conclusies te kunnen trekken over de periode daarvoor.

Als referentieniveau voor de uit te voeren kuberingen is een waarde aangehouden van -10 m voor de Oosterschelde monding (raai 1 t/m 6) en een waarde van -5 m voor de Grevelingen monding (raai 7 t/m 10). Er is voor twee verschillende referentieniveaus gekozen omdat de gemiddelde diepte van de Oosterschelde monding aanmerkelijk groter is dan die van de Grevelingen monding. De gekozen niveaus zorgen voor een optimale scheiding tussen geulen en platen. De keuze is in lijn met de methodiek volgens Postma *et al.* (1991a en 1991b).

Met genoemde analyse technieken kan verschillende soorten informatie geëxtraheerd worden uit de bodemgegevens. In geval van de raaien 1 t/m 10 betreft dit:

- de bodemligging over de raaien als functie van de tijd.
- de oppervlakte van de geulen (dwarsdoorsnedes in verticale richting) onder het referentieniveau als functie van de tijd.
- de ligging van het zwaartepunt van de geulen onder het referentieniveau als functie van de tijd.

In geval de polygonen A t/m F rond de plaatsystemen gaat het om:

- de plaatvolumes boven het referentieniveau als functie van de tijd.
- het zwaartepunt van de platen boven het referentieniveau als functie van de tijd.

Een veranderend volume is representatief voor de erosie of sedimentatie van een geul of plaat, terwijl een verschuivend zwaartepunt representatief is voor de mobiliteit van een geul of plaat. Op basis van de resultaten verkregen door toepassing van dit type analyse technieken is het in principe ook mogelijk om evenwichtsrelaties te bepalen tussen bijvoorbeeld de grootte van het getijprisma en de volumina aan geulen of platen in een delta systeem. Deze stap is echter binnen het kader van voorliggende studie achterwege gebleven, enerzijds omdat er slechts weinig gegevens t.a.v. de verandering van het getijprisma voorhanden zijn, anderzijds omdat de plaatontwikkeling voor de monding van de Oosterschelde niet buitengewoon sterk is. Resultaten van de gemaakte detailanalyses worden besproken in de volgende twee paragrafen.

5.2 Resultaten detail analyse raaien

Analyse van de bodemveranderingen langs de 10 geselecteerde raaien levert de volgende observaties:

raai 1: Roompot-Schaar van Roggenplaat-Hammen

De eerste raai is parallel getrokken aan de Oosterschelde stormvloedkering, van noord naar zuid. In Fig. F.1 komt de aanleg van werkeiland Neeltje Jans duidelijk naar voren. Vanaf 1976 ontbreekt ten gevolge hiervan een deel van de data (van circa $x = 4000$ m tot $x = 7000$ m): hier ligt dan het werkeiland. Verder valt op dat de Roompot ($x = 8500$ m) na de afsluiting slechts licht is verdiept; deze trend is bovendien na 1976 doorbroken. De veranderingen in de Schaar van Roggenplaat en de Hammen (respectievelijk $x = 3500$ m en $x = 2000$ m) zijn veel sterker. Deze geulen verdiepen zich sterk, een trend die zich minstens tot 1992 voordoet. Merk op dat de data van 1996 ontbreekt. Bovendien verplaatst met name de Hammen zich enigszins naar het zuiden. De plaat tussen de Hammen en de Schaar van Roggenplaat wordt in de loop der tijd steeds ondieper. De verdieping van de geulen laat zich goed verklaren door de aanleg van de stormvloedkering. Hierdoor is de stroomvoerende breedte van het estuarium aanzienlijk verkleind. De getijstrooming concentreert zich daarom in de geulen, waarin de stroomsnelheden dan toenemen. Dit leidt tot geulerosie. Boven de platen neemt de stroomsnelheid juist af, waardoor hier sedimentatie optreedt.

Het beeld van Fig. F.11a waarin de geuloppervlakte beneden het referentieniveau van $z = -10$ m alsmede het zwaartepunt van dit oppervlak zijn gekwantificeerd, is hiermee consistent. De geuloppervlakte wordt duidelijk groter, terwijl het zwaartepunt verschuift in de richting van de Schaar van Roggenplaat en de Hammen.

raai 2: Roompot Zuid

De tweede raai is dwars op de geul Roompot Zuid getrokken (Fig. F.2), vanaf de Hompels naar de kust van Walcheren. De verandering zijn hier veel minder geprononceerd dan bij raai 1. De geul verandert niet van plaats, terwijl de initiële afname van het geulvolume, die in 1976 het sterkst is, na dit jaartal verandert in een toename (Fig. F.11b). Deze toename is niet zozeer het gevolg van een verondieping van de geul, als wel van de aanzanding van de belendende Hompels, die ertoe leidt dat ook de flank van de Roompot Zuid aanzandt en de geul steiler wordt.

raai 3: Roompot

De derde raai is in de zeewaartse langsrichting van de Roompot getrokken (Fig. F.3). Terwijl de veranderingen in het meest westelijke deel van de raai nihil zijn ($x > 5000$ m), zijn de veranderingen in het oostelijke deel aanzienlijk. Er is duidelijk een eroderende trend, hetgeen ook blijkt uit de gestadige toename van de oppervlakte onder het referentieniveau (Fig. F.11c). Het profiel verandert van relatief glad in de jaren 1960 en 1964 naar golvend in de jaren 1988 en 1992. De weinig geprononceerde drempel in 1960 wordt in de loop der jaren aanmerkelijk steiler. Hierbij verplaatst de drempel zich westwaarts.

raai 4: Hammen

De vierde raai is in de zeewaartse langsrichting van de Hammen getrokken. De morfologische veranderingen zijn aanzienlijk, met name in kustwaartse richting (Fig. F.4). Hier vindt lokaal een erosie plaats van wel 10 m (nabij $x = 2000$ m). Het zwaartepunt van het oppervlak onder het referentieniveau verplaatst zich dan ook zeewaarts (Fig. F.11d). Bodemvariaties in zeewaartse richting ($x > 5000$ m) zijn wel aanwezig, maar hierin is geen duidelijke trend te ontdekken. Zowel bij raai 4 als bij raai 3 wordt geconstateerd dat de korte-termijn morfologische veranderingen ten gevolge van de aanleg van de Oosterschelde stormvloedkering niet reiken tot het westelijke uiteinde van deze raaien.

raai 5: Roompot Noord

De vijfde raai is dwars op de geul Roompot Noord getrokken, vanaf de plaat Noordland naar De Hompels. Dit is een morfologisch zeer actieve zone. Merk op dat deze raai gekromd is (Fig. E.1) om de dynamiek van de geulen afdoende in kaart te brengen. De ligging van de Roompot Noord verandert sterk in de tijd: de geul draait aan de zeewaartse kant over circa 45 graden met de klok mee, terwijl de geul aan de landwaartse kant op zijn plaats blijft liggen. Dit is zeer duidelijk waarneembaar in Fig. F.5. Deze verandering heeft zich voorgedaan in de periode van de bouw van de stormvloedkering; hierna zijn de veranderingen minder groot. Een trend die zich sinds 1984 voordoet is de geleidelijk verondieping van de Roompot Noord, waarbij het zwaartepunt zich enigszins in noordoostelijke richting verplaatst (Fig. F.11e). Deze aanzandende tendens is relatief iets sterker dan de aanzanding van de geul Roompot Zuid. Het lijkt er derhalve op dat het systeem probeert de oorspronkelijke verhoudingen (in termen van relatief belang van de twee geulen) te herstellen, vergelijk de observatie in paragraaf 4.1.

raai 6: Westgat

De zesde raai is dwars op de geul Westgat getrokken, vanaf de plaat Banjaard naar de plaat Noordland. De waargenomen veranderingen zijn hier minder dramatisch dan bij raai 5, maar toch zijn er duidelijke trends te ontdekken (Fig. F.6). Zo verondiept het Westgat zich aanzienlijk na een geringe initiële verdieping gedurende de bouw van de Oosterschelde stormvloedkering. Bovendien verplaatst de geul zich enigszins in noordelijke richting (Fig. F.11f). Hiernaast is initieel een sterke aanzanding van de plaat Noordland waarneembaar, die na 1976 stopt. De Banjaard, aan de noordzijde van het Westgat gelegen, laat echter na 1976 aan de rand een voortdurende erosie zien. Het algehele beeld van raai 6 na 1976 is derhalve sedimentatie in de geul en erosie van de plaat.

raai 7: Krabbengat

De zevende raai is vanaf de kust dwars op het Krabbengat getrokken, een kortsluitgeul vlak voor de kust van Schouwen Duivenland. Uit Fig. F.7 blijkt duidelijk dat het Krabbengat zich in de loop der tijd heeft verondiept en zich in enigszins in kustwaartse richting heeft verplaatst. De aanzienlijke verdieping van circa 7 m in 1960 tot bijna 12 m in 1996 zet zich nog door, terwijl de kustwaartse verplaatsing tot staan lijkt te zijn gebracht (Fig. F.11g). Het gedrag van de plaat aan de zeezijde van het Krabbengat, de Banjaard, is sterk variabel en

bovendien nogal chaotisch: van 1960 to 1984 wordt een continue aanzanding waargenomen van zo'n 2 tot 3 meter, terwijl in latere jaren weer een sterke erosie optreedt tot bijna het oorspronkelijke niveau in 1964. Uit Fig. F.7 blijkt dat de beschikbare bodemgegevens voor de kust van Schouwen Duivendland voldoende zijn om de ontwikkeling van het Krabbengat te kunnen waarnemen; het is daarom niet noodzakelijk geacht om deze gegevens aan te vullen met bodemgegevens uit het JARKUS databestand.

De ontwikkeling van het Krabbengat is precies het spiegelbeeld van de ontwikkeling van het Westgat. Terwijl het Krabbengat zich verdiept, zandt het Westgat aan. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de verminderde getij-uitwisseling door de bouw van de Oosterschelde stormvloedkering. Hierdoor is de kustdwarse component van de getijstroming verminderd, terwijl de kustlangse component aan belang gewonnen heeft. Door de noord-zuidoriëntatie van het Krabbengat wordt hierin de stroming groter, terwijl het oost-west georiënteerde Westgat aan belang inboet.

raai 8: Brouwershavense gat

De achtste raai is dwars op het Brouwershavense gat getrokken, van noord naar zuid. De volledige afsluiting van de Grevelingen in aanmerking genomen, zijn de morfologische veranderingen in het Brouwershavense gat opvallend gering (Fig. F.8). De diepte van de geul is nauwelijks veranderd en in de veranderingen die waarneembaar zijn, is geen trend te ontdekken. De belendende platen hebben daarentegen wel een significante morfologische verandering ondergaan. Het nogal chaotische gedrag van de Banjaard ($x > 2500$ m in Fig. F.8) is al bij raai 7 bediscussieerd. Het gedrag van de plaat aan de noordzijde van de geul, die deel uitmaakt van de voordelta van de Grevelingen, is trendmatiger. Enige fluctuaties daargelaten treedt er een in de loop der jaren voortschrijdende erosie op, al is deze met 1 m over 35 jaar niet erg sterk te noemen. In Fig. F.11h is de oppervlakte onder het referentieniveau van -5 m uitgezet, alsmede het zwaartepunt van dit oppervlak. De oppervlakte varieert slechts licht en niet trendmatig, terwijl de geul zo'n 100 m in noordelijke richting opschuift.

raai 9: Voordelta Brouwersdam

De negende raai is kustdwars voor de Brouwersdam in landwaartse richting getrokken om inzicht te krijgen in de morfologische veranderingen van de voordelta (Fig. F.9). Voor de uitleg van deze figuur wordt deze in gedachten in drieën geknipt: gebied 1 voor $x = 0$ tot $x = 6000$; gebied 2 voor $x = 6000$ tot $x = 10.000$ en gebied 3 voor $x > 10.000$. In het eerste gebied is erosie waarneembaar, waardoor de vooroever zich over een afstand van circa 200 m terugtrekt. Deze terugtrekking is op diep water minder sterk, waardoor de vooroever zich iets verflauwt. In het tweede gebied valt de kustwaartse migratie over een afstand van enkele kilometers en de uiteindelijke bijna verdwijning van een zandbank op. Niet al het zand lijkt kustwaarts te migreren: een deel van de bank lijkt rond $x = 5000$ te worden afgezet. In gebied 3 zijn er helaas slechts voor 3 jaren gegevens beschikbaar, waarbij 1972 sterk afwijkt van 1993 en 1996. Over een afstand van ruim 2000 m ligt het bodemniveau in 1972 zo'n 2 m boven dat in 1988 en 1993. Op zich is dit niet verwonderlijk gezien de voltooiing van de Brouwersdam in 1971; er is echter te weinig data beschikbaar om een meetfout uit te sluiten. In Fig. F.11i, waar de oppervlakte onder het referentieniveau van -5

m uitgezet, alsmede het zwaartepunt van dit oppervlak, zijn geen duidelijk trends te ontdekken.

raai 10: Kous

De tiende en laatste raai is van noord naar zuid getrokken dwars op de Kous, een relatief kleine dubbele geul voor de Brouwersdam. De geul heeft zich na 1972, de periode van afsluiting, ongeveer 1 m verondiept (Fig. F.10). In de jaren '90 zijn de veranderingen in de geul gering: de geul verondiept zich licht. Helaas is er geen data tussen 1972 en 1992 beschikbaar. De zandbank voor de kust van Goeree (rond $x = 500$ m) is in de jaren '90 wél aan sterke veranderingen onderhevig. In een periode van slechts 8 jaar schuift de plaatrand meer dan 500 m op naar het zuiden en wordt veel steiler. De verwachting is dan ook dat de Kous de komende jaren zal gaan aanzanden. In Fig. F.11j komt de aanzandende trend van dit systeem goed naar voren. Het zwaartepunt van het oppervlak onder het referentieniveau van -5 m beweegt zich naar het zuiden.

5.3 Resultaten detail analyse plaat systemen

De morfologische veranderingen van de banken worden in een tweetal figuren grafisch weergegeven. In Fig. G.1 worden de volumes van de platen gegeven als functie van de tijd. Het volume van een plaat is gedefinieerd als het totale volume (in m^3) boven het opgegeven referentieniveau. Echter, de plaatvolumes in Fig. G.1 zijn gedeeld door de plaatvolumes in 1992, dat als referentiejaar is aangehouden omdat de data in dit jaar compleet zijn. Plaatvolumeveranderingen (gedefinieerd als het verschil in plaatvolume tussen jaar n en 1992) worden hiernaast gegeven in Tabel 4.1. Hierin worden voor het referentiejaar 1992 ook de absolute plaatvolumes vermeld. Merk op dat in deze tabel voor een aantal jaren voor sommige platen de gegevens ontbreken. In deze gevallen waren de bodemgegevens niet beschikbaar of incompleet. Voor de platen A t/m D is een referentieniveau van -10 m aangehouden, voor de platen E en F een referentieniveau van -5 m.

	Bank A	bank B	bank C	bank D	bank E	bank F
jaar / z_{ref} (m)	-10	-10	-10	-10	-5	-5
	10^6 m^3	10^6 m^3	10^6 m^3	10^6 m^3	10^6 m^3	10^6 m^3
1960	-7	-5	24		-1	
1964	-4	-5	-1	1	0	
1972			25		1	10
1976	-6	1	11	15	2	
1980	4	7	10	21	6	
1984	2	5	17	28	10	
1988	0	2	-1	-2	2	1
1992	0	0	0	0	0	0
1996		-4	-2	-5	9	0
foutenmarge	± 7	± 8	± 13	± 12	± 14	± 6
abs. volume 1992	116	92	102	109	42	47
oppervlakte (10^6 m^2)	37	40	64	59	68	31

Tabel 5.2: Veranderingen in plaatvolume (in 10^6 m^3) ten opzichte van her referentiejaar 1992. Van het referentiejaar zijn bovendien de absolute volumes gegeven.

In Tabel 5.3 en Fig. G.2 wordt de verschuiving van het zwaartepunt van de platen gegeven, zowel in oostelijke als in noordelijke richting. Hierbij is de positie van de platen in 1992 als referentiepositie aangehouden. Voor de geografische ligging van deze platen in 1992 wordt verwezen naar Fig. E.2. De verplaatsingen in Fig. G.2 worden gegeven als verschil ten opzichte van deze referentiepositie.

	Bank A		bank B		bank C		bank D		bank E		bank F	
jaar / z_{ref} (m)	-10		-10		-10		-10		-5		-5	
	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy
1960	-377	-140	-156	-40	-1042	-520			-146	-1030		
1964	-328	-90	-75	-70	-143	-70	48	130	-58	-1000		
1972					-54	110			-109	-950	164	100
1976		-40	-135	-150	-269	-50	-23	150	-9	-690		
1980	-79	0	-145	-60	-219	-20	-110	210	-28	-500		
1984	-25	-20	-46	-60	-30	300	-511	-60	302	-420		
1988	-25	0	-39	-10	-56	-10	-27	20	-6	-130	-79	10
1992	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1996			55	20	12	-20	76	60			7	0

Tabel 5.3: Plaatverschuivingen (in m) ten opzichte van het referentiejaar 1992.

Hieronder volgt voor ieder plaatsysteem een korte discussie van de berekende resultaten.

bank A: Noordland

Het Noordland ondergaat geen sterke morfologische veranderingen. Het plaatvolume boven het referentieniveau van -10 m neemt tot 1980 licht toe, maar daarna is weer een geringe afname waarneembaar (Fig. G.1). Het zwaartepunt van de plaat verplaatst zich een kleine 400 m naar het oosten en ruim 100 m naar het noorden (Fig. G.2). Na 1980 blijft de positie van de plaat min of meer constant.

bank B: Hompels

Het plaatvolume van de Hompels is evenmin aan sterke veranderingen onderhevig. Net als bij het Noordland neemt het volume tot 1980 licht toe en daarna weer enigszins af. Het gedrag van deze platen lijkt dan ook gekoppeld. De positie van de plaat varieert over een periode van 35 jaar minder dan 100 m.

bank C: Domburgerrassen

De Domburgerrassen zijn de platen voor de kust van Walcheren. Het plaatvolume varieert sterk over de jaren (tot wel 25%), maar de waargenomen variatie is niet trendmatig. De gemiddelde afname is statistisch niet significant ($R^2=0.3$). Ten opzichte van 1960 heeft de plaat zich ongeveer 1000 m kustwaarts verplaatst. Deze verplaatsing heeft zich overigens in de jaren '60 al gestabiliseerd. De noord-zuid verplaatsing van de plaat is gering.

bank D: Banjaard-West

De Banjaard-West is een plaat in de voordelta van Schouwen Duivenland. Rond 1984 doet zich bij deze plaat een trendbreuk voor: voor dit jaartal neemt het plaatvolume ruim 10% toe, terwijl daarna het volume met bijna 30% afneemt. Deze trendbreuk is ook waarneembaar in de plaatverschuiving. Tot 1984 beweegt de plaat zich enkele honderden meters naar het zuidwesten, na 1984 beweegt de plaat zich terug naar het noordoosten. Het jaar 1984 ligt in de periode van de voltooiing van de Oosterscheldekering, hetgeen suggereert dat de waargenomen trendbreuk door de constructie van deze kering wordt veroorzaakt.

bank E: Banjaard

De Banjaard verplaatst zich in de loop der jaren ongeveer 1000 m naar het noorden. Oost-west verschuivingen treden nauwelijks op. In het jaar 1984 is het plaatvolume significant groter dan in andere jaren. Dit is ook te zien in Fig. 1.4, waaruit blijkt dat in dit jaar een deel van de plaat boven het niveau $z = -1.25$ m uitkomt. In de andere jaren wordt dit niveau niet of nauwelijks bereikt. Het jaar 1984 komt overeen met de trendbreuk in het gedrag van de Banjaard-West en is tevens waarneembaar aan het uiteinde van raai 7, die zich tot aan de Banjaard uitstrekt (Fig. F.7). Merk op dat het gekozen referentieniveau van deze plaat -5 m bedraagt, in tegenstelling tot de platen A t/m D.

bank F: Middelplaat

De Middelplaat is één van de platen voor de Brouwersdam. Helaas zijn slechts voor een viertal jaren bodemgegevens beschikbaar. De Middelplaat laat duidelijk een eroderende trend zien. Sinds 1972 is het plaatvolume met ruim 20% afgenomen. De ligging van de plaat verandert niet erg sterk al is een geringe zeewaartse verplaatsing waarneembaar.

5.4 Synthese

Samenvattend kan gesteld worden dat de morfologische veranderingen van de plaatsystemen niet erg geprononceerd zijn, met uitzondering van de Middelplaat (plaat F), waarvan het volume in de loop van 25 jaar met circa 20% is afgenomen en van de Banjaard (plaat E), die circa 1 km naar het noordoosten migreert. Verder vertonen alle platen (behalve plaat F) wel ergens in het beschouwde tijdvenster een trendbreuk, zodat geen uitspraak kan worden gedaan over langetermijnontwikkelingen.

De belangrijkste morfologische eigenschappen van de geulen zijn de volgende:

1. de noordelijke geulen in het keelgat van de Oosterschelde verdiepen zich (Hammen en Schaar van Roggenplaat, zie raai 1).
2. de zuidelijke geulen in de keelgaten van zowel de Oosterschelde als de Grevelingen veranderen zijn relatief constant (respectievelijk raai 8: Brouwershavense gat en raaien 1 en 3: Roompot).
3. de migratie van de geulen is gering, met uitzondering van de Roompot Noord die met de klok mee roteert (raai 5).
4. het Westgat, gelegen in de Oosterschelde buitendelta, zandt aan (raai 6).
5. het Krabbengat verdiept zich (raai 7).

Het is opmerkelijk dat de waargenomen morfologische trendbreuken zich steeds voordoen in de jaren '60 en begin jaren '80. Deze periodes vallen precies samen met de eindfase van de bouw van respectievelijk de Brouwersdam en de Oosterschelde stormvloedkering. Hier lijkt dus een verband te liggen tussen de aanleg van de grote civiele werken en de trendbreuken in morfologisch gedrag, al blijft het moeilijk onderscheid te maken tussen de natuurlijke ontwikkeling van het systeem en het effect van de constructies.

In de jaren '90 is de morfologische activiteit van de beschouwde systemen geringer dan in de daaraan voorafgaande decennia. Het lijkt erop dat het effect van de plotselinge verstoringen die in het systeem zijn aangebracht (in de vorm van de Deltawerken) is uitgewerkt wat betreft de kortetermijn morfologische ontwikkelingen en het systeem een nieuw evenwicht heeft bereikt. Langetermijnontwikkelingen treden natuurlijk nog wel op, maar de beschouwde periode is te kort om hierover door middel van data-extrapolatie voorspellingen te doen. Hiervoor is immers alleen de data uit de jaren negentig beschikbaar: data van de trendbreuken is niet representatief voor het nieuwe systeem met voltooide Deltawerken.

6 Nauwkeurighedsanalyse

De nauwkeurigheid van de gemaakte analyse hangt sterk samen met de meetnauwkeurigheid van de lodingstechieken, waarmee Rijkswaterstaat de bodemdata verzameld heeft. Algemeen gesproken is een meetfout opgebouwd uit de som van een toevallige fout en een systematische fout. De toevallige component kan worden verkleind door een meting een aantal keren te herhalen en de meetwaarden te middelen. Bij een systematisch fout is dit niet mogelijk omdat de fout op dezelfde manier doorwerkt in alle metingen (bijvoorbeeld doordat wordt gewerkt met een foutieve nul- of referentiewaarde). De systematische fout zal per meetjaar en mogelijk zelfs per gevaren raai anders zijn. De grootte van de systematische fout wordt voornamelijk bepaald door de onzekerheid in de waterstand ten tijde en ter plaatse van de meting. De standaardafwijking ten gevolge van de toevallige fout wordt bepaald door de meettechniek alsmede de weerscondities tijdens de metingen (golven!).

Van de bovengenoemde foutenbronnen is de bijdrage van de limitaties van de meettechniek aan de totale toevallige fout constant, mits deze techniek hetzelfde blijft. De bijdrage van de golven is uiteraard afhankelijk van de weerscondities tijdens de meting. Bij al te ruw weer zal over het algemeen niet gemeten worden. Rekening houdend met een bijdrage van beide bronnen wordt de totale toevallige fout geschat op 0.3 m. Ook de grootte van de systematische fout moet geschat worden (ware deze wel bekend geweest, dan was het eenvoudig ervoor te corrigeren). Hiervoor wordt een waarde van 0.2 m aangehouden.

In deze studie is verondersteld dat bodemveranderingen van minder dan 0.5 m binnen de nauwkeurigheidsmarge van de lodingstechiek vallen en derhalve niet significant zijn. Grotere bodemveranderingen worden verondersteld wel significant te zijn. Dit is een enigszins conservatieve schatting: in een groot aantal gevallen zal de nauwkeurigheid zeker beter zijn. Desalniettemin is toch een waarde van 0.5 m als ondergrens aangehouden.

Dit uitgangspunt heeft consequenties voor de interpretatie van de resultaten voortkomend uit de toepassing van de verschillende analyse technieken. In geval van de visualisatie van de morfologische ontwikkeling middels een *animatie* is gekozen voor kleurklassen met een interval 2 m, wat aanzienlijk groter is dan de meetnauwkeurigheid van 0.5 m. Geobserveerde bodemveranderingen zijn daarmee zonder meer significant. Dit geldt ook voor de bodemveranderingen die te zien zijn in de *erosie- en sedimentatieplots* (C.1 t/m C.8), waar bewust gekozen is voor een kleurklasse 'wit' van -0.5 tot +0.5 m. Hierdoor zijn bodemveranderingen die vallen binnen de nauwkeurigheidsmarge niet zichtbaar. Analoog is bij de interpretatie van resultaten uit detailanalyses langs *raaien* rekening gehouden met een significantieniveau van 0.5 m.

Anders ligt de situatie in geval van de *kuberingen*, zowel wat betreft grootschalige als kleinschalige morfologische eenheden. Laten we veronderstellen dat er per plaat zoveel meetpunten zijn, dat toevallige fouten uitmiddelen. Hiermee blijft alleen de systematische fout van ongeveer 0.2 m over. Volgens de meest pessimistische benadering betekent dit dat

voor kuberingsvakken met een oppervlak van $A \text{ m}^2$ alleen volumeveranderingen groter dan 0.2 keer $A \text{ m}^3$ significant zijn. Ten aanzien van de plaatsystemen betekent dit dat de volumeveranderingen van de platen A, B en E niet significant zijn, maar die van de platen C en D wel (vgl. Tabel 5.2). In geval van de grootschalige kuberings (Hoofdstuk 4) houdt dit in dat over de volledige periode 1964 - 1992 geen van vakken aan de nauwkeurigheidseisen voldoet; over de periodes 1964 - 1980 en 1980 - 1992 'aan weerszijden van de trendbreuk' gaat het beter en doorstaat alleen het vak 'Binnendelta' de test niet. Overigens kan hierbij nog opgemerkt worden dat de gekozen benadering wellicht wel té pessimistisch is. Aangezien de bodems van dergelijk grote gebieden nooit allemaal op één en dezelfde dag gemeten kunnen zijn, heeft ook deze systematische fout in zekere zin weer een random karakter. Tenzij hiervoor achteraf weer gecorrigeerd is, maar daarvoor ontbreken ons de gegevens.

Dit wat pessimistische beeld kan nog verder genuanceerd worden door de trend in deelkuberings over periodes van 4 jaar in de beschouwingen mee te nemen. Indien deze trend een consistent beeld geeft neemt de betrouwbaarheid van de resultaten van de kuberings toe. Vanwege de beperkte beschikbaarheid van data moest voor het berekenen van de kuberings over deelperiodes gebruik gemaakt worden van de opgevulde bodems, zoals die gemaakt zijn voor de animatie. Noodgedwongen beslaan deze een iets minder groot gebied, waardoor de grootschalige kuberingsvakken voor een klein gedeelte buiten het grid vallen (Fig. H.1, appendix). Hierdoor ontstaan kleine verschillen in vergelijking met de kuberings op de ruwe data in Hoofdstuk 4 (voornamelijk in geval van het vak 'Binnendelta'), doch dit heeft geen negatieve consequenties voor de geldigheid van de conclusies.

De resultaten van de grootschalige kuberings per deelperiode van 4 jaar zijn gegeven in Fig. H.2 in de appendix. De volume veranderingen over de periode 1964 - 1972 zijn hierin opgedeeld in twee afzonderlijke periodes, wat ze vergelijkbaar maakt met de resultaten voor de andere deelperiodes. Het is belangrijk om bij de interpretatie van deze resultaten de fout volgens de meest pessimistische benadering (als boven beschreven) in het achterhoofd te houden: deze bedraagt 9 miljoen m^3 voor het vak Buitendelta Noord, 12 miljoen m^3 voor vak Buitendelta Zuid, 28 miljoen m^3 voor het vak Binnendelta en 74 miljoen m^3 voor het totale gebied. In de kuberings van het totale gebied is wel degelijk een trend te ontdekken: toenemende aanzandingen over de periode 1960 - 1980 slaan om in waarden rond de nul gedurende de tweede helft van de jaren tachtig en zelfs erosie in de jaren 90. Opvallend is de (negatieve) uitschieter naar een verlies van bijna 50 miljoen m^3 over de periode 1980 - 1984. Deze zou qua orde grootte te wijten kunnen zijn aan een systematische fout in waarschijnlijk de bodem van 1984. Opmerkelijk is tevens dat ook de andere drie vakken een dergelijke uitschieter laten zien over de periode 1980 - 1984. Dit ondersteunt de suggestie dat we te maken hebben met een systematische fout. Bij de trendanalyses in dit hoofdstuk zijn de volumeveranderingen over de periode '80-'84 dan ook verder buiten beschouwing gelaten.

De trend in de kuberings van de binnendelta is tegengesteld aan die over het totale gebied. Op de binnendelta zien we een tendens van afnemende aanzandingen tot zelfs erosie over de periode 1960 - 1980, welke overgaat in aanzandingen gedurende de tweede helft van de jaren tachtig en begin jaren negentig. Ook deze trend is nog goed traceerbaar. Vanwege de

relatief kleine morfologische activiteit is het moeilijk een trend te ontdekken in de kuberingen van de beide vakken op de buitendelta, hoewel ook hier opgemerkt moet worden dat een groot deel van de onzekerheid gerelateerd is aan de uitschieter over de periode 1980 - 1984. Volstaan wordt met de constatering dat de berekende kuberingen op de buitendelta met de nodige voorzichtigheid geïnterpreteerd moeten worden.

Een andere aanpak voor het schatten van de foutenmarge is het maken van een regressieanalyse op de meetdata. In Tabel 6.1 worden de resultaten van een dergelijke analyse gepresenteerd, uitgaande van een lineaire trend. Hierbij zijn absolute de volumeveranderingen van de platen (in 10^6 m^3) geanalyseerd. Hieruit blijkt dat behalve voor plaat F —waarvoor slechts 4 observaties beschikbaar zijn— de foutenmarges groter zijn dan de absolute veranderingen. Dit wordt mede veroorzaakt doordat de veronderstelde lineaire trend in werkelijkheid niet optreedt. In Paragraaf 5.3 is besproken dat alle platen behalve plaat F wel ergens in de beschouwde periode een trendbreuk laten zien. Harde conclusies omtrent volumeveranderingen mogen daarom niet worden getrokken op basis van de uitgevoerde regressieanalyse. Voor een regressieanalyse die rekening houdt met de waargenomen trendbreuken is helaas te weinig data beschikbaar.

plaat no.	n_{obs}	volumeverandering (in $10^6 \text{ m}^3/\text{jaar}$)	95% betrouwbaarheidsinterval (in $10^6 \text{ m}^3/\text{jaar}$)
A	7	0.25	± 0.26
B	8	0.14	± 0.31
C	9	-0.49	± 0.63
D	7	-0.31	± 1.23
E	9	0.19	± 0.23
F	4	-0.44	± 0.16

Tabel 6.1: *Regressie-analyse van plaatvolumeveranderingen, zie ook Fig. G.1*

7 Conclusies

Voorliggend rapport bespreekt de resultaten van de analyse van de vierjaarlijkse vaklodingen op de Voordelta over de periode 1960 - 1996. Dit betreft de grootschalige morfologische veranderingen zoals die zich hebben voorgedaan voor, tijdens en na de afsluiting van een aantal grote zeearmen in het kader van het Deltaplan. Om een kader te scheppen, zowel wat betreft het tijdsframe van de ingrepen als bestaande kennis rond de morfodynamiek van delta's, is in dit rapport tevens kort aandacht geschonken aan de uitvoering van de Deltawerken en wordt beknopt enige theorie behandeld over het morfologisch gedrag van delta's, waarbij de Grevelingendelta als voorbeeld fungeert.

Uit de analyses blijkt dat zowel bij de Oosterschelde als bij het Haringvliet grootschalig menselijk ingrijpen een rol heeft gespeeld voor de morfologische ontwikkeling van de delta. In geval van het Haringvliet is dit verband rechtstreeks te leggen; bij de Oosterschelde is de grootschalige morfologische ontwikkeling (bv. de noordwaartse migratie en rotatie van de geul Roompot-Noord) hoogstens indirect te relateren aan de aanleg van de Deltawerken. Dit is weinig verwonderlijk, aangezien de Oosterschelde stormvloedkering slechts een gedeeltelijke afsluiting betreft! Waarschijnlijk speelt natuurlijke variabiliteit een grote rol in de morfologische ontwikkeling van de Oosterscheldedelta, hoewel de beschouwde periode te kort is om te concluderen dat genoemde geul Roompot-Noord cyclisch gedrag vertoont. Op de grote schaal neemt de morfologische activiteit af na 1980.

De grootschalige morfologische veranderingen zoals gevisualiseerd aan de hand van de verschilplots en de animatie zijn gekwantificeerd met behulp van kuberingstechnieken. Hieruit blijkt duidelijk dat er sprake is van een trendbreuk in het gedrag van het systeem in het begin van de jaren tachtig: daar waar over de periode 1964 - 1980 nog sprake is van een aanzanding van zo'n 100 miljoen m³ over de totale Oosterscheldedelta, daar slaat deze om in een erosie van ruim 50 miljoen m³ over de periode 1980 - 1992. Ditzelfde gedrag zien we op de binnendelta. Eveneens rond 1980 slaat dit om van min of meer stabiel naar erosief (verlies orde 20 miljoen m³ over de periode 1980 - 1992). Een analyse van de consistentie van de resultaten van kuberingen over deelperiodes heeft uitgewezen dat deze voor wat betreft het gehele gebied en de binnendelta betrouwbaar zijn. In geval van de buitendelta's is wat meer voorzichtigheid geboden.

Resultaten van de detailanalyses (ontwikkeling langs bodemprofielen en kubering van individuele morfologische eenheden) kwantificeren en ondersteunen de observaties die gedaan zijn op basis van de bestudering van de grootschalige morfologische veranderingen. Opvallend is de verdieping en kustwaartse verplaatsing van het Krabbengat direct voor de kust van Schouwen. De verplaatsing en verzanding van de plaatsystemen is niet erg geprononceerd. De observatie van een afname van de morfologische activiteit op grote schaal na 1980 is in lijn met de resultaten van de detailanalyses, waaruit blijkt dat er sprake is van een aantal morfologische trendbreuken, die zich steeds voordoen begin jaren '60 en begin jaren '80. Deze periodes vallen precies samen met de eindfase van de bouw van respectievelijk de Brouwersdam en de Oosterschelde stormvloedkering. De oorzaak zou derhalve kunnen liggen in een afname van de aandrijving ten gevolge van het kleiner

worden van het getijprisma, gecombineerd met een afname van het aantal vrijheidsgraden van het systeem veroorzaakt door het gedeeltelijk vastleggen van de morfologie. Samenvattend (en onder verwijzing naar Paragraaf 5.4) kan gesteld worden dat de noordelijke geulen in het keelgat van de Oosterschelde zich verdiepen, dat de veranderingen in de zuidelijke geulen van de Oosterschelde en het Grevelingen opvallend gering zijn evenals de migratie van de geulen (met uitzondering van de Roompot Noord) en dat het Krabbengat zich verdiept terwijl het Westgat aanzandt.

Het is de bedoeling dat de resultaten van deze studie als referentie gaan dienen voor het nog voort te zetten project 'Grootschalig morfodynamisch modelleren' (RKZ-506). Daartoe is bij de beschrijving van de morfologische ontwikkelingen het accent gelegd op grootschalige veranderingen, welke in geval van een aantal karakteristieke eenheden verrijkt zijn met kwantificeringen op detailniveau. Gelet op het karakter van de modelstudie, waarbij de nadruk zal liggen op grote schalen en de toepassing van Delft3D-RAM, ligt er hiermee een goede basis voor de vaststelling van de toepasbaarheid van het huidige modellen-instrumentarium voor grote schaal en lange termijn morfologische veranderingen.

Referenties

- Antonisse, R. (1986). De Kroon op het Deltaplan. Stormvloedkering Oosterschelde, het grootste waterbouwproject aller tijden. 2^e druk bijgewerkte editie, Elsevier - Amsterdam/Brussel.
- Bruun, P. and Gerritsen, F. (1960). Stability of coastal inlets. North-Holland Publ. Comp., Amsterdam, 1960.
- De Vriend, H.J., Bakker, W.T. and Bilsse, D.P. (1994). A morphological behaviour model for the outer delta of mixed-energy tidal inlets. Coastal Eng. 32(3/4): 305-327.
- De Vriend, H.J., Dronkers, J., Stive, M.J.F., Van Dongeren, A. and Wang, Z.B. (1998). Coastal inlets and tidal basins. College dictaat CTwa5303, TU Delft, Faculteit der Civiele Techniek en Geowetenschappen.
- Eysink, W.D. (1990). Morphologic response of tidal basins to changes. In: Proc. of 22nd Int. Conference on Coastal Engineering, Delft, The Netherlands. ASCE, pp. 1948-1961.
- Holland, G. van (1997). Hydrodynamica en morfodynamica van de monding van het Haringvliet. Validatie van modeltechnieken voor een intergetijd gebied. Afstudeerverslag TU Delft, Faculteit der Civiele Techniek, Augustus 1997
- Nipius, K.G. (1998). Dwarstransportmodellering m.b.v. Baillard, toegepast op de Voordelta Grevelingenmonding. Afstudeerverslag TU Delft, Faculteit der Civiele Techniek en Geowetenschappen, juni 1998
- Postma, R., J. Mulder, T. Louters, F. Hallie. (1991a). Een prognose van de morfologie van de Grevelingen-Buitendelta in 2010. Rapport GEOPRO 1991.08.
- Postma, R., J.P.M. Mulder, T. Louters, F.P. Hallie. (1991b). Een prognose van de morfologie van de Haringvliet-Buitendelta in 2010. Rapport GEOPRO 1991.09.
- Sha, L.P. en Van den Berg, J.H. (1993). Variation in ebb-tidal delta geometry along the coast of the Netherlands and the German Bight. Journal of Coastal Research, 730-746.
- Steijn, R.C. (1991). Some considerations on tidal inlets. WLDelft Hydraulics Report H840.45, Delft.
- Steijn, R.C., Louters, T., Van der Spek, A.J.F. and De Vriend, H.J. (1989). Numerical model hindcast of the ebb-tidal delta evolution in front of the deltaworks. In: Proc. of conference on Hydraulic and Environmental Modelling of Coastal, Estuarine and River Waters, Bradford, UK, pp. 255-264.
- Stive, M.J.F. en Eysink, W.D. (1989). Voorspelling ontwikkeling kustlijn 1990 - 2090, fase 3. Deelrapport 3.1: dynamisch model van het Nederlandse kustsysteem. WLDelft Hydraulics rapport H825.
- Walton, T.L and Adams, W.D. (1976). Capacity of inlet outer bars to store sand. In: Proc. 15th Coastal Eng. Conf., Honolulu, Hi. ASCE, pp. 1919-1937.

Lijst van figuren

Fig. A.1	Overzichtskaart Voordelta en Deltawerken
Fig. A.2	Overzichtskaart vakindeling lodingen RWS
Fig. B.1	Bodemligging Voordelta 1960 en 1964
Fig. B.2	Bodemligging delta 1972
Fig. B.3	Bodemligging Voordelta 1976 en 1980
Fig. B.4	Bodemligging Voordelta 1984 en 1988
Fig. B.5	Bodemligging Voordelta 1992 en 1996
Fig. B.6	Bodemligging Haringvliet delta 1957 en 1970
Fig. B.7	Bodemligging Haringvliet delta 1990 en 1991
Fig. B.8	Bodemligging Haringvliet delta 1992 en 1994
Fig. B.9	Bodemligging Haringvliet delta 1995 en 1996
Fig. B.10	Bodemligging Haringvliet delta 1997 en 1998
Fig. C.1	Bodemverandering Voordelta 1960 - 1964 en 1964 - 1972
Fig. C.2	Bodemverandering Voordelta 1972 - 1976 en 1976 - 1980
Fig. C.3	Bodemverandering Voordelta 1980 - 1984 en 1984 - 1988
Fig. C.4	Bodemverandering Voordelta 1988 - 1992 en 1992 - 1996
Fig. C.5	Bodemverandering Voordelta 1964 - 1980 en 1980 - 1996
Fig. C.6	Bodemverandering Voordelta 1964 - 1996
Fig. C.7	Bodemverandering Haringvliet 1957 - 1970 en 1970 - 1990
Fig. C.8	Bodemverandering Haringvliet 1990 - 1994 en 1994 - 1998
Fig. D.1	Overzichtskaart ligging kuberingsvakken grootschalige analyse
Fig. E.1:	Ligging bodemprofielen 1 t/m 10, detailanalyse
Fig. E.2:	Ligging plaatsystemen A t/m F, detailanalyse
Fig. F.1-2:	Bodemligging raaien 1 (Oosterscheldedam) en 2 (Roompot-Zuid)
Fig. F.3-4:	Bodemligging raaien 3 (Roompot) en 4 (Hammen)
Fig. F.5-6:	Bodemligging raaien 5 (Roompot-Noord) en 6 (Westgat)
Fig. F.7-8:	Bodemligging raaien 7 (Krabbengat) en 8 (Brouwershavense Gat)
Fig. F.9-10:	Bodemligging raaien 9 (Voordelta Brouwersdam) en 10 (Kous)
Fig. F.11a-f:	Ontwikkeling oppervlakte en zwaartepunt raaien 1 t/m 6
Fig. F.11g-j:	Ontwikkeling oppervlakte en zwaartepunt raaien 7 t/m 10
Fig. G.1-2	Relatieve verandering in plaatvolumes en plaatverschuivingen
Fig. H.1	Ligging kuberingsvakken grootschalige kubering per deelperiode
Fig. H.2	Trend in kuberingen grootschalige morfologische eenheden

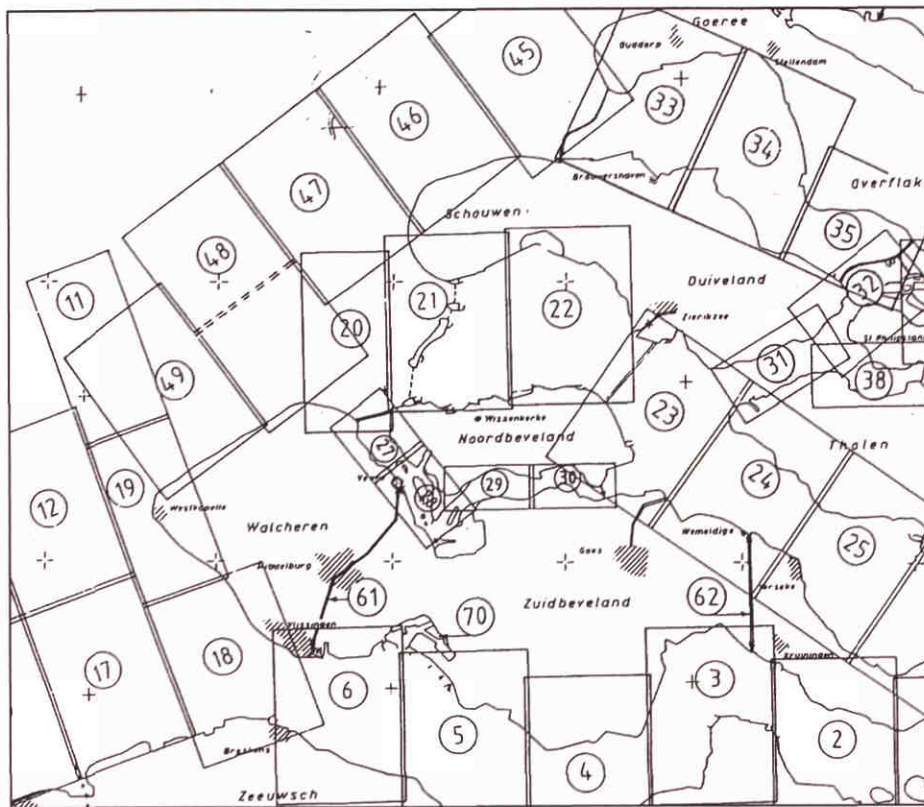
Appendices

Appendix A1: Overzichtskaart Voordelta en Deltawerken



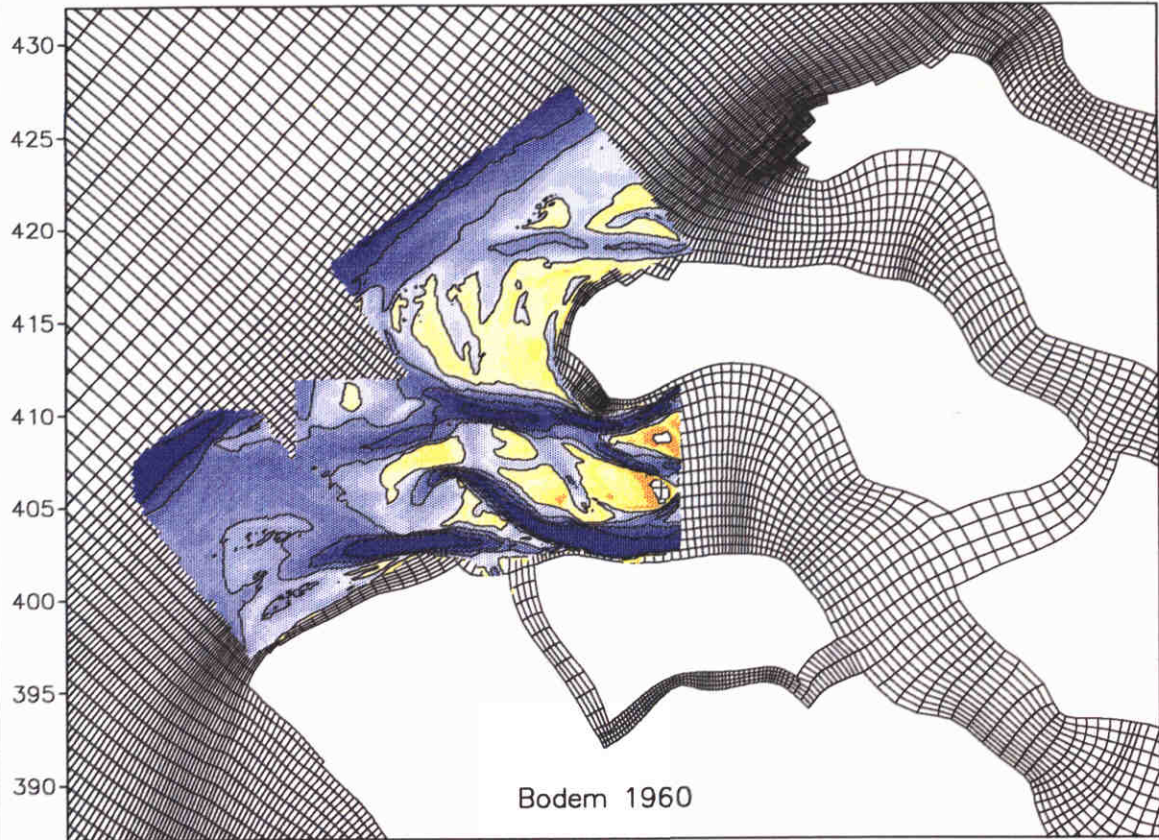
Bron: Bos atlas

Appendix A2: Overzichtskaart vakindeling lodingen RWS



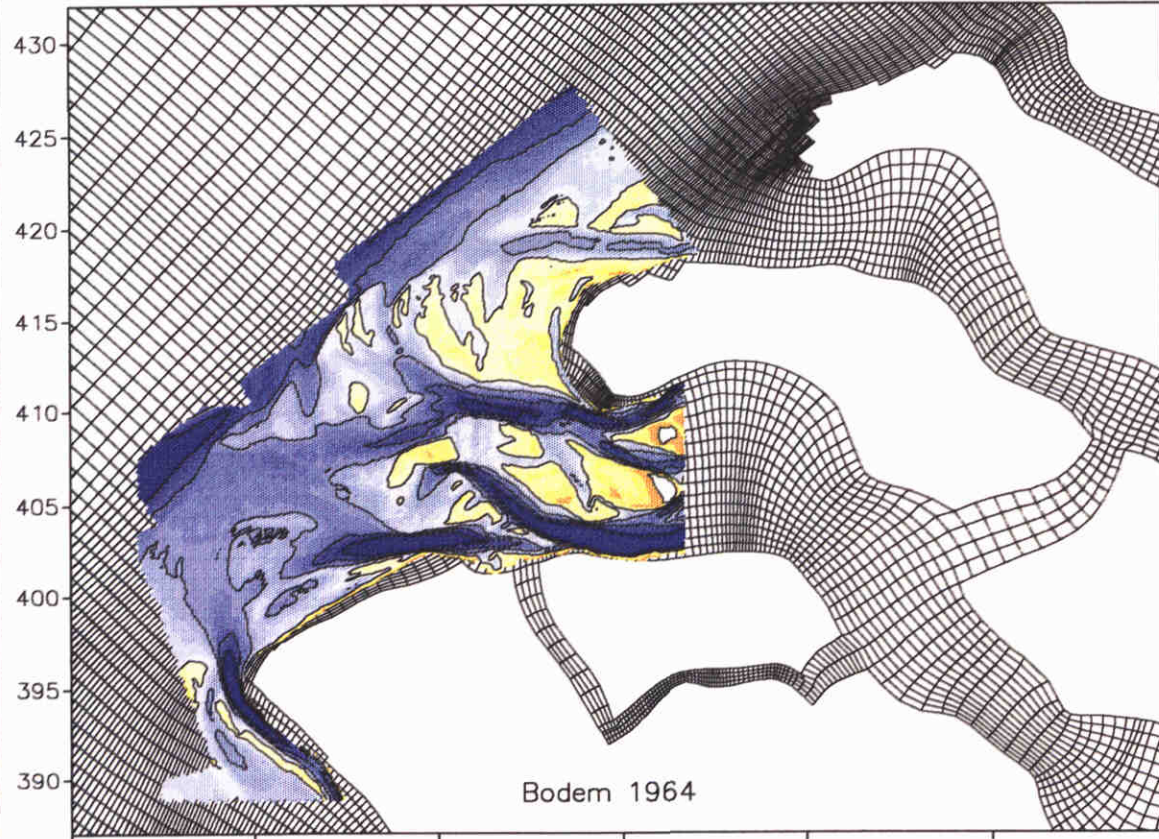
Bron: Faseringplan monitoring vaklodingen. Regio Delta en kust Zuid Holland 1992.

Appendix B



- <0.000
- <1.250
- <2.500
- <3.750
- <5.000
- <6.250
- <7.500
- <8.750
- <10.000
- <11.250
- <12.500
- <13.650
- <15.000
- <16.250
- <17.500
- <18.750
- <20.000
- >20.000

Bodem 1960

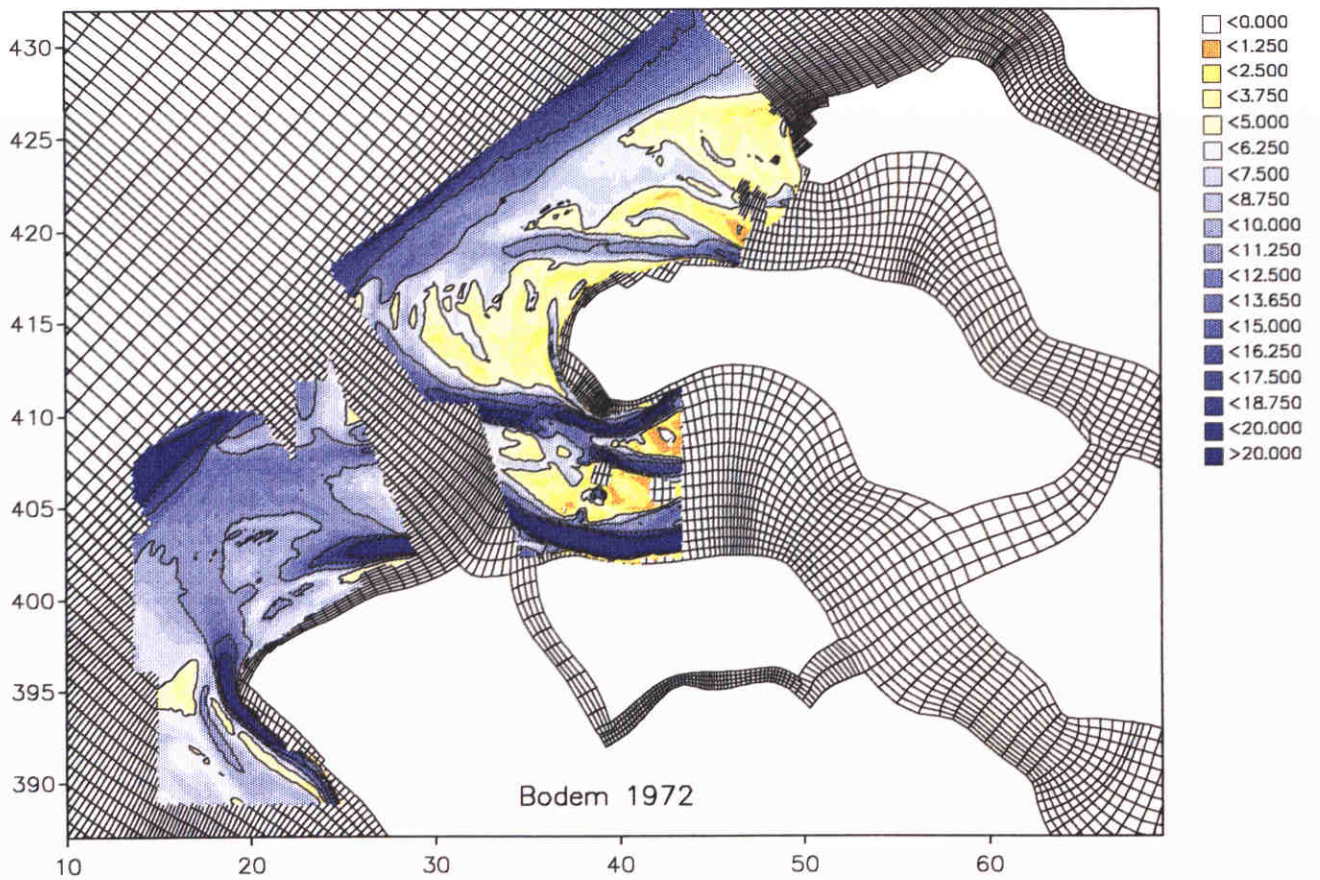


- <0.000
- <1.250
- <2.500
- <3.750
- <5.000
- <6.250
- <7.500
- <8.750
- <10.000
- <11.250
- <12.500
- <13.650
- <15.000
- <16.250
- <17.500
- <18.750
- <20.000
- >20.000

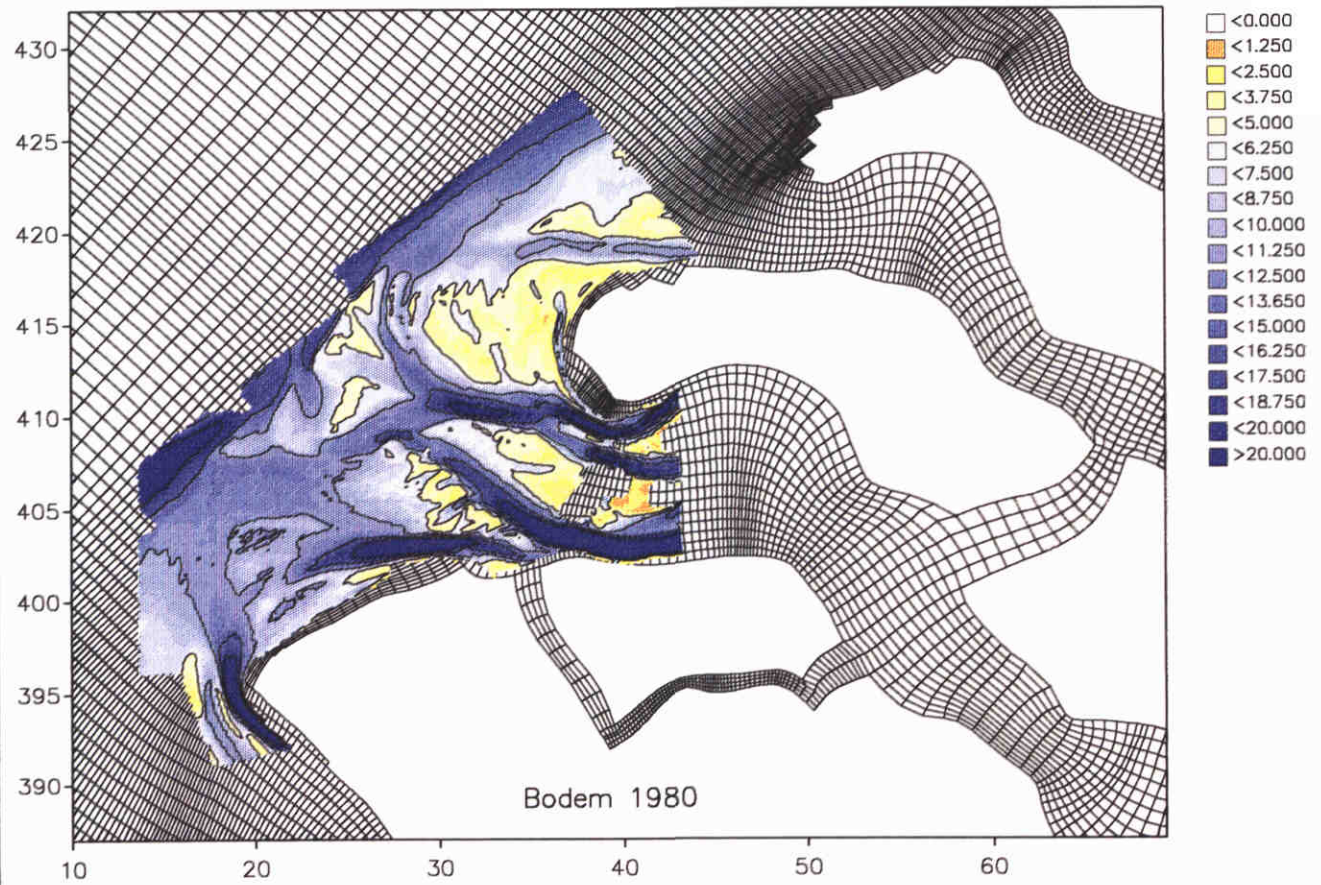
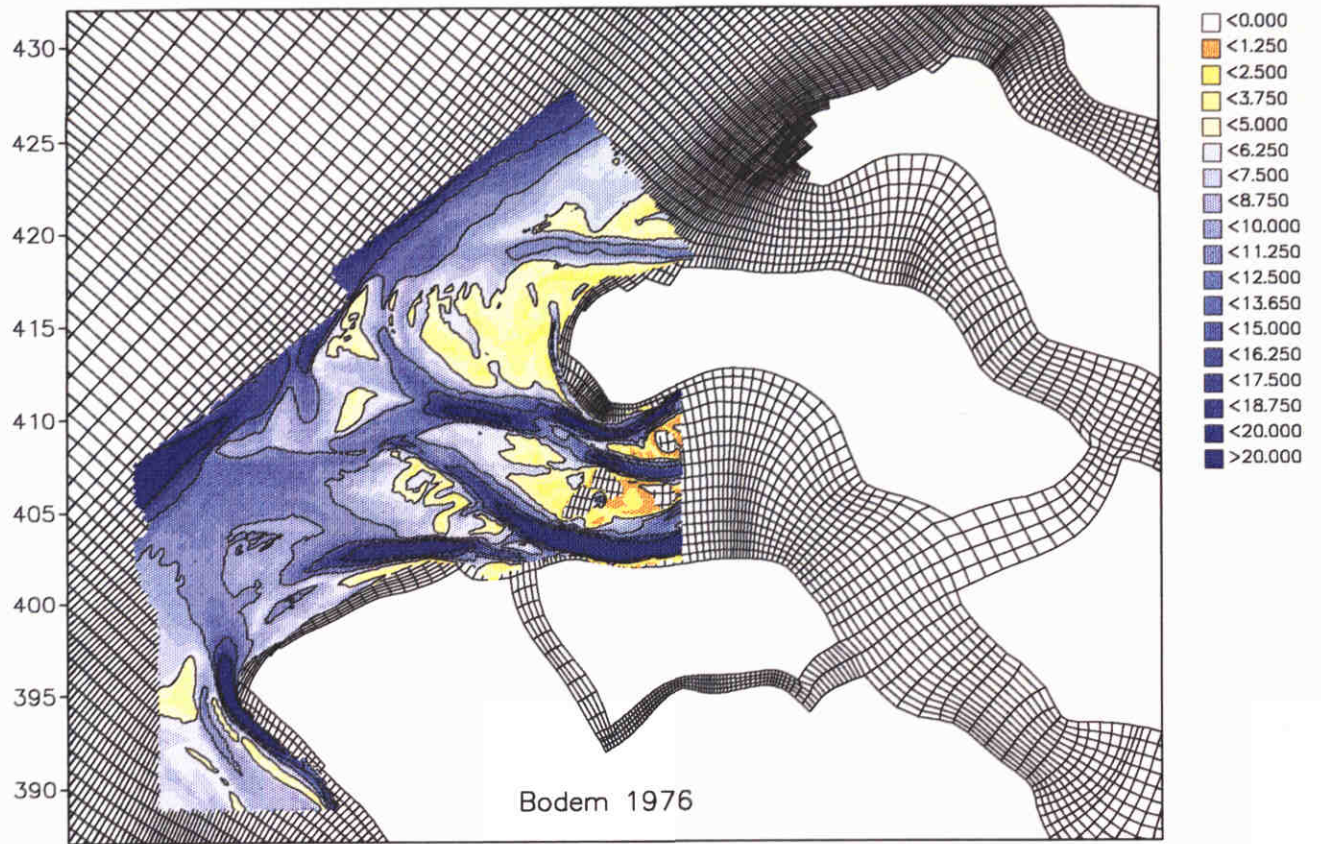
Bodem 1964

Data analyse Voordelta
 Gemeten bodems 1960 1964

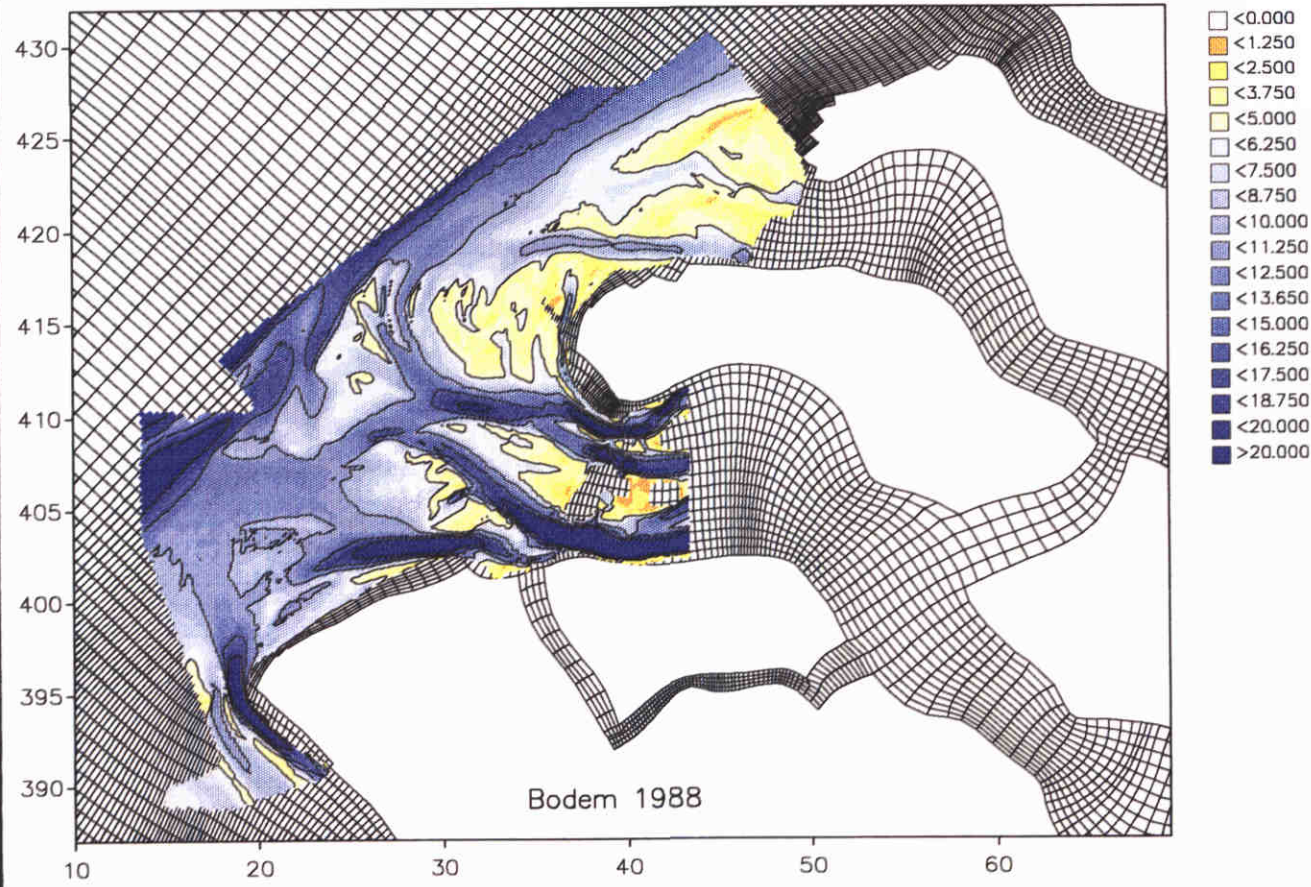
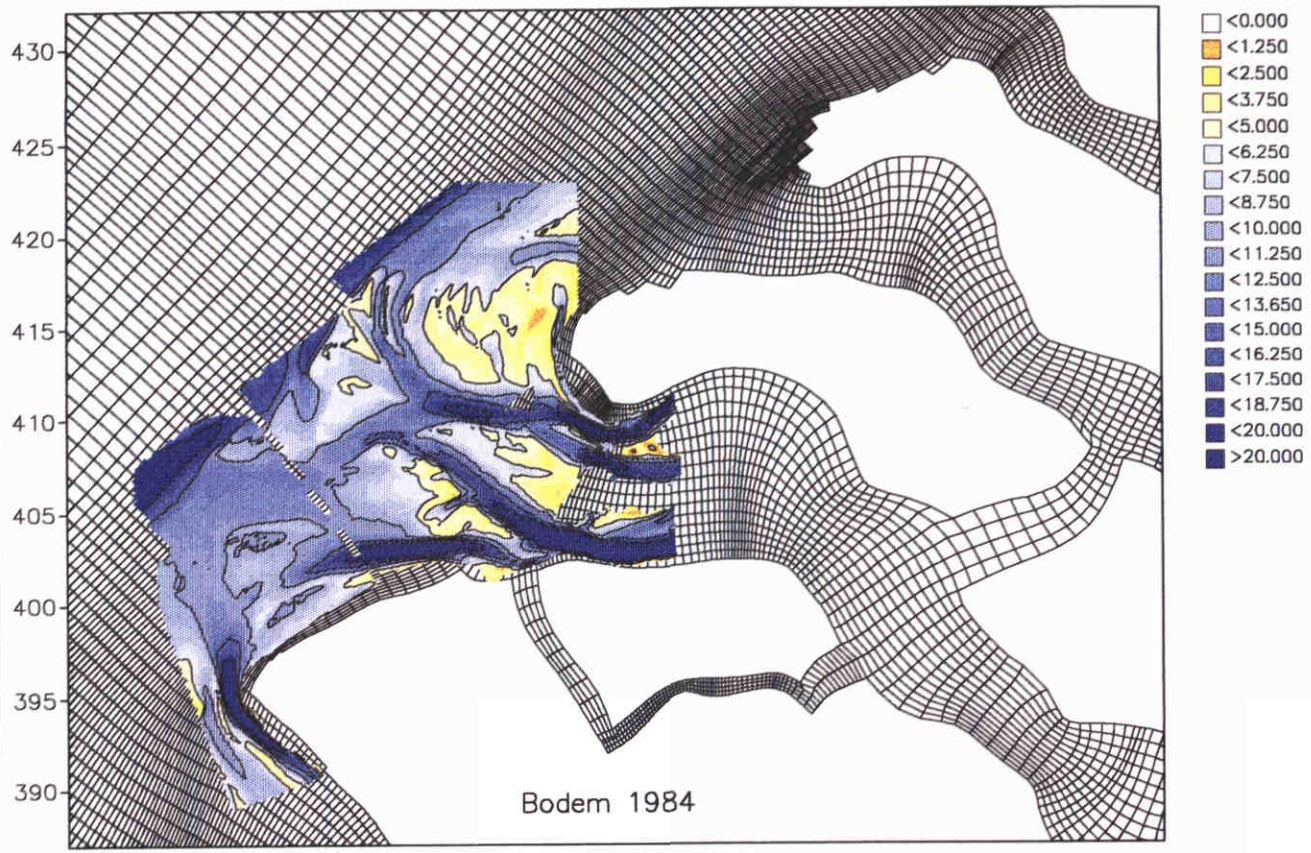
Bodem 1968 is niet beschikbaar



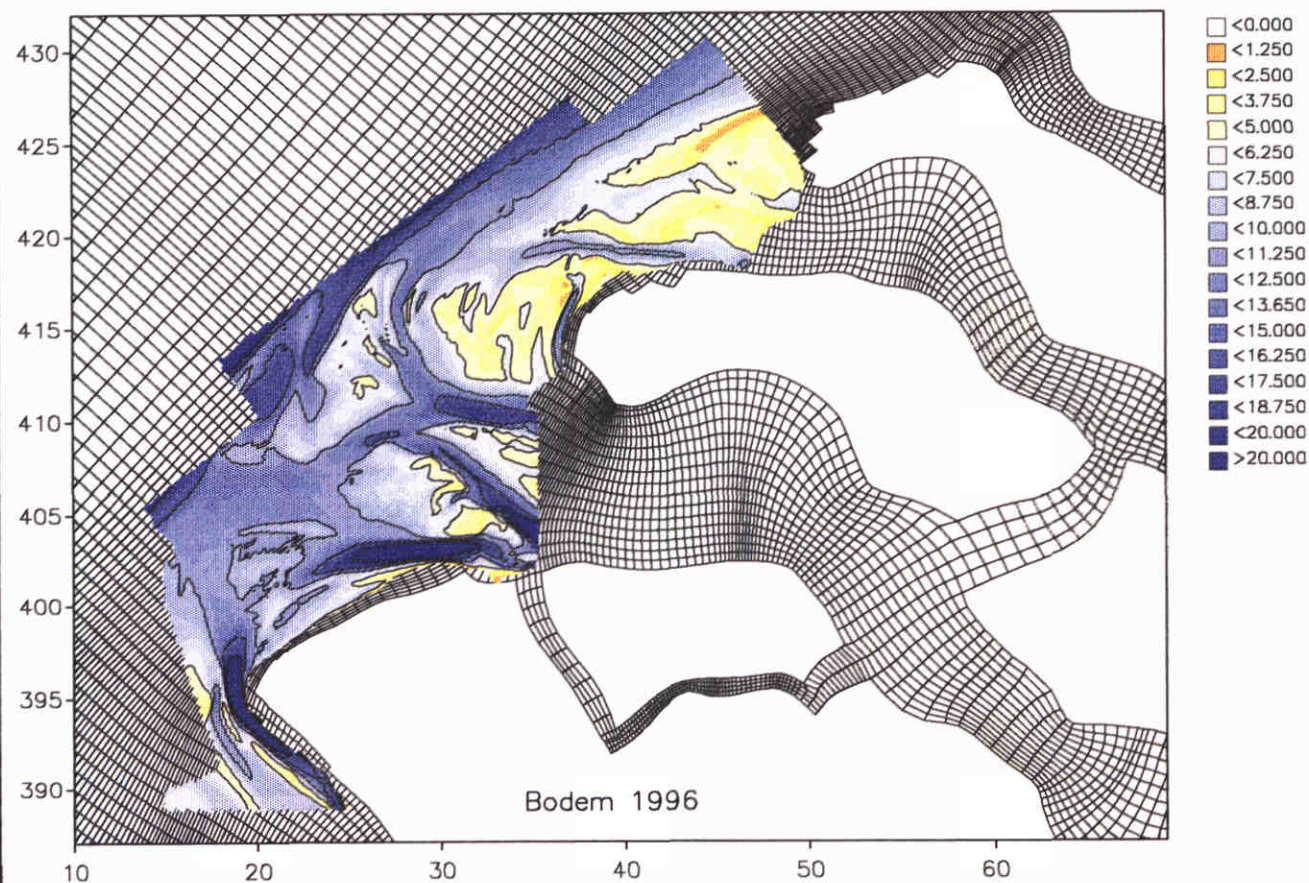
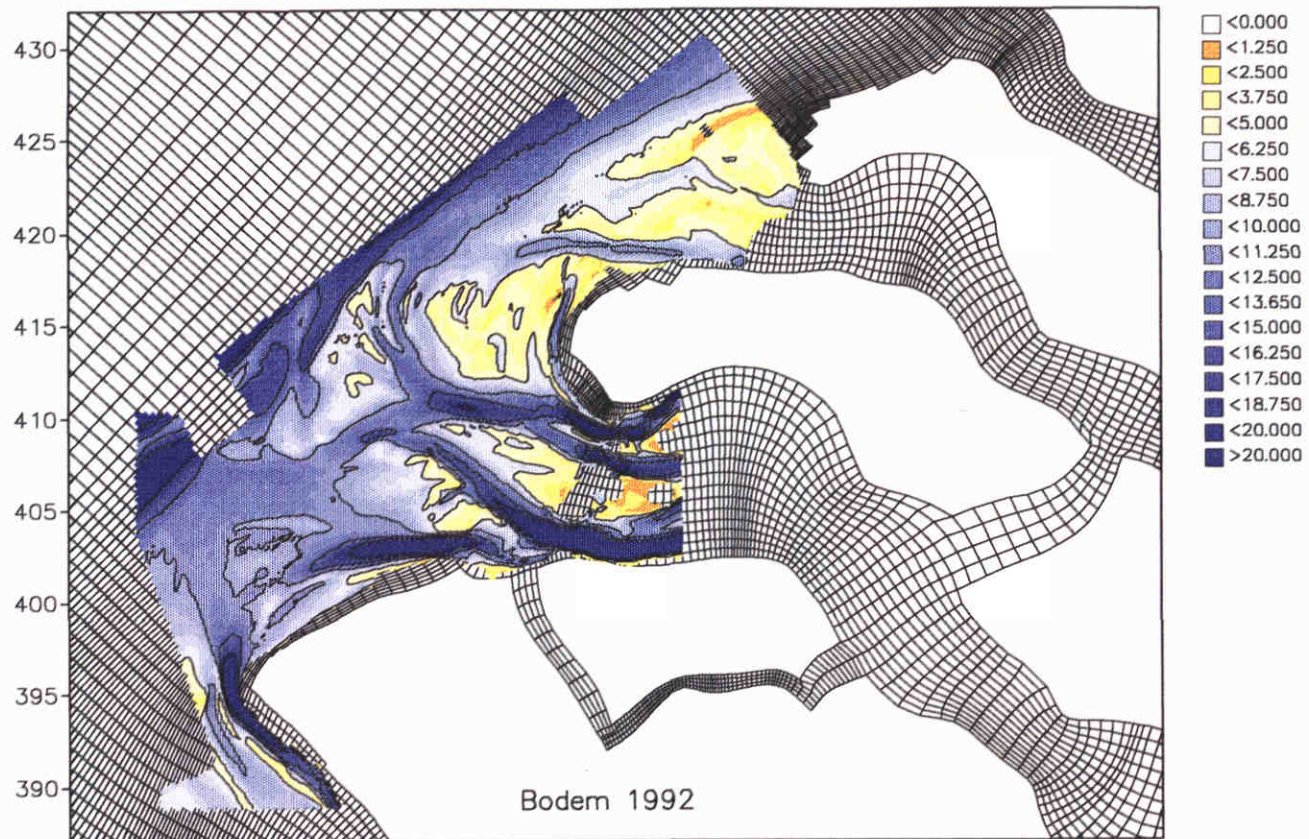
Data analyse Voordelta
Gemeten bodem 1972



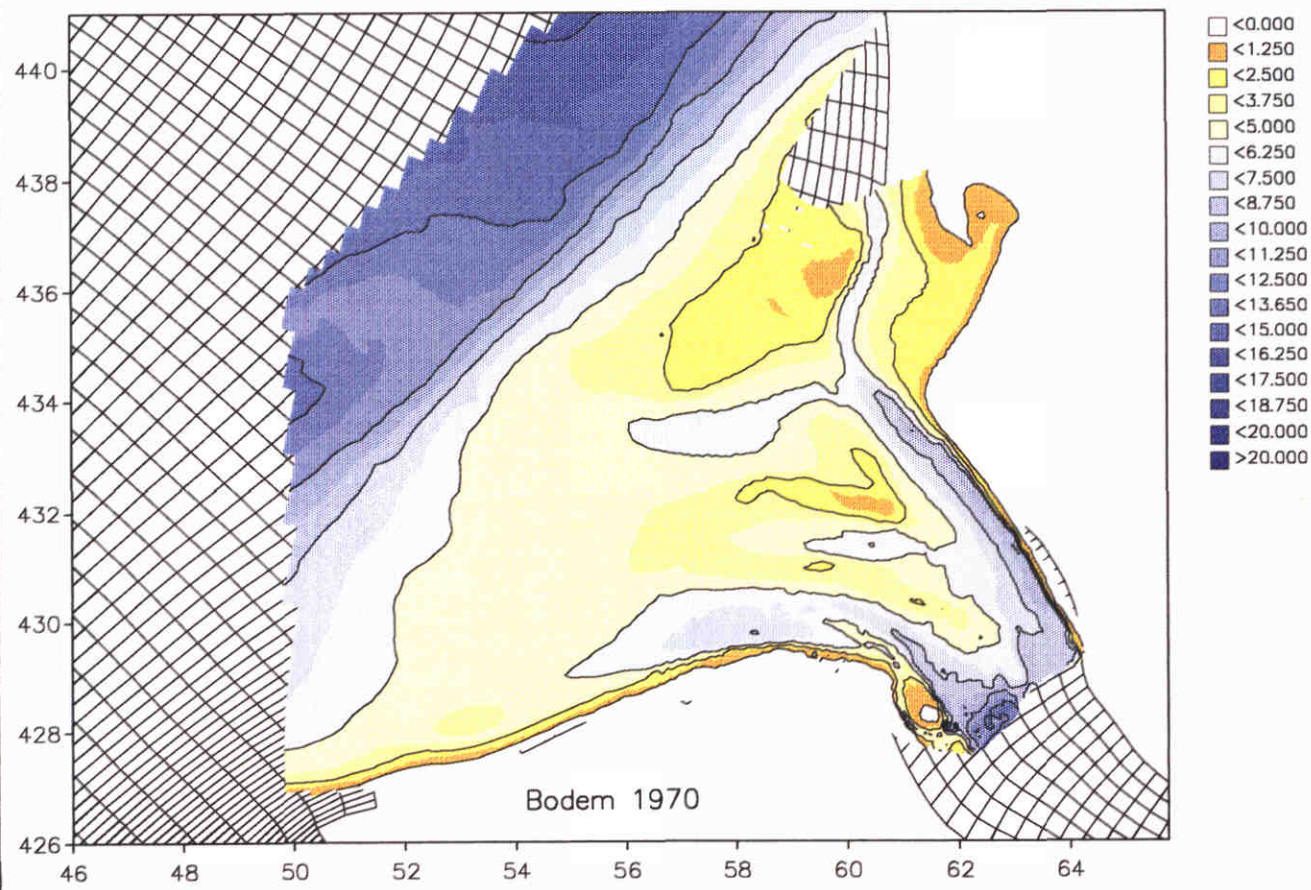
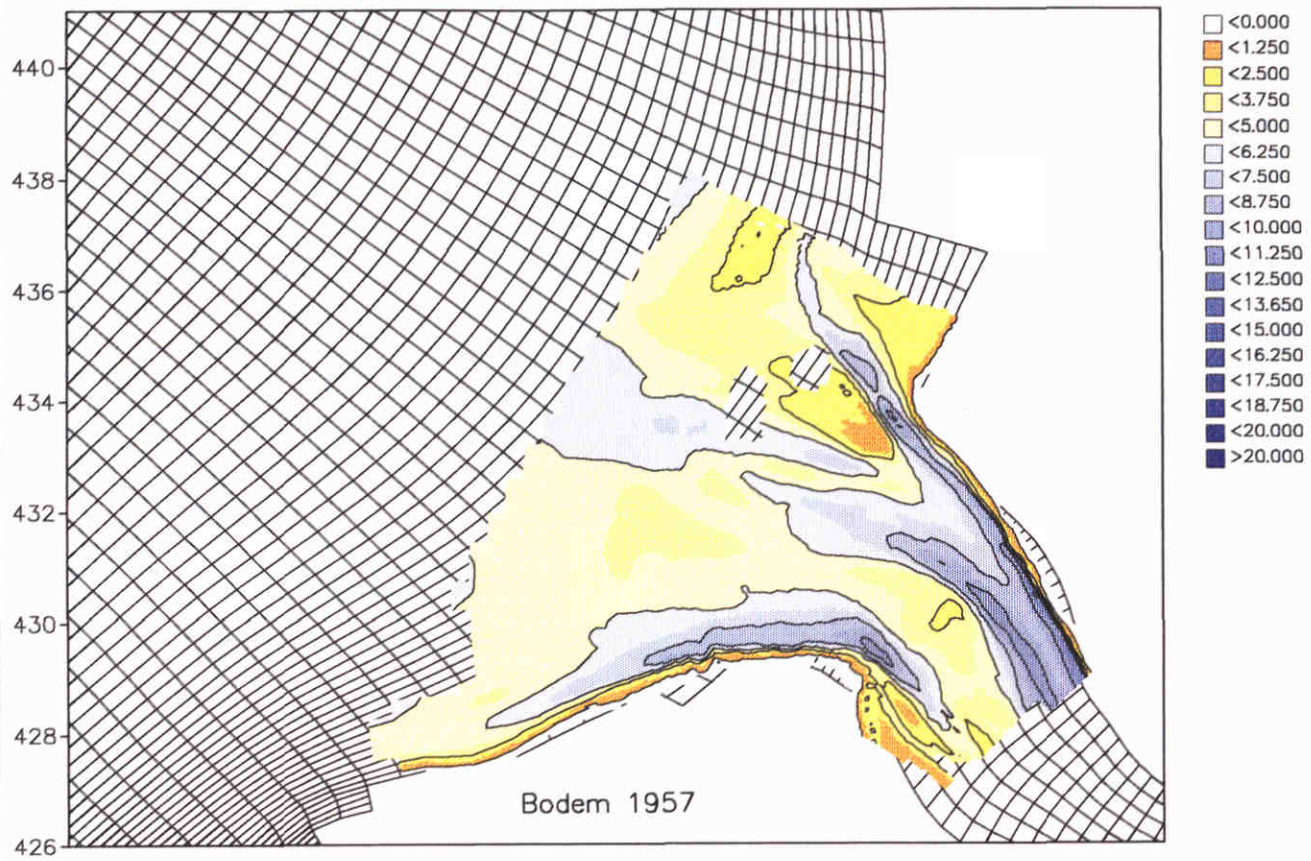
Data analyse Voordelta
 Gemeten bodems 1976 1980



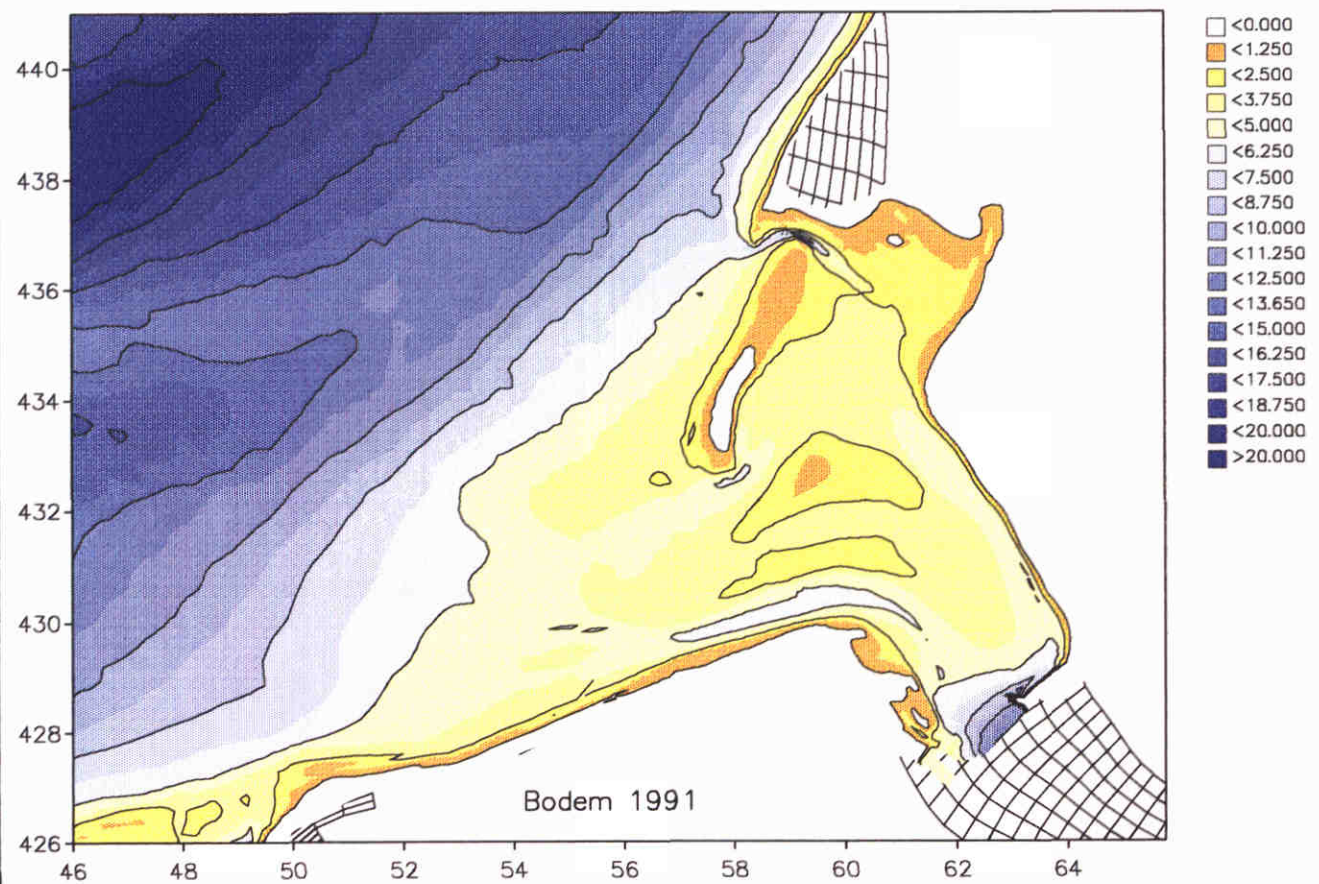
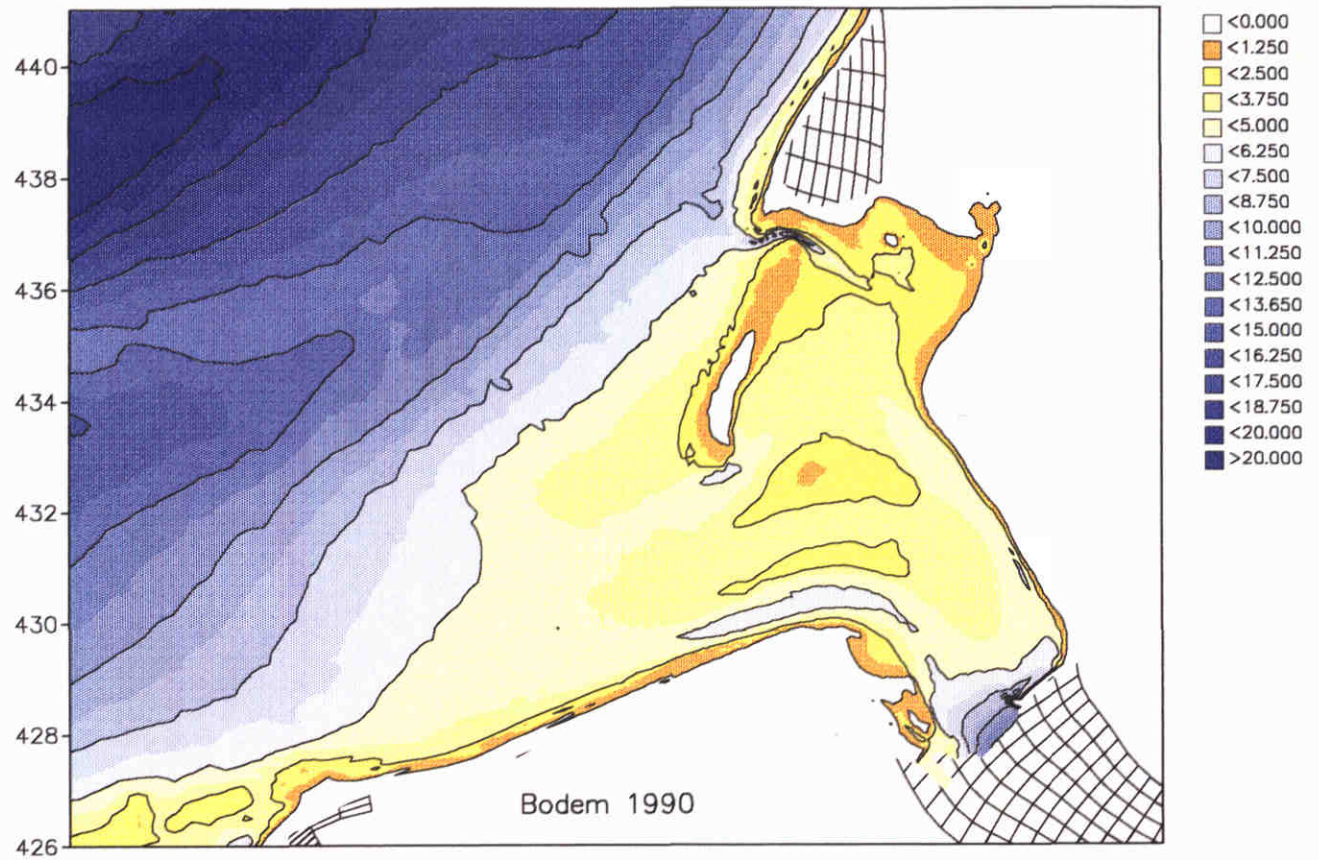
Data analyse Voordelta
 Gemeten bodems 1984 1988



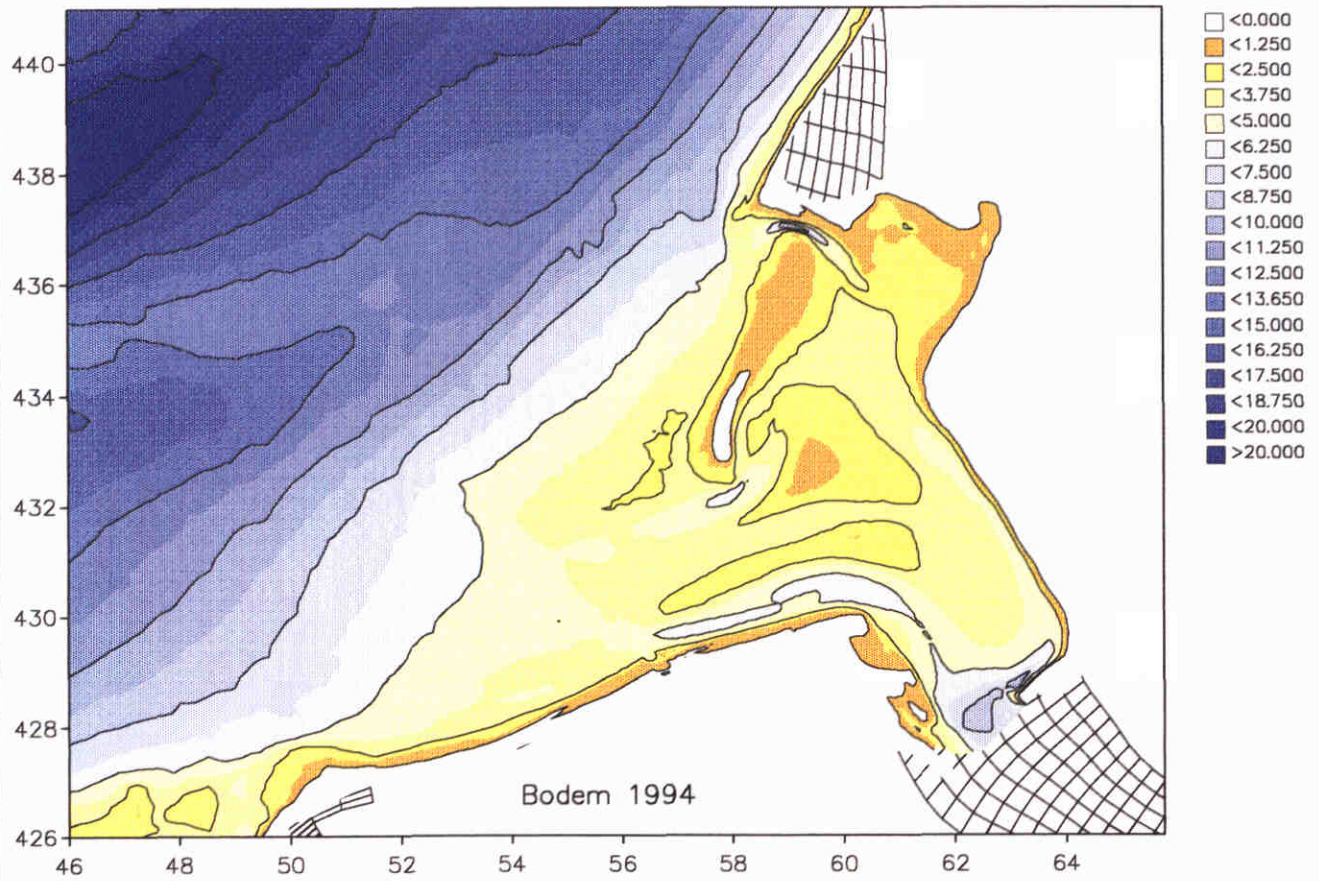
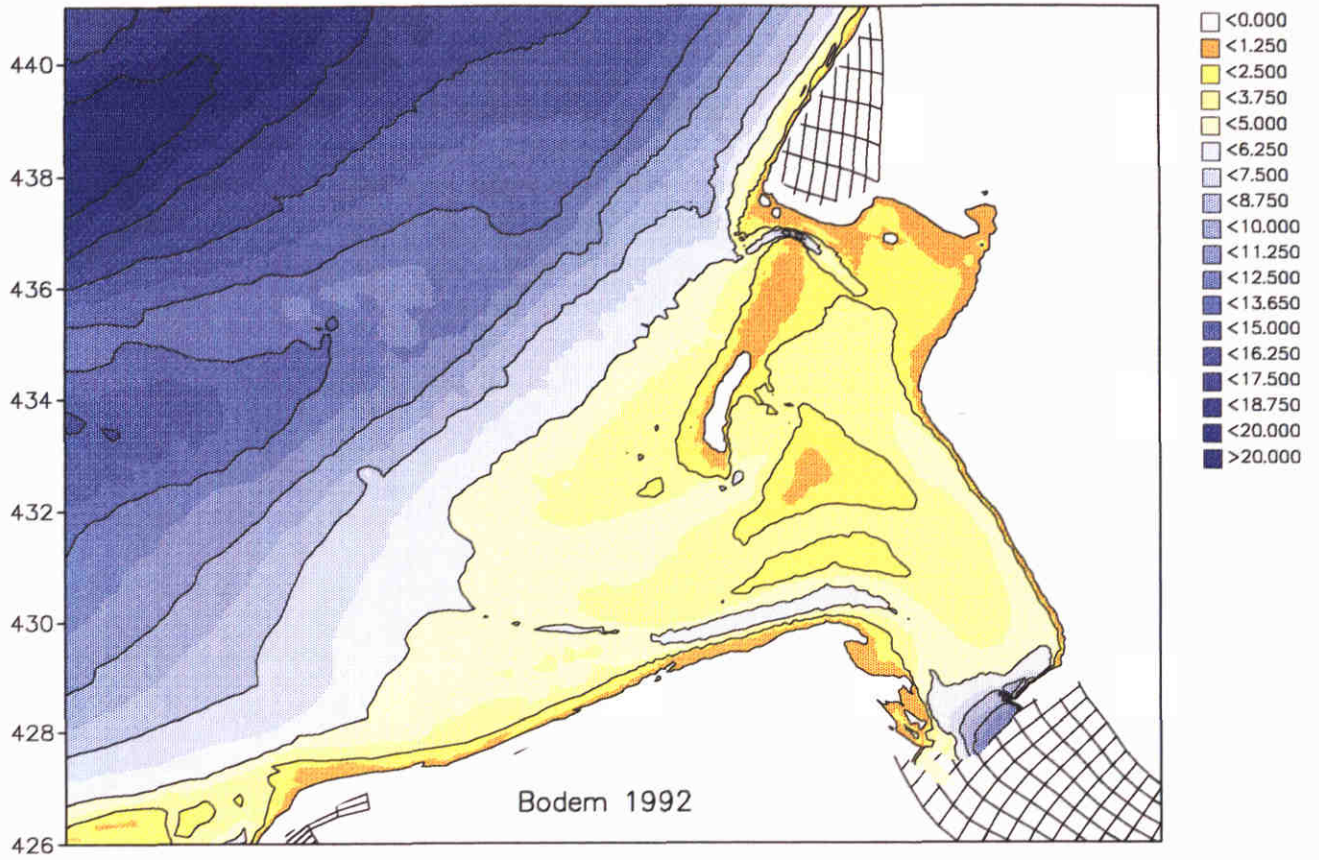
Data analyse Voordelta
 Gemeten bodems 1992 1996



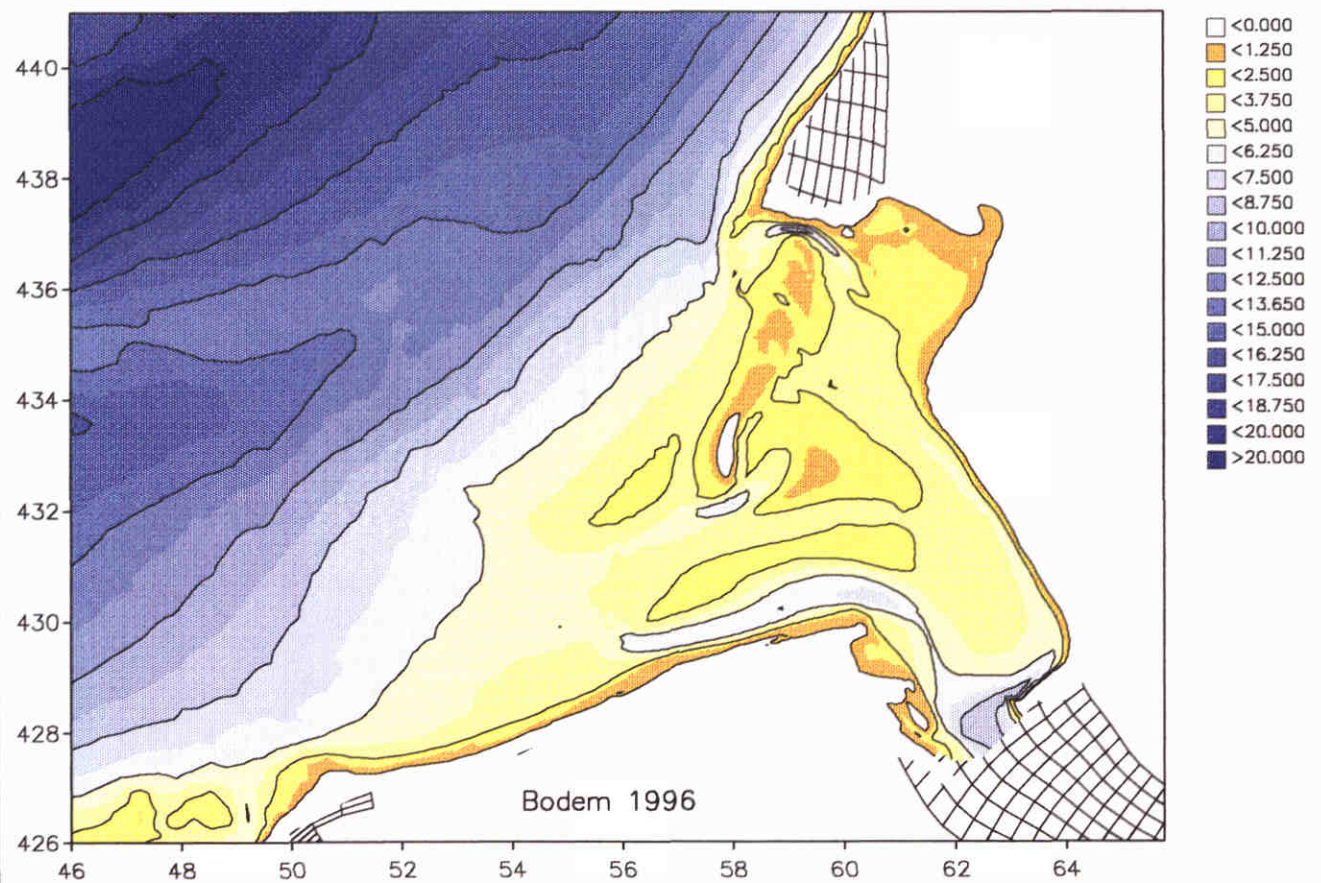
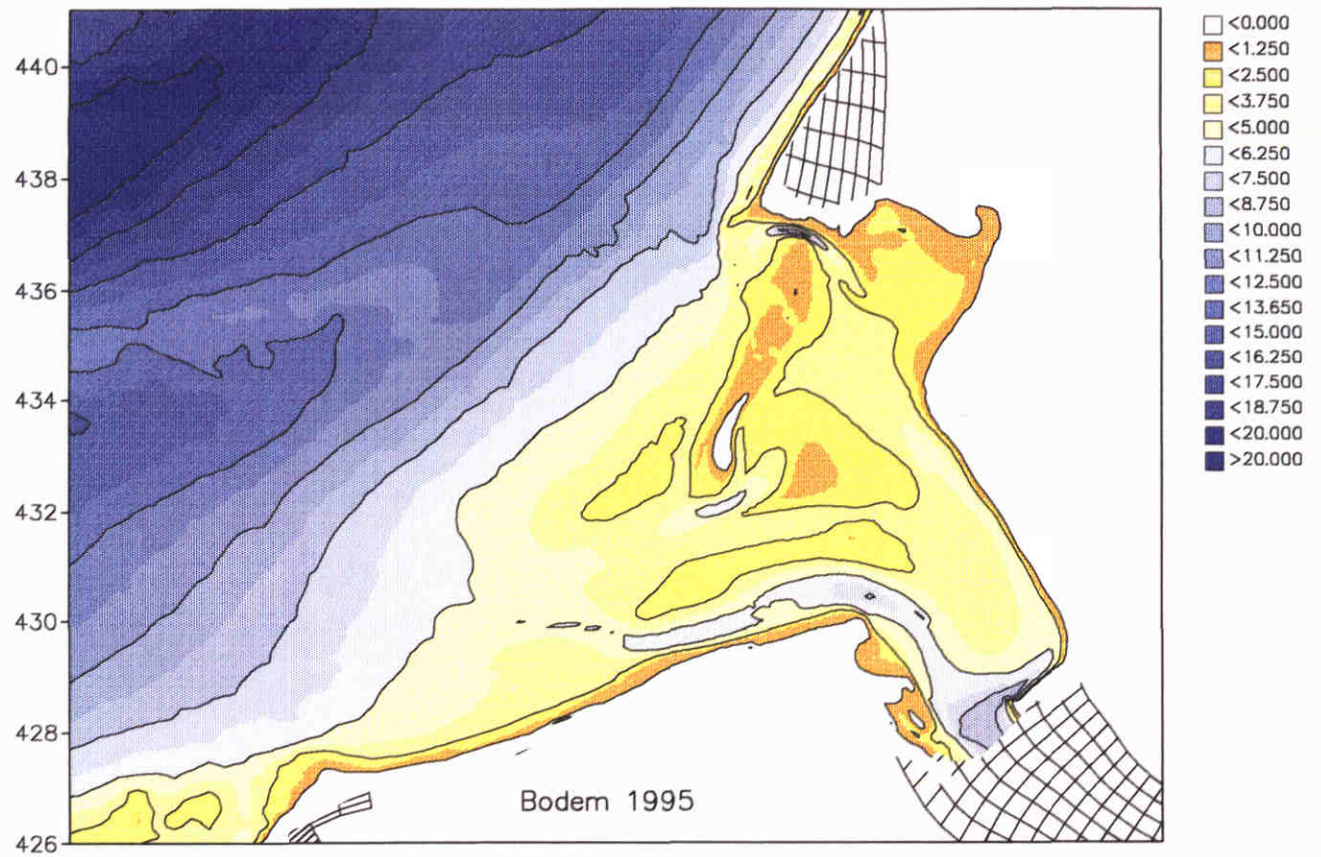
Data analyse Haringvlietmond
 Gemeten bodems 1957 1970



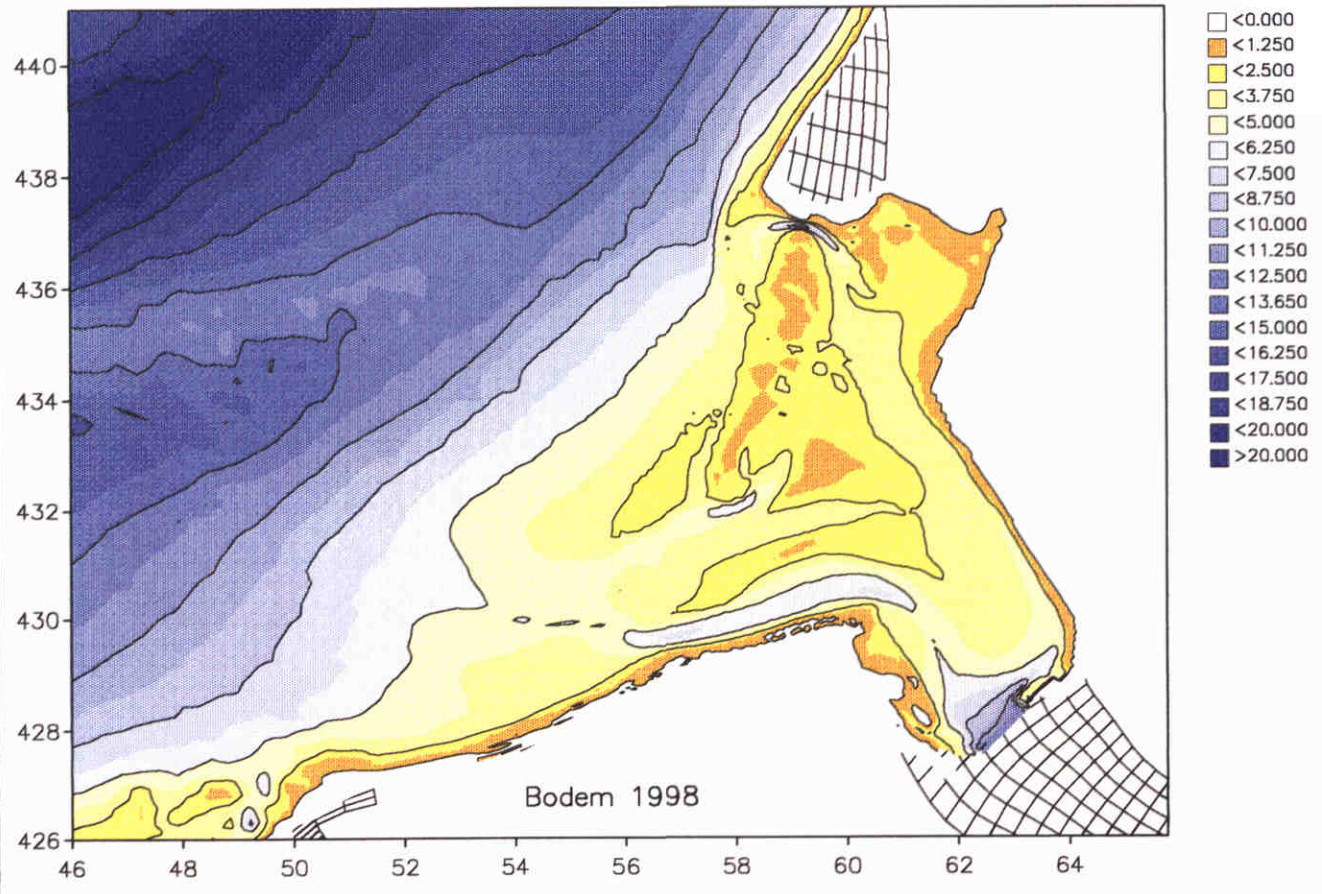
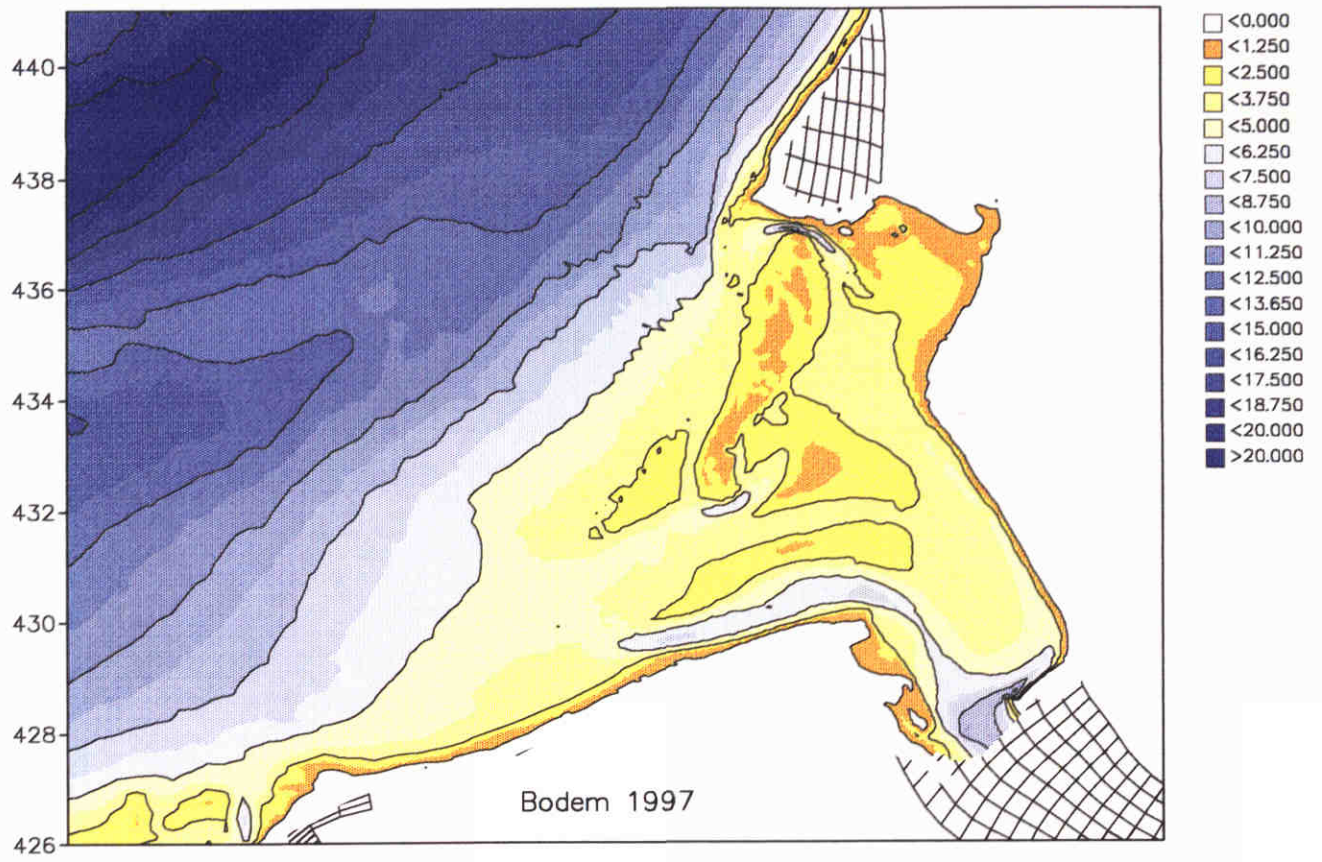
Data analyse Haringvlietmond
 Gemeten bodems 1990 1991



Data analyse Haringvlietmond
 Gemeten bodems 1992 1994

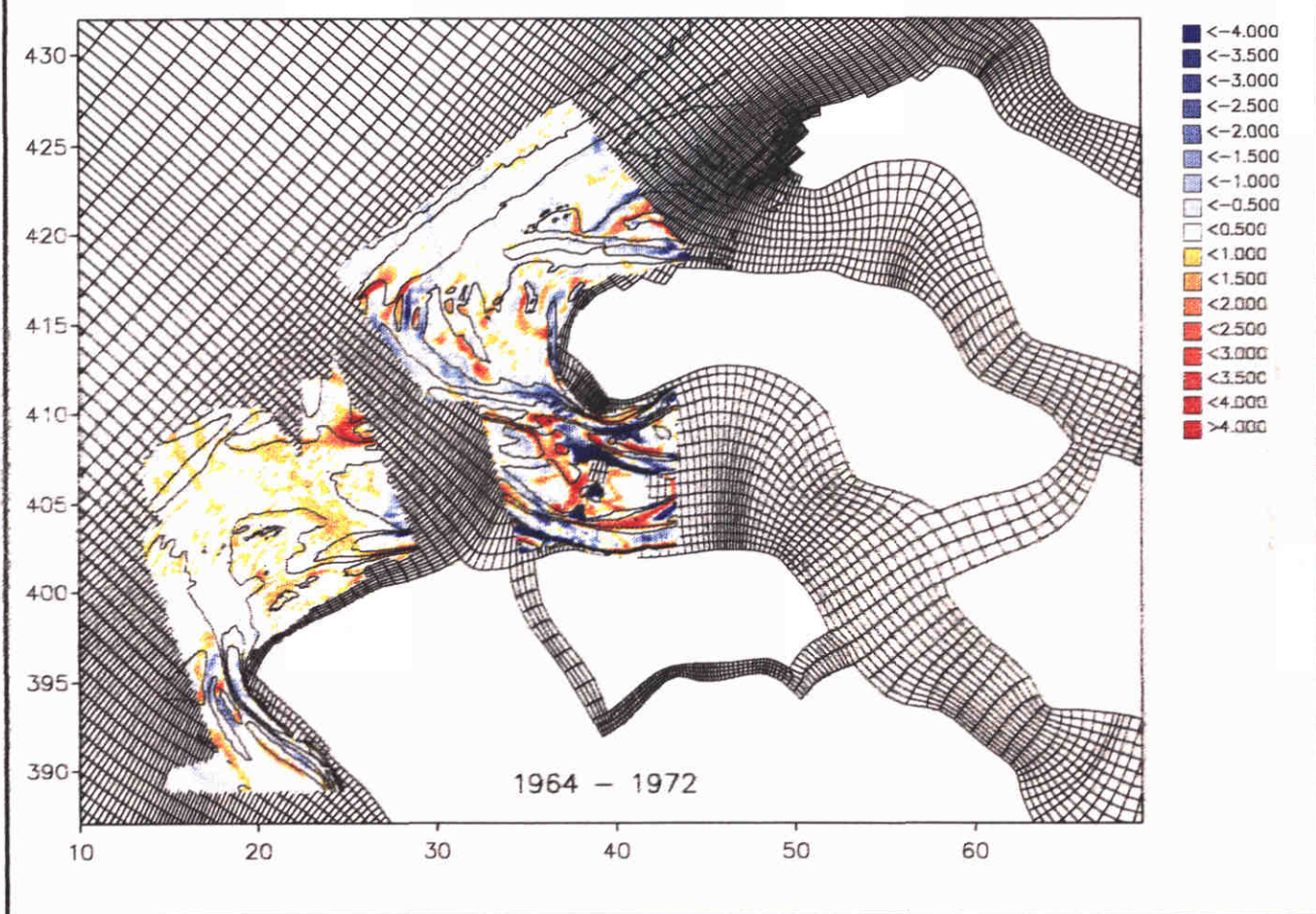
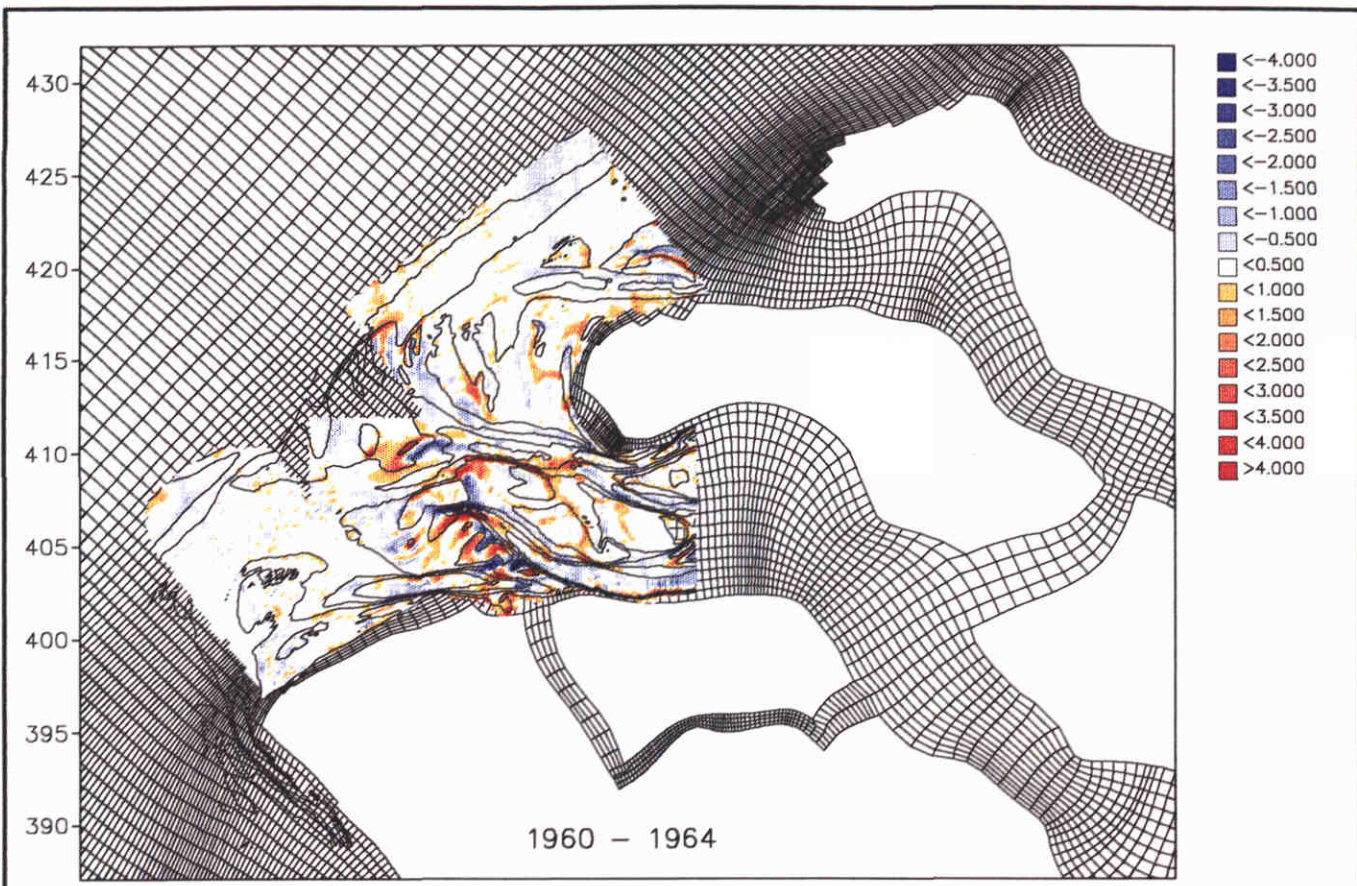


Data analyse Haringvlietmond
 Gemeten bodems 1995 1996

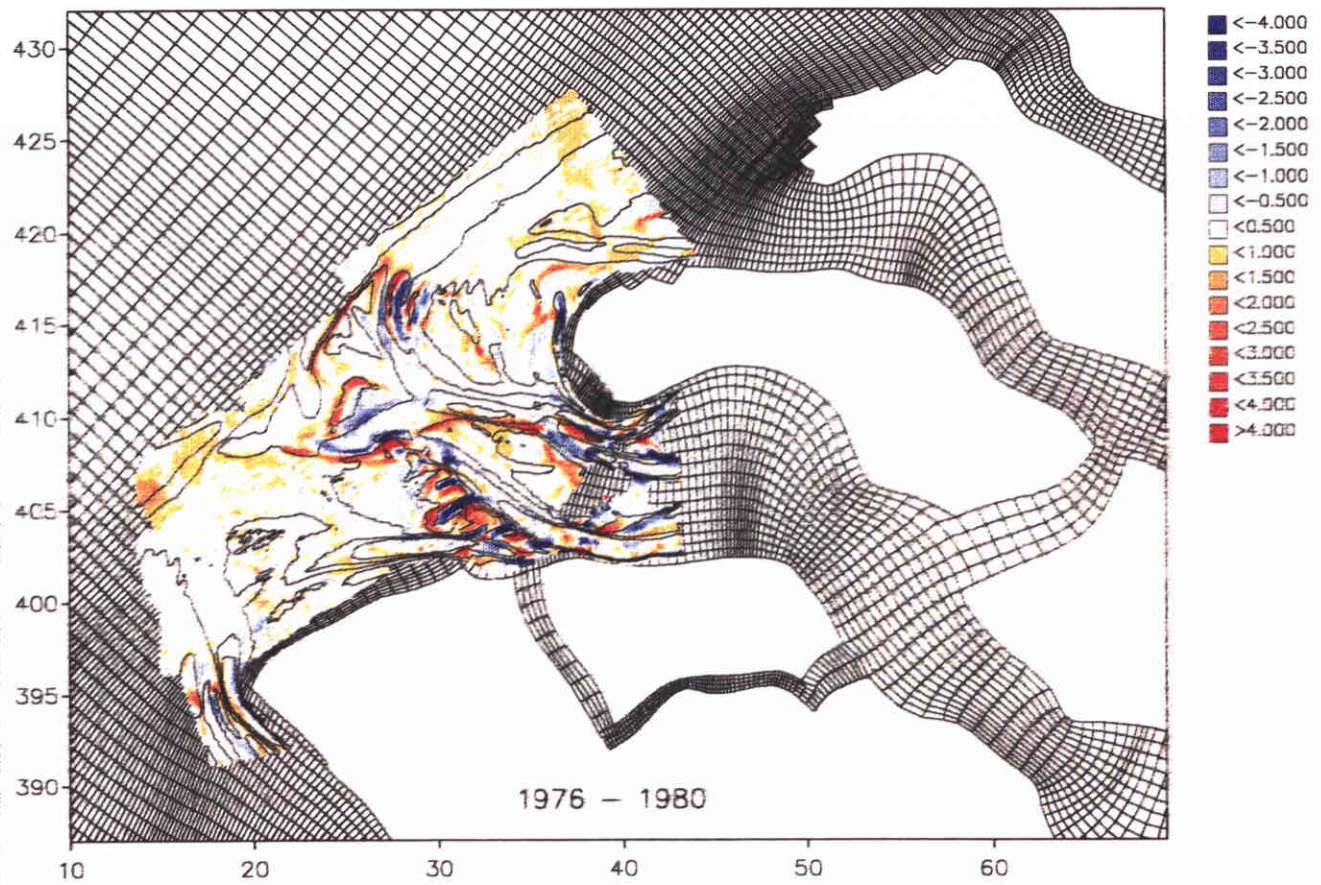
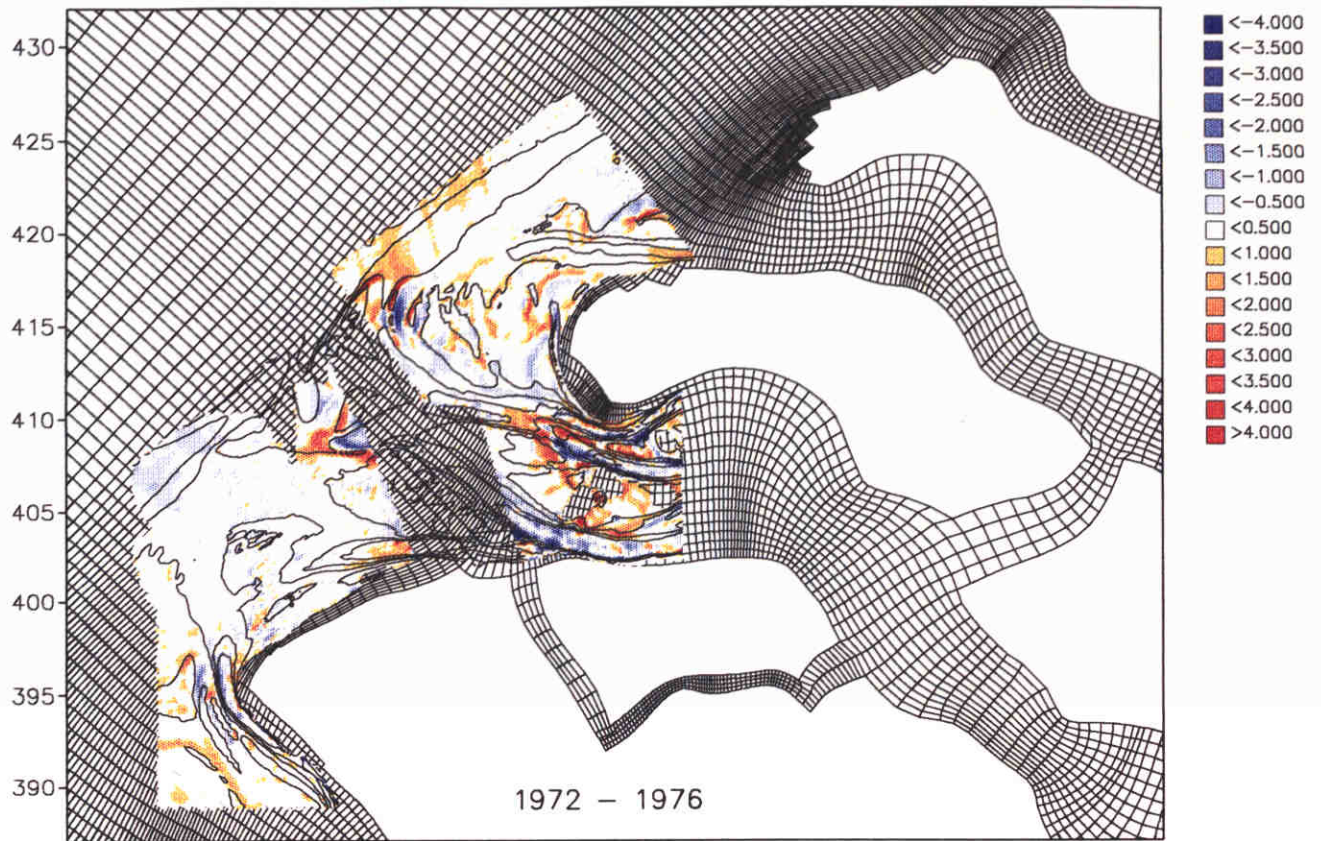


Data analyse Haringvlietmond
 Gemeten bodems 1997 1998

Appendix C



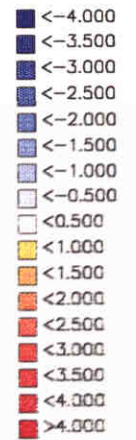
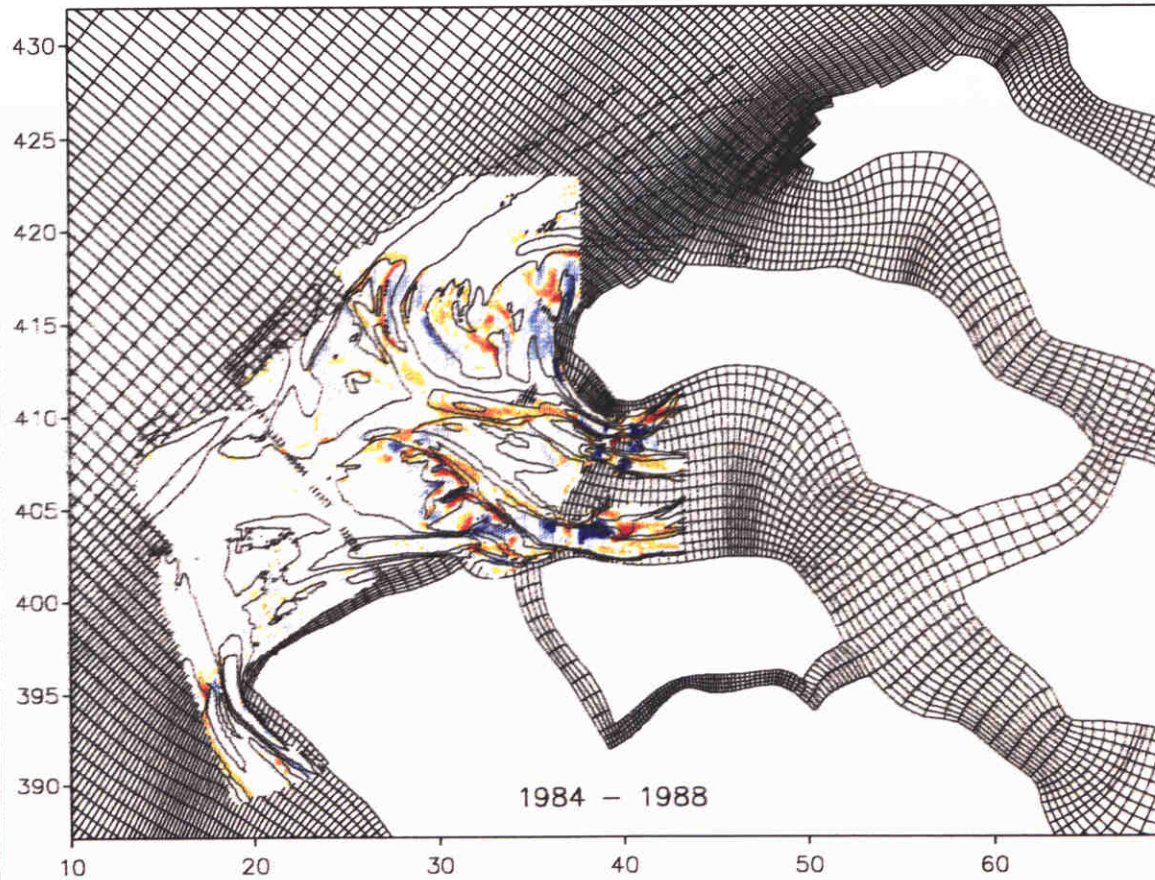
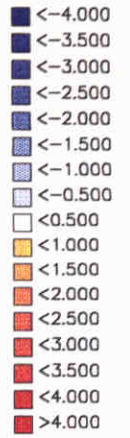
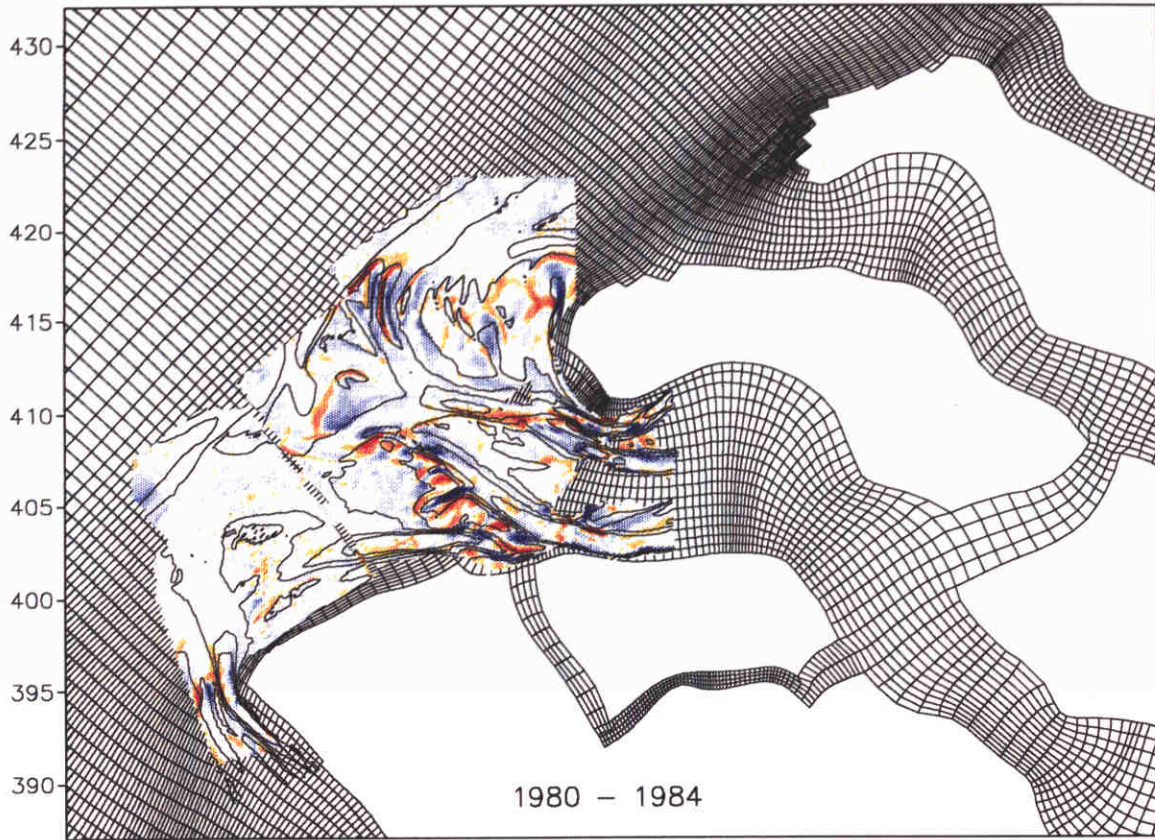
Data analyse Voordelta Bodemverandering 1960 - 1964 en 1964 - 1972. Isolijnen van de bodem op het einde van de periode.		
WL DELFT HYDRAULICS	Z2694	Fig. C.1



Data analyse Voordelta

Bodemverandering 1972 - 1976 en 1976 - 1980.

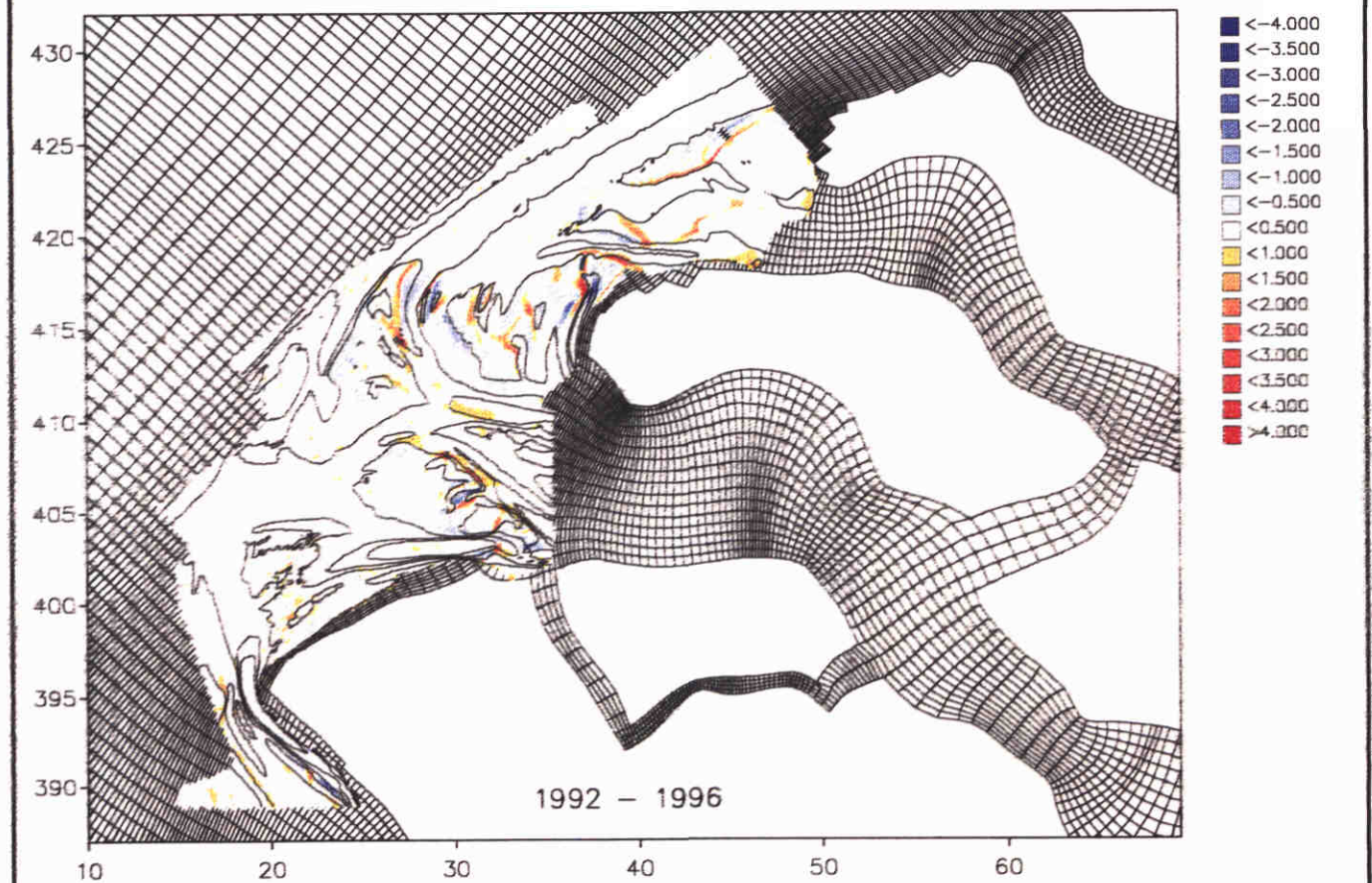
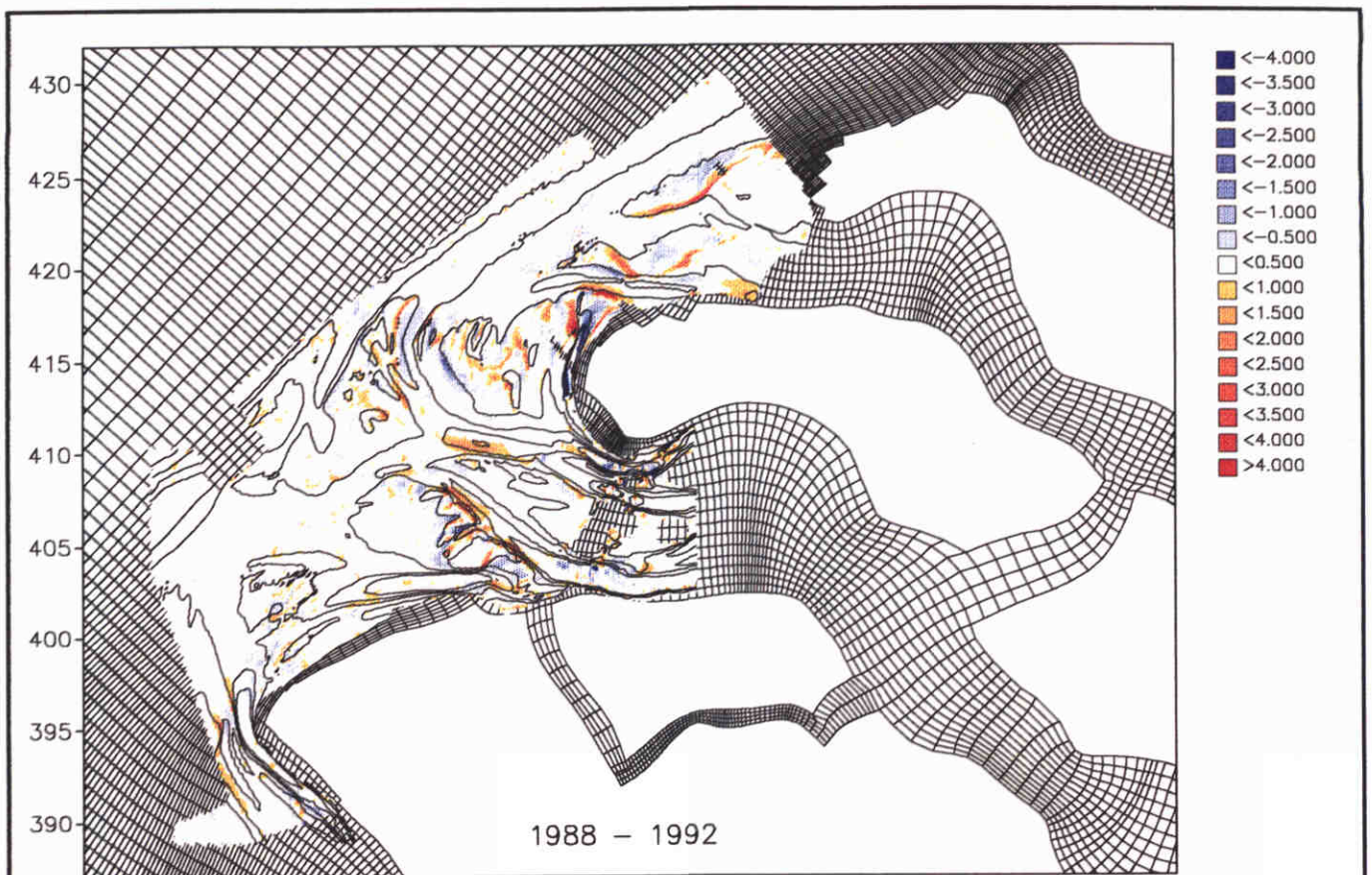
Isoliijnen van de bodem op het einde van de periode.



Data analyse Voordelta

Bodemverandering 1980 - 1984 en 1984 - 1988.

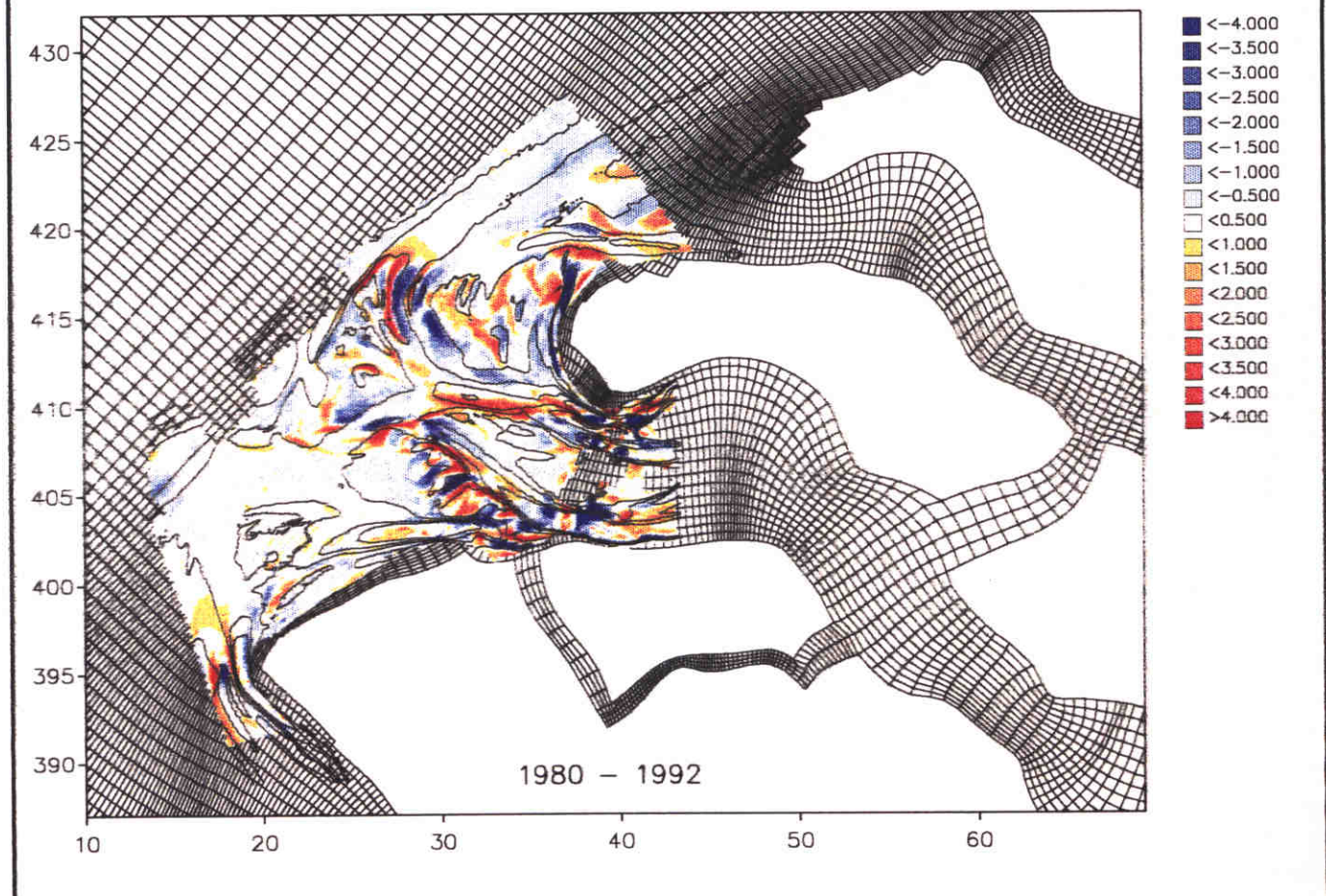
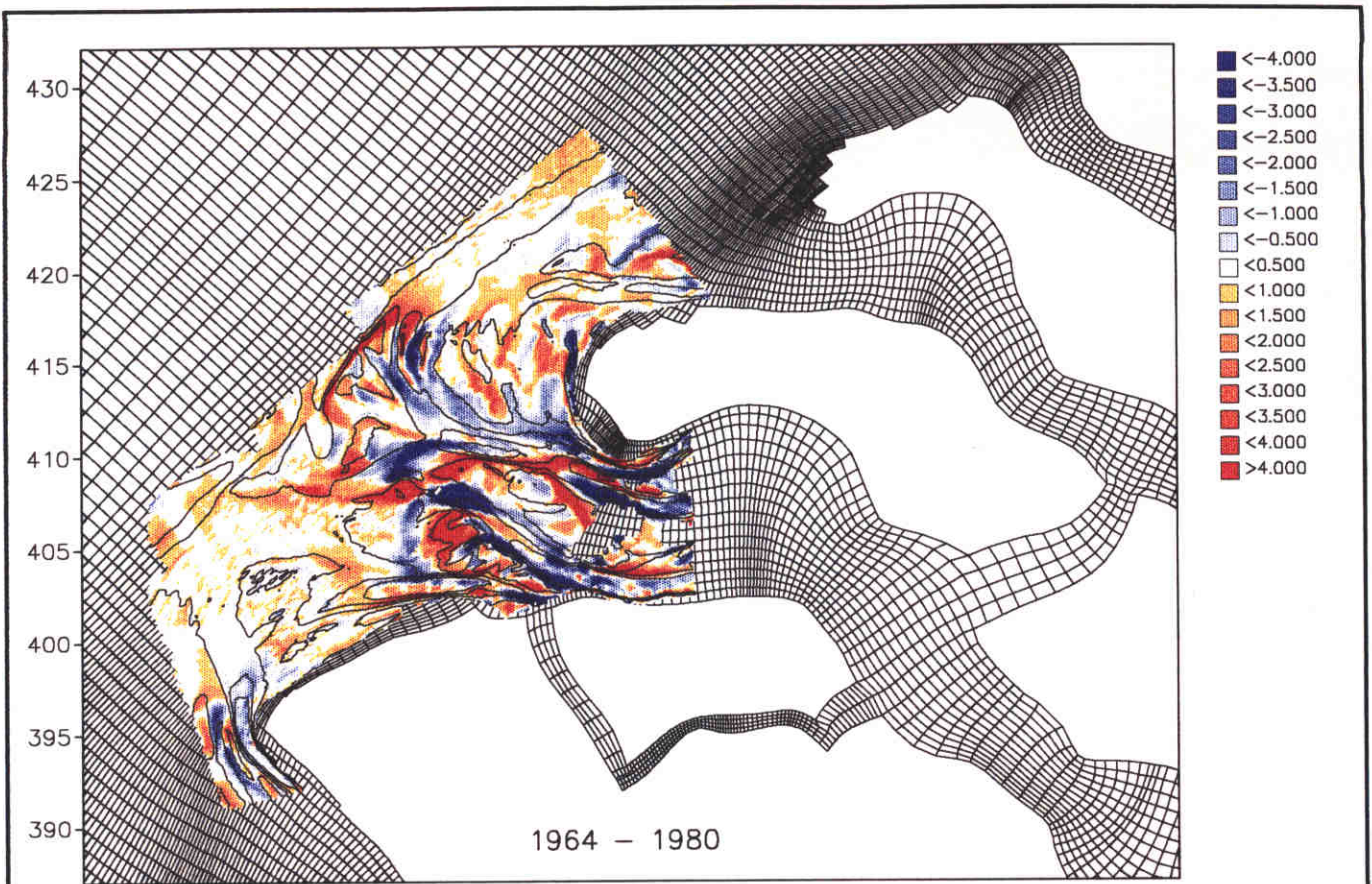
Isolijnen van de bodem op het einde van de periode.



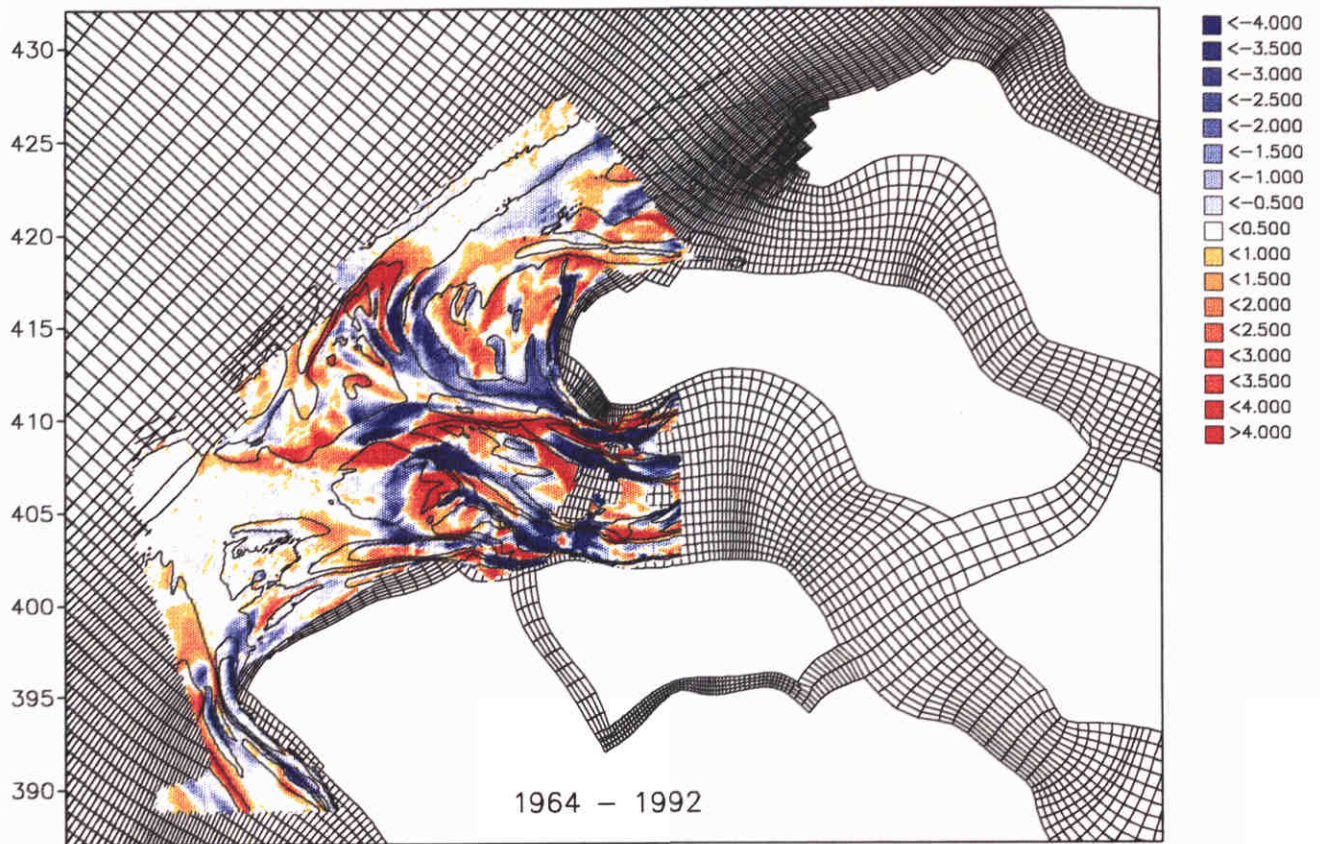
Data analyse Voordelta

Bodemverandering 1988 - 1992 en 1992 - 1996.

Isolijnen van de bodem op het einde van de periode.



Data analyse Voordelta
 Bodemverandering 1964 -1980 en 1980 - 1992.
 Isolijnen van de bodem op het einde van de periode.



Data analyse Voordelta

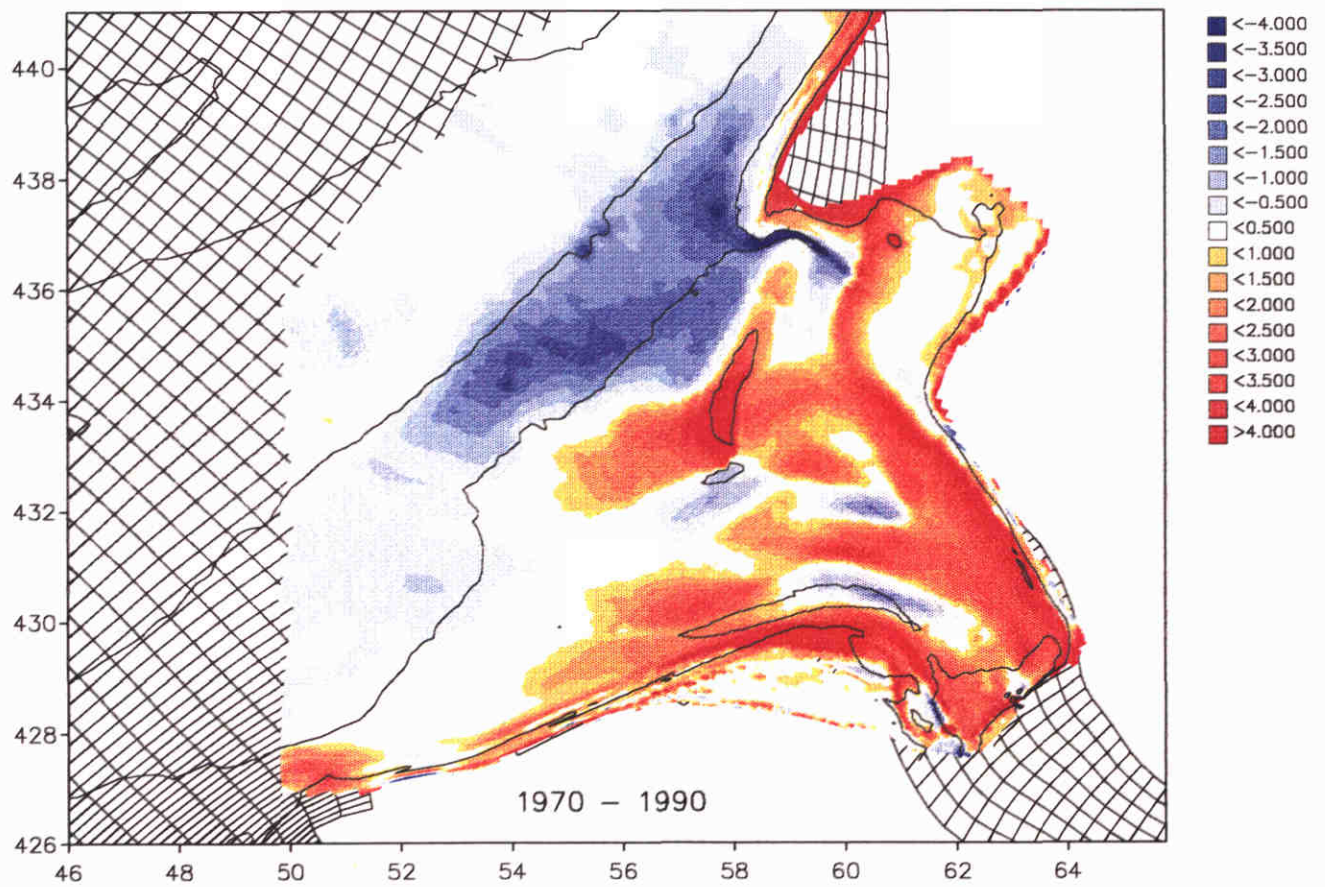
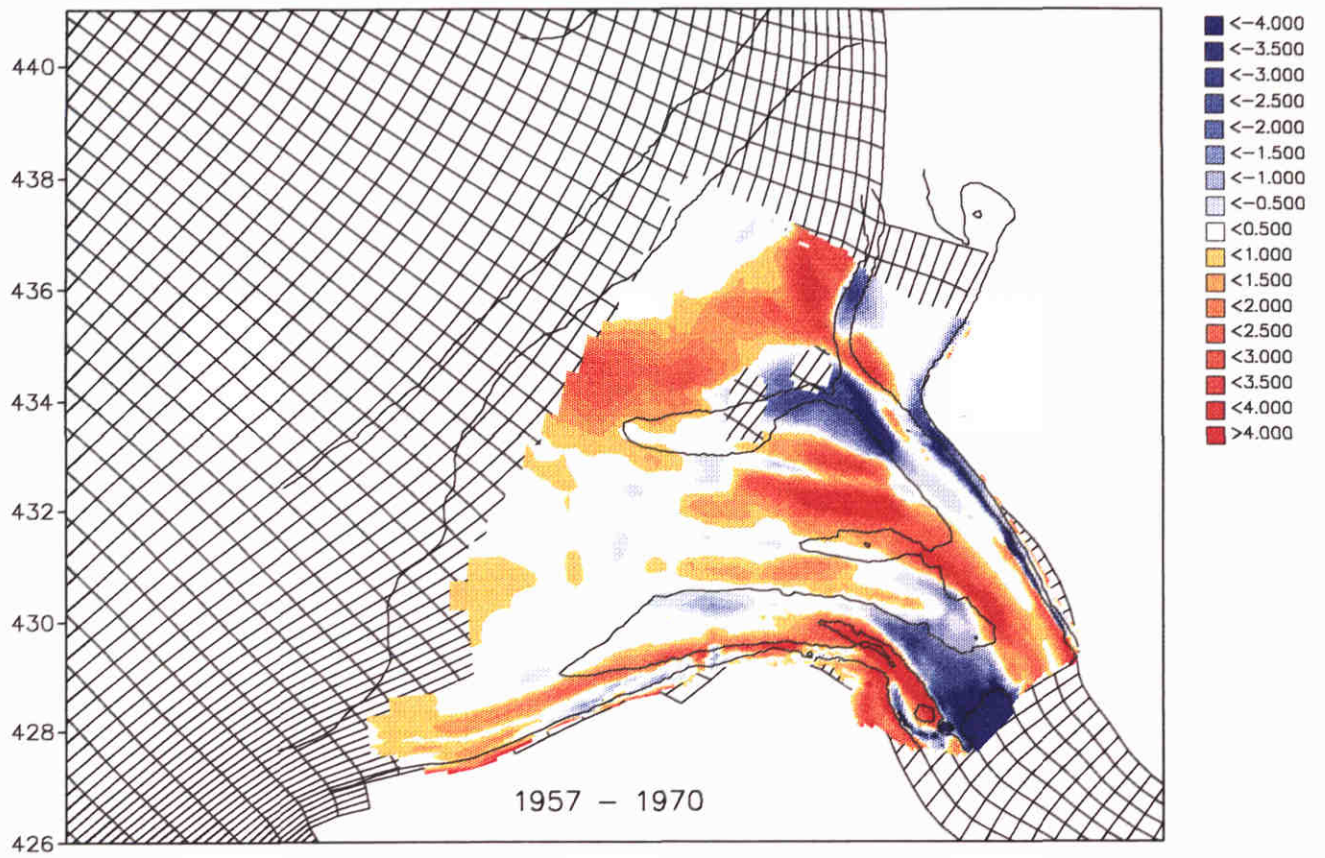
Bodemverandering 1964 - 1992.

Isolijnen van de bodem op het einde van de periode.

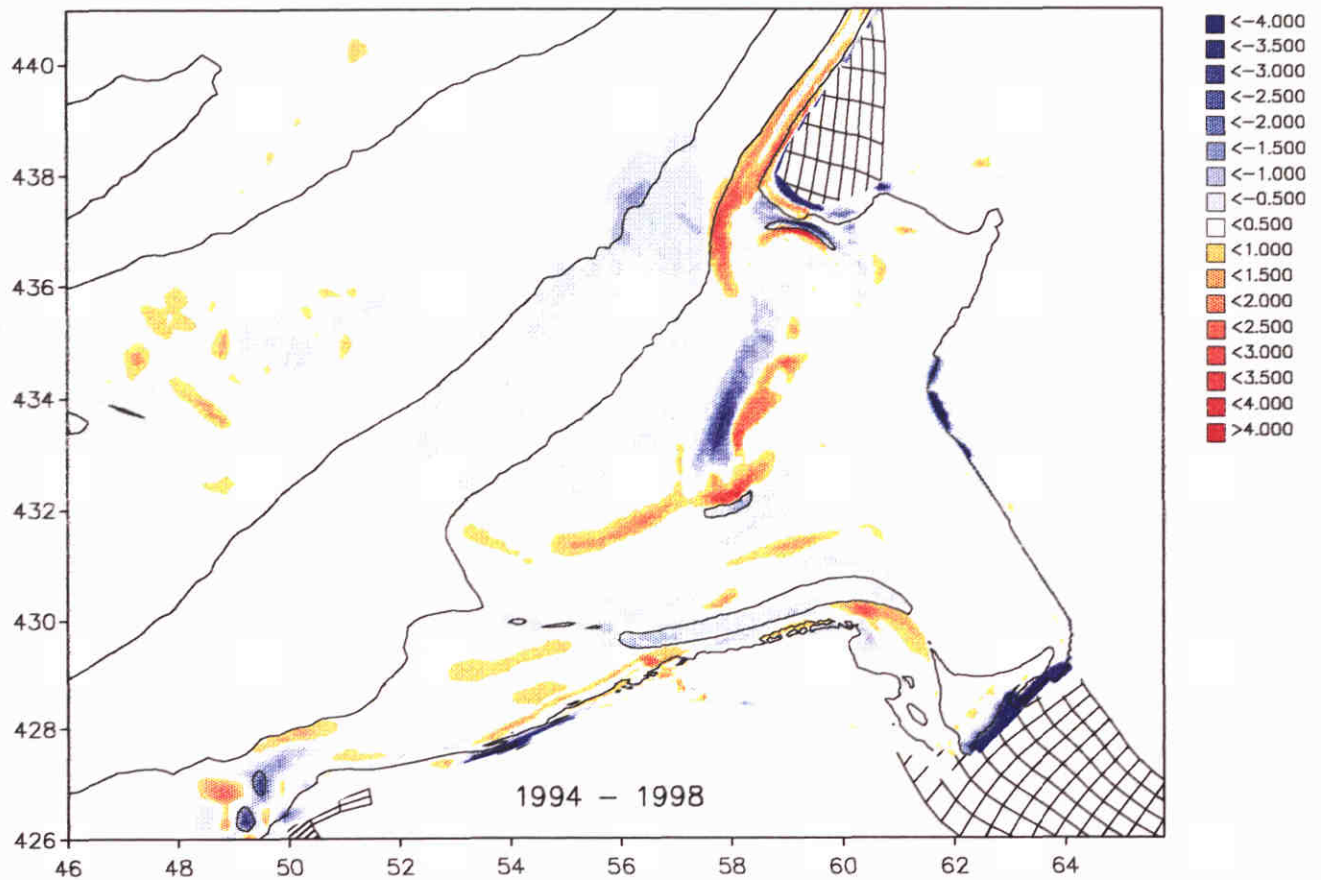
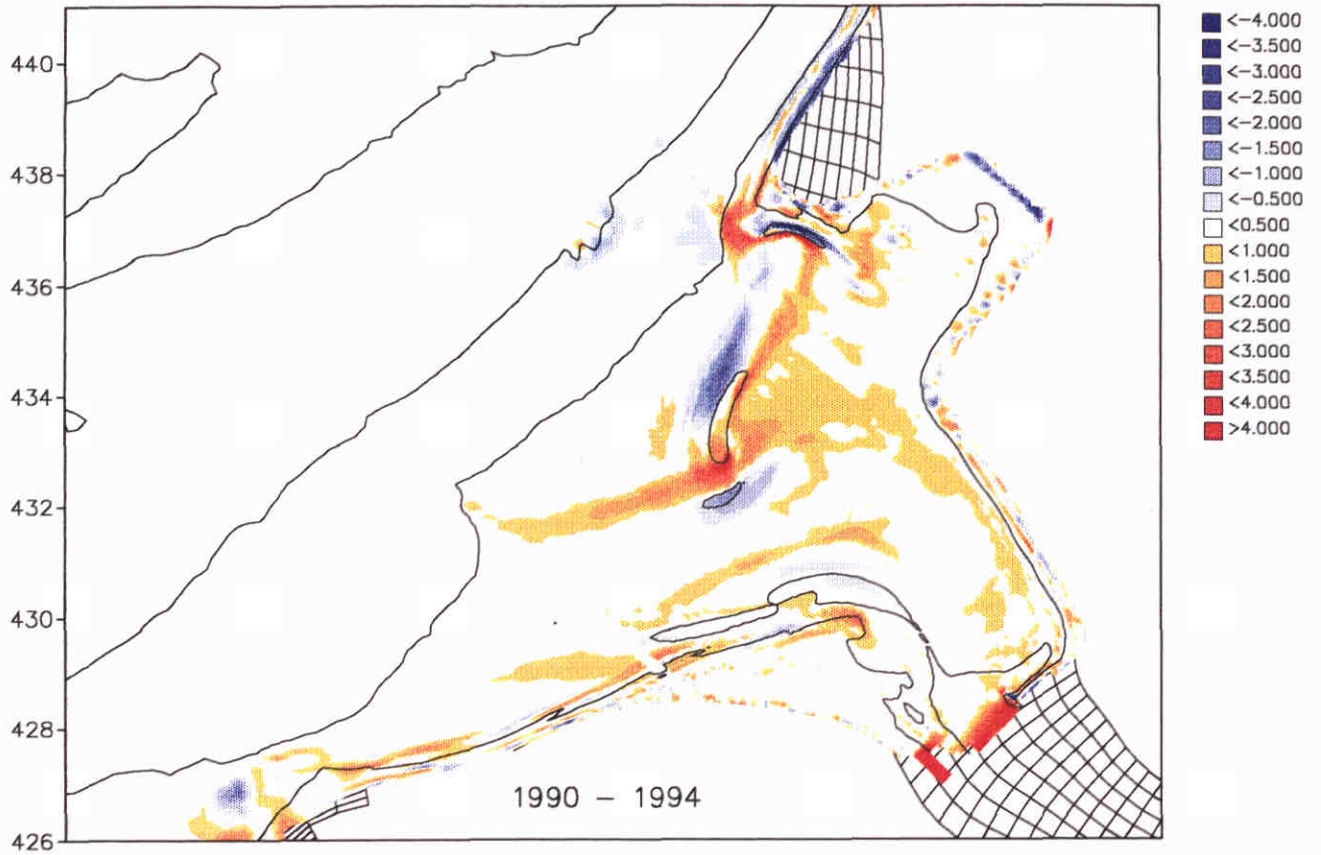
WL | DELFT HYDRAULICS

Z2694

Fig. C.6



Data analyse Haingvlietmonding
 Bodemverandering 1957 - 1970 en 1970 - 1990.
 Isolijnen van de bodem op het einde van de periode.

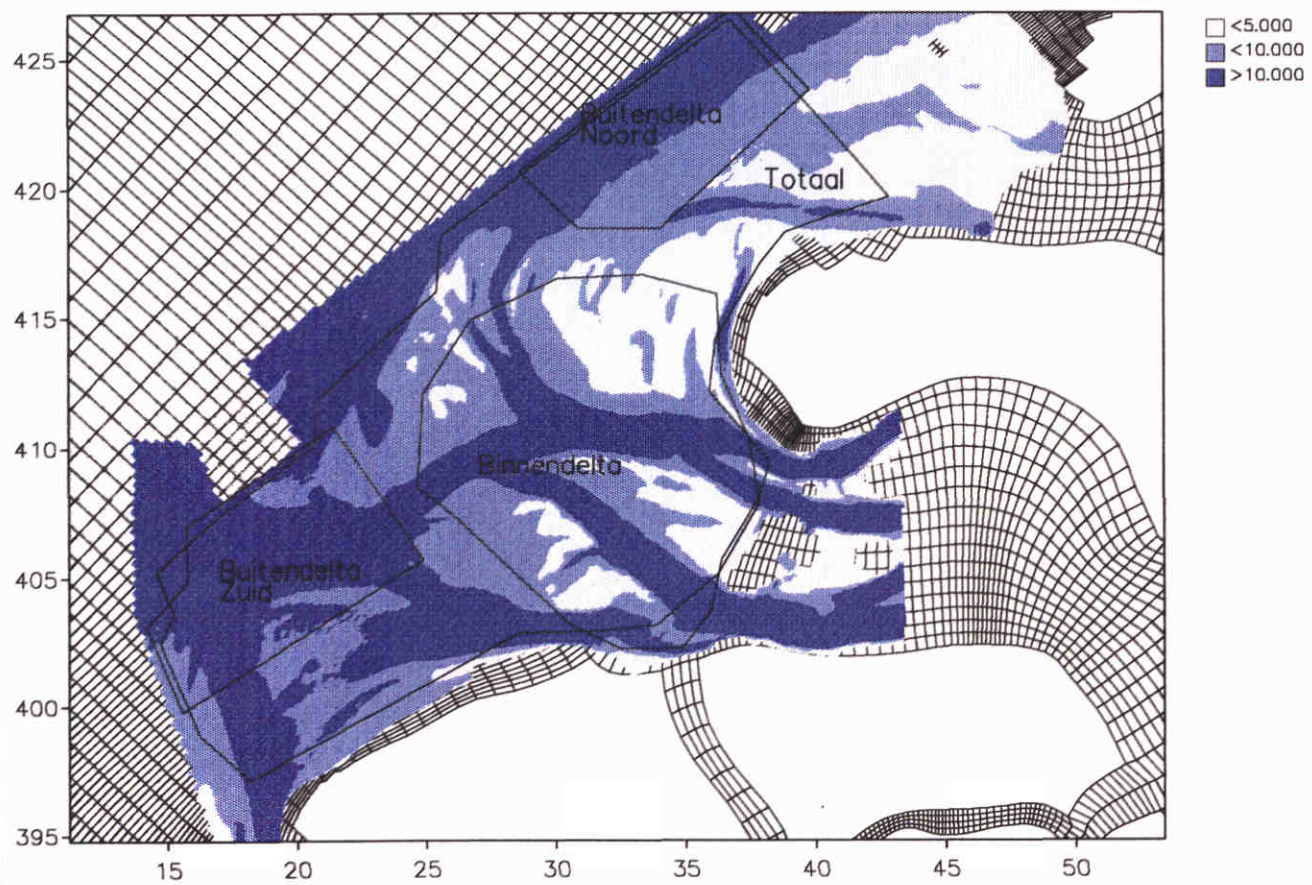


Data analyse Haingvlietmonding

Bodemverandering 1990 - 1994 en 1994 - 1998.

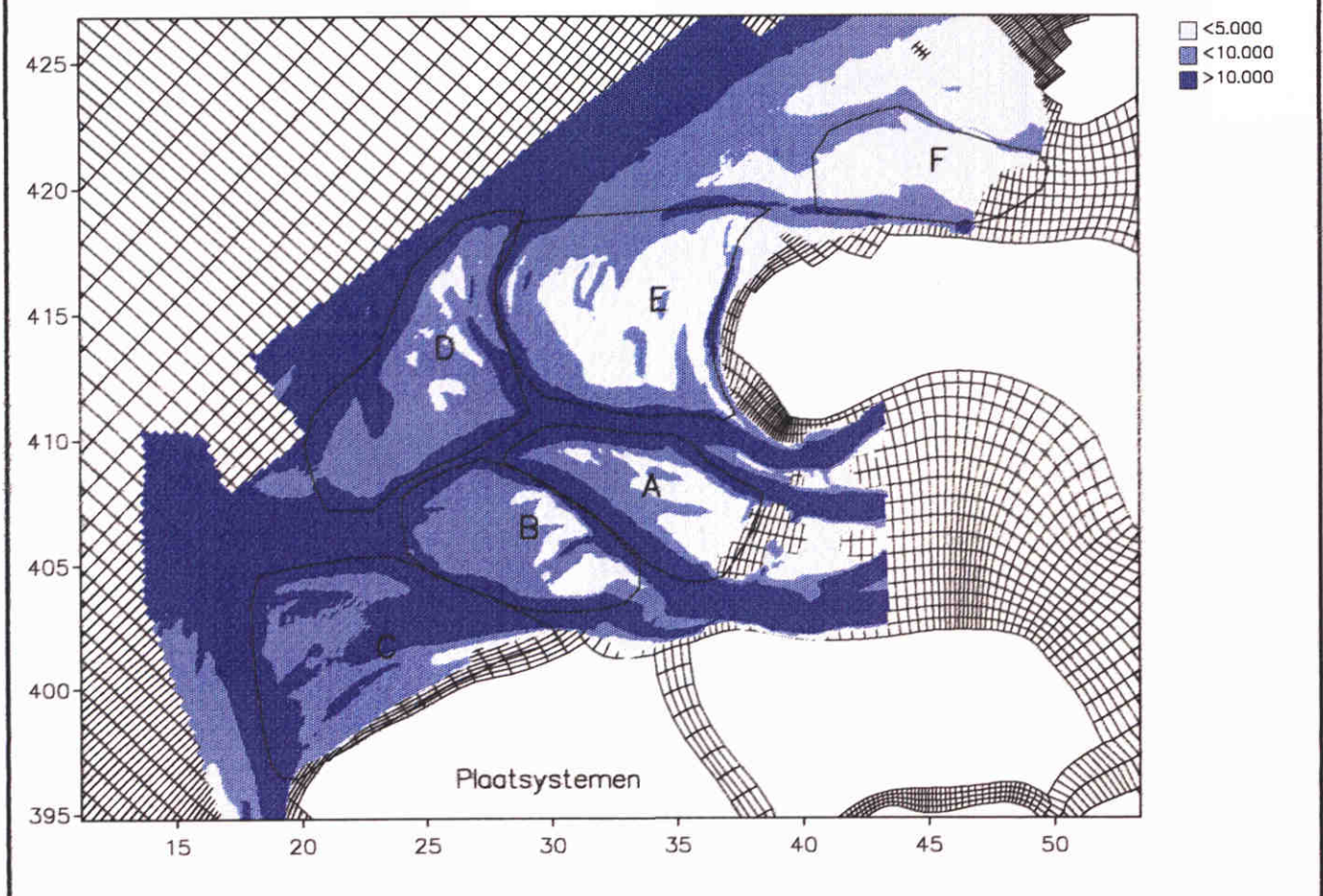
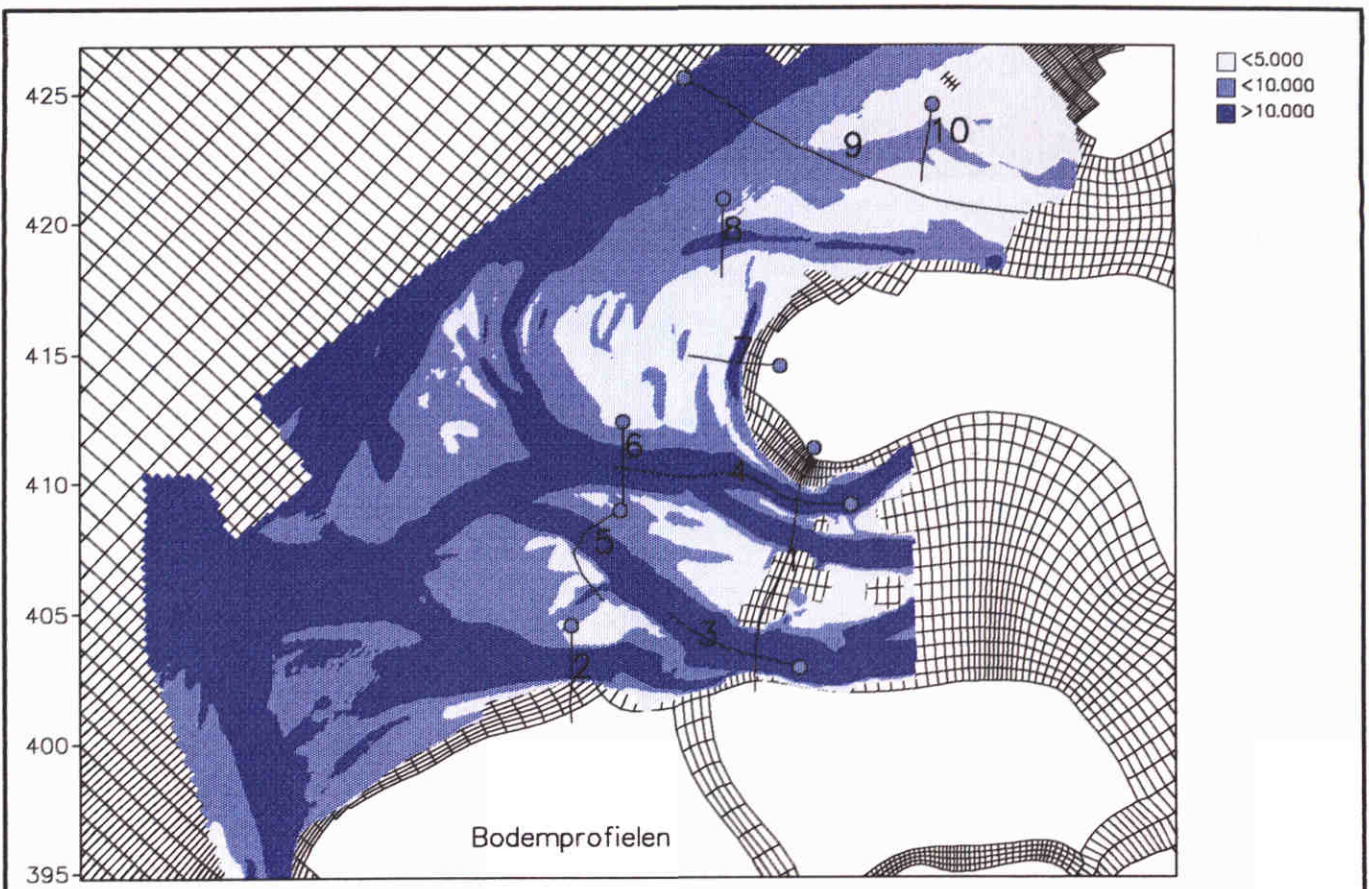
Isolijnen van de bodem op het einde van de periode.

Appendix D



Ligging kuberingsvakken voordelta, grootschalige analyse .
 Contouren van gemeten bodem 1992.

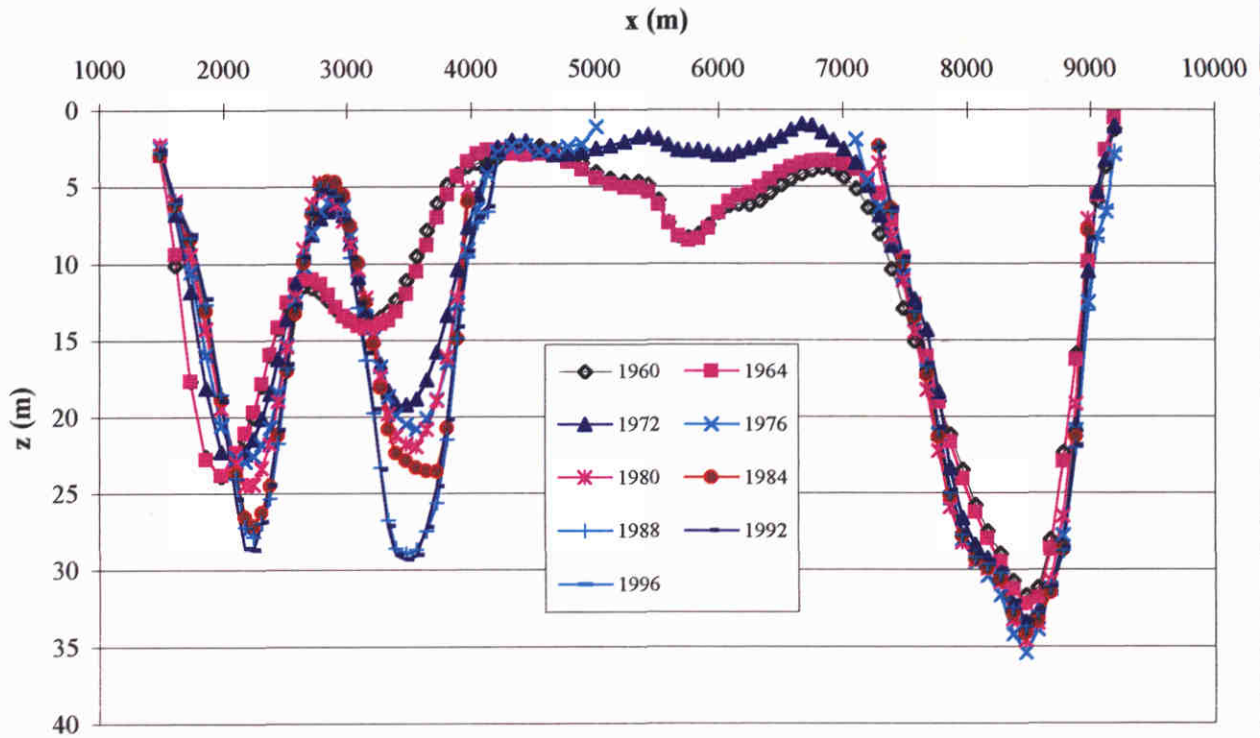
Appendix E



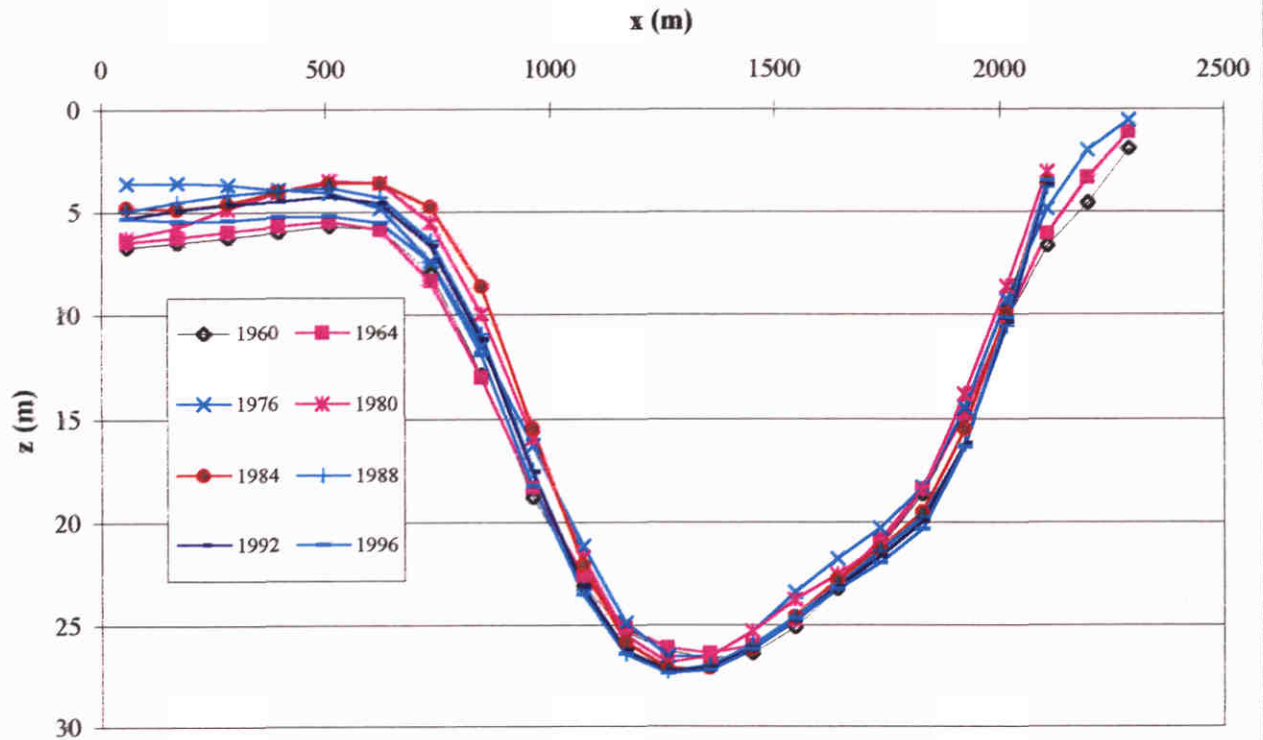
Ligging bodemprofielen voordeleta, detail analyse 1-10 .
 Ligging plaatsystemen voordeleta , detail analyse A-F.
 Contouren van gemeten bodem 1992.

Appendix F

raai I: Oosterscheldedam



raai 2: Roompot Zuid

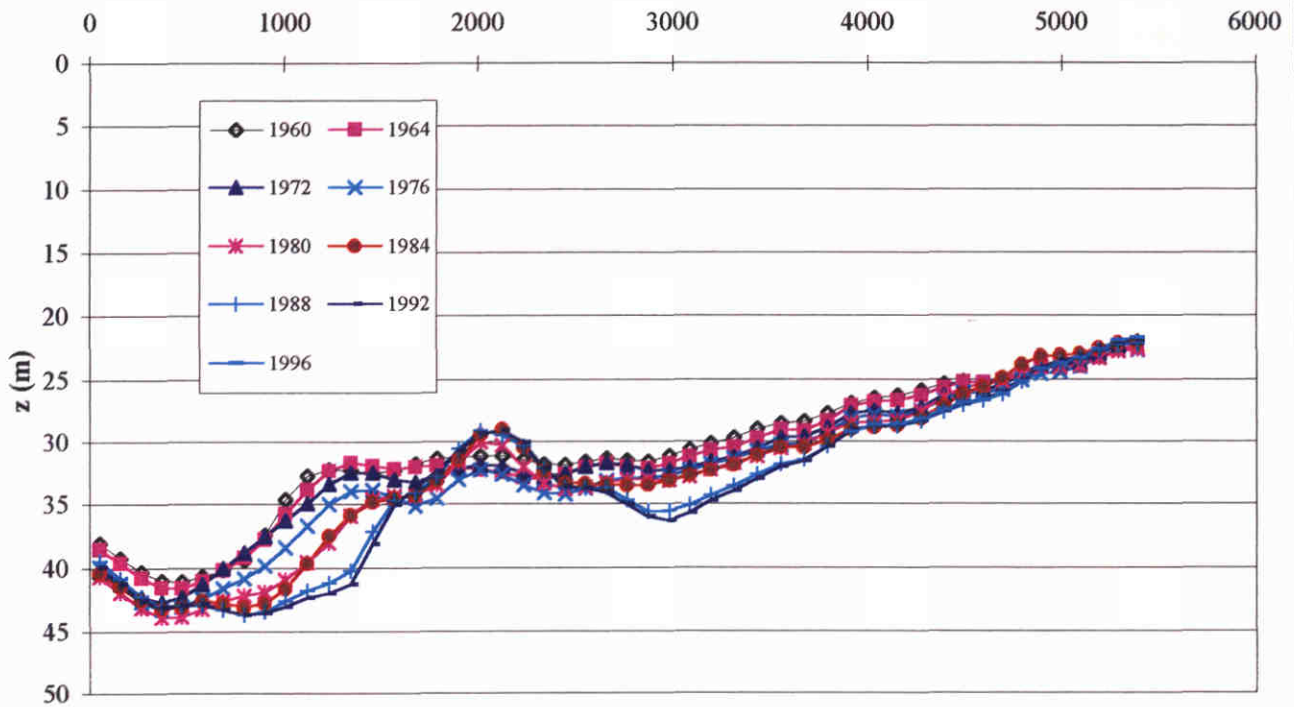


Bodemligging raaien 1 en 2

Z2694

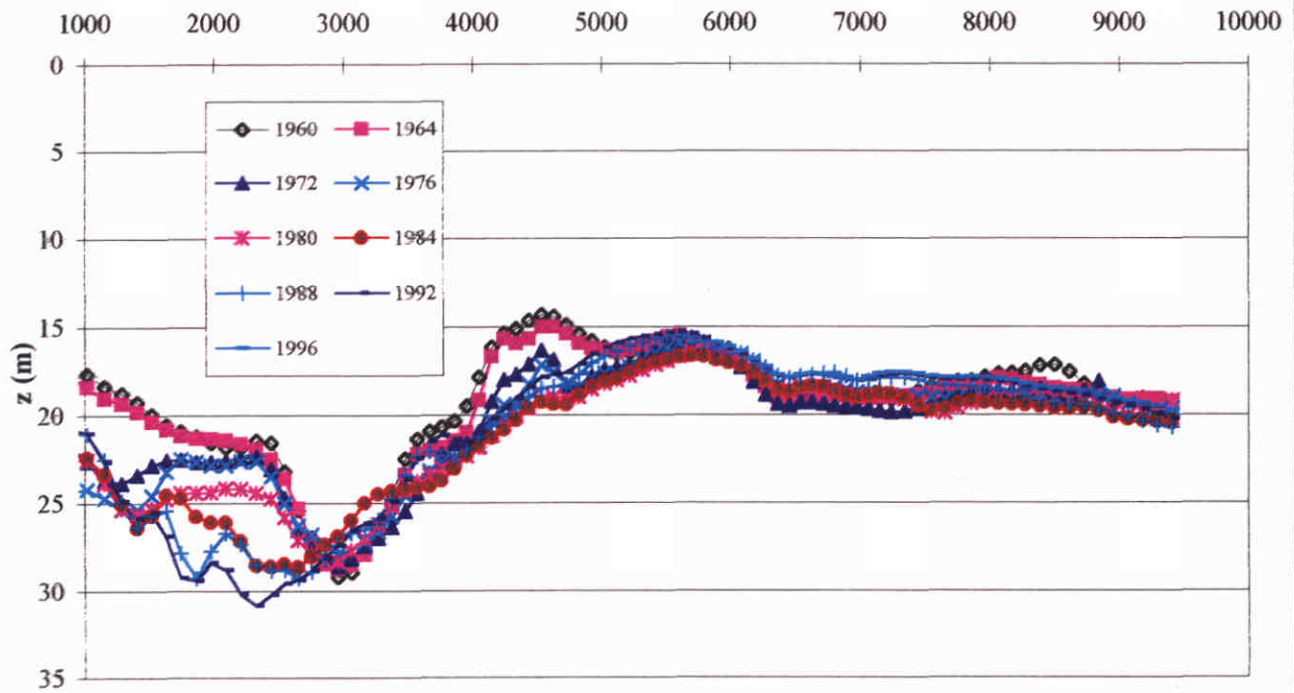
raai 3: Roompot

x (m)



raai 4: Hammen

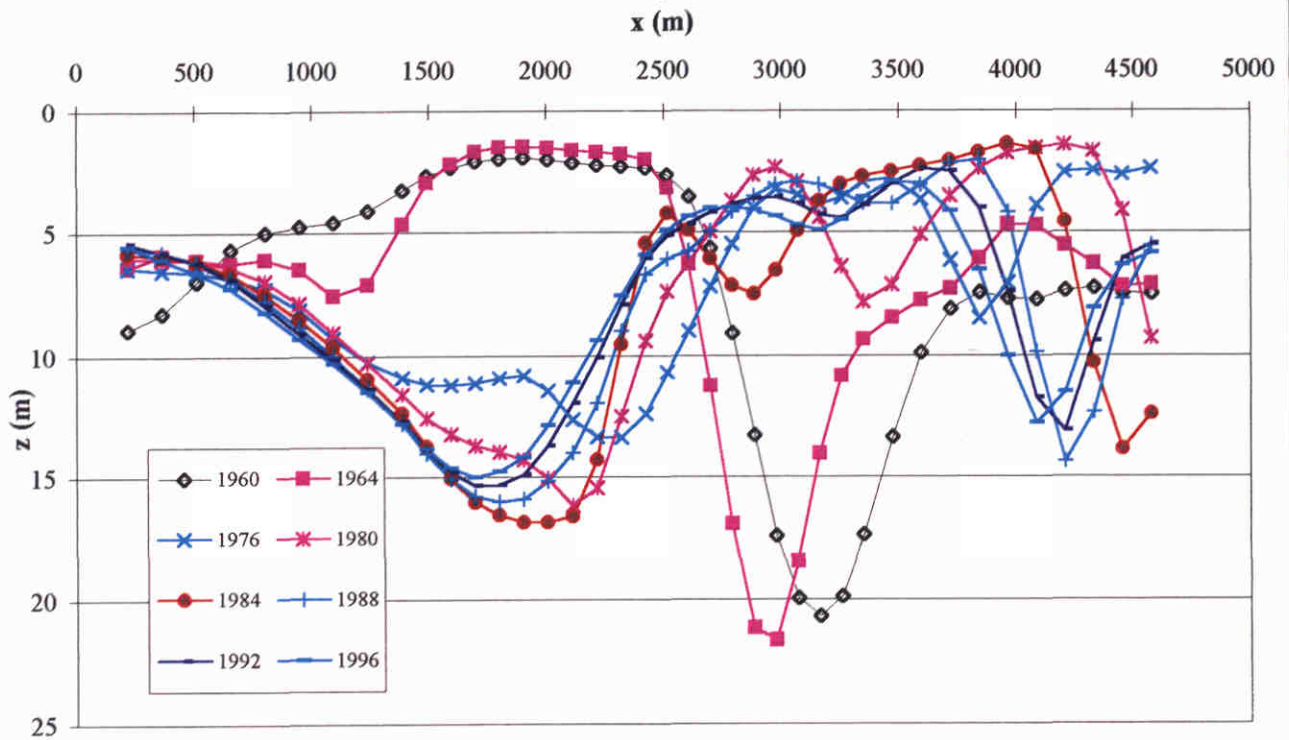
x (m)



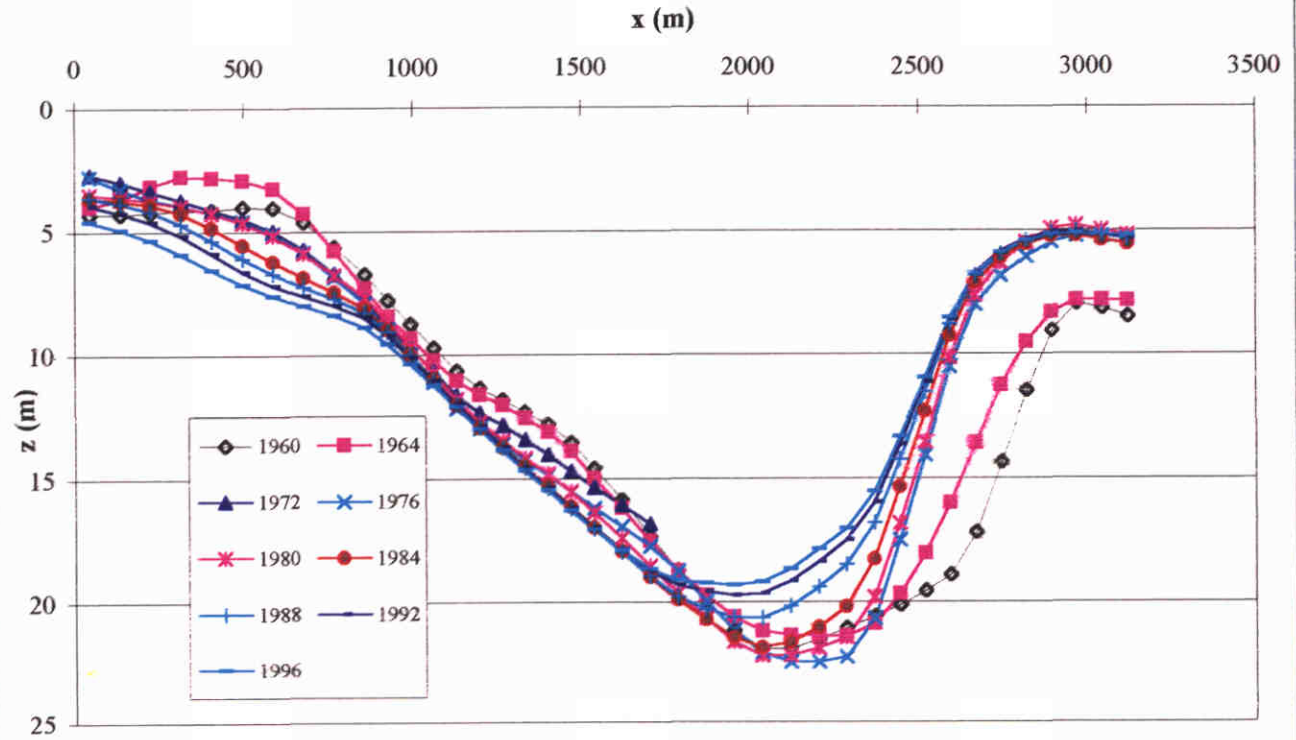
Bodemligging raaien 3 en 4

Z2694

raai 5: Roompot Noord



raai 6: Westgat

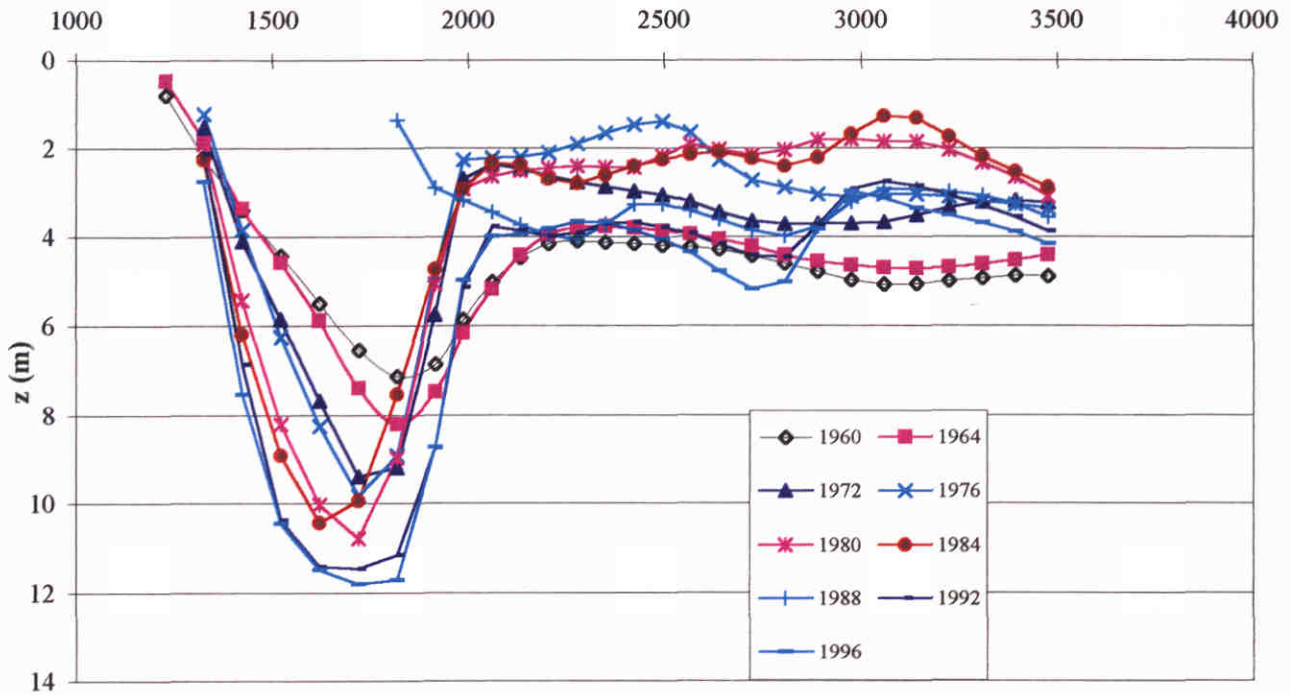


Bodemligging raaien 5 en 6

Z2694

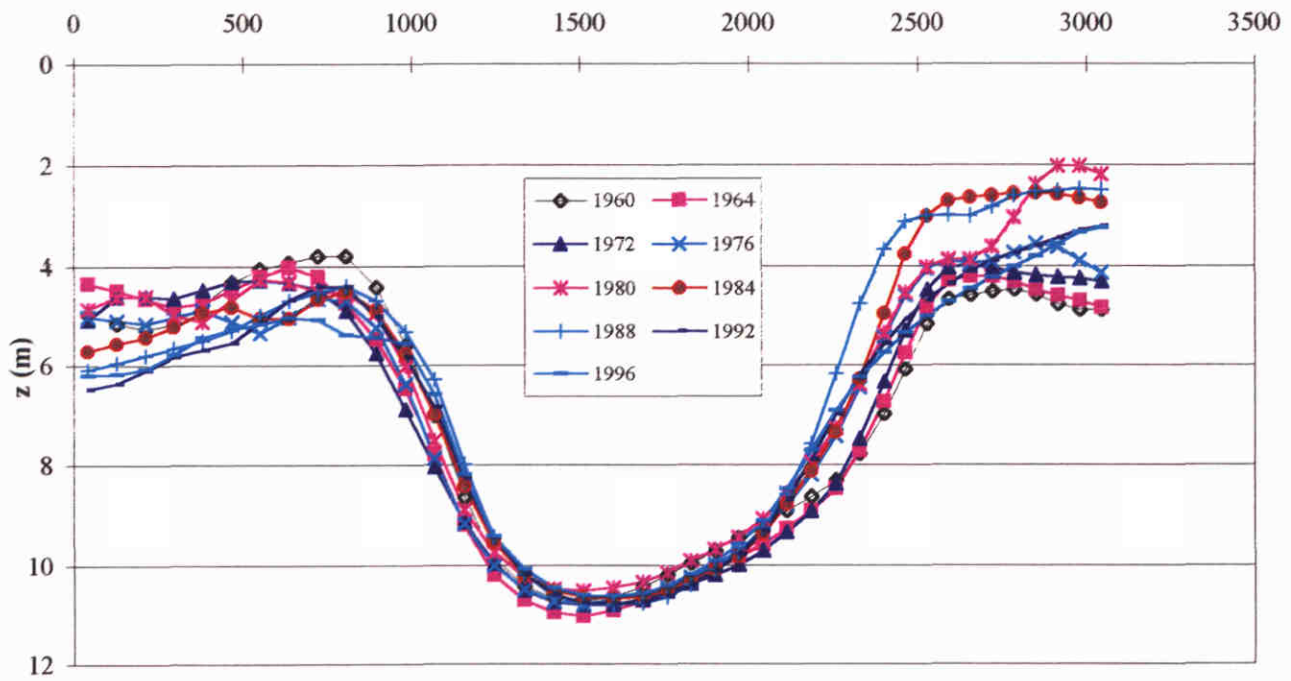
raai 7: Krabbengat

x (m)



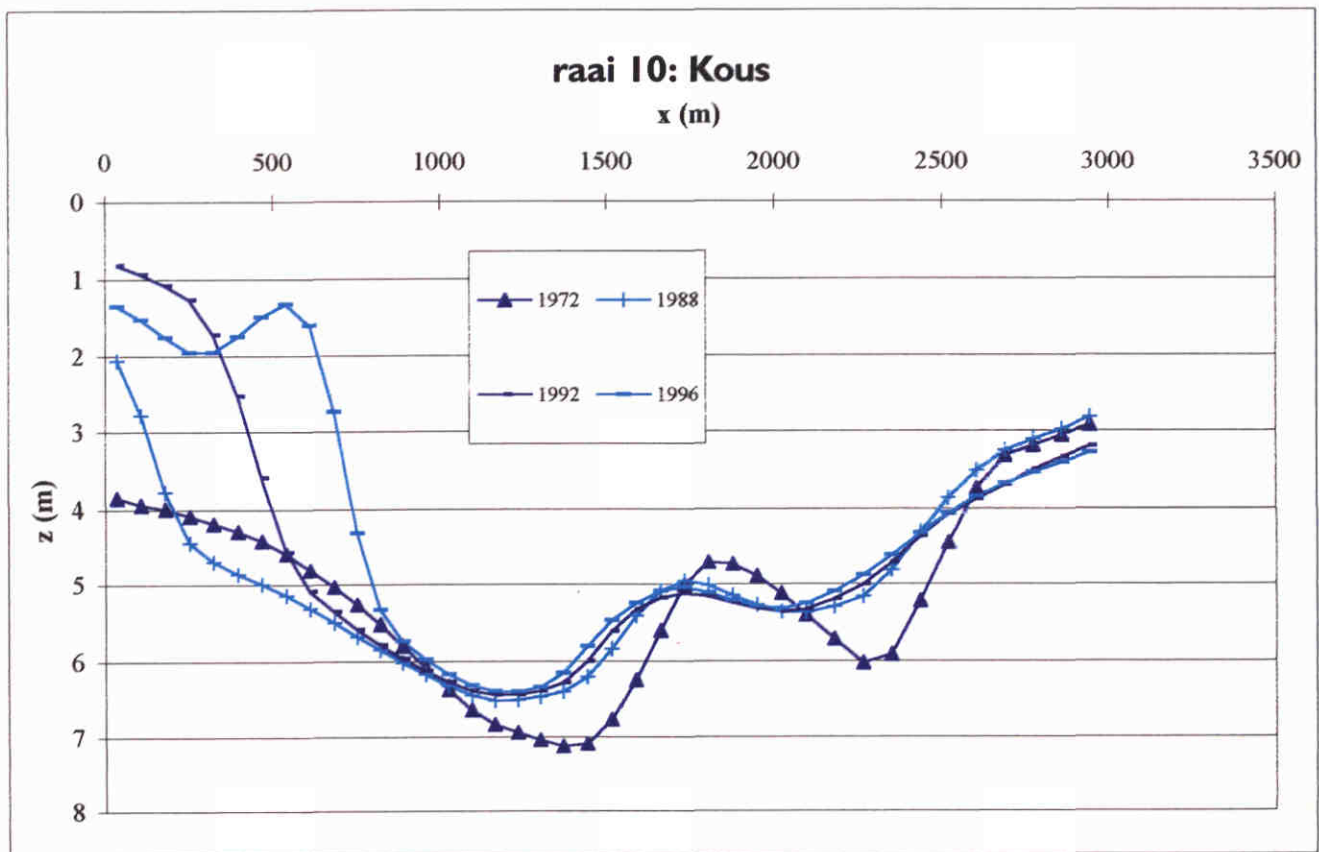
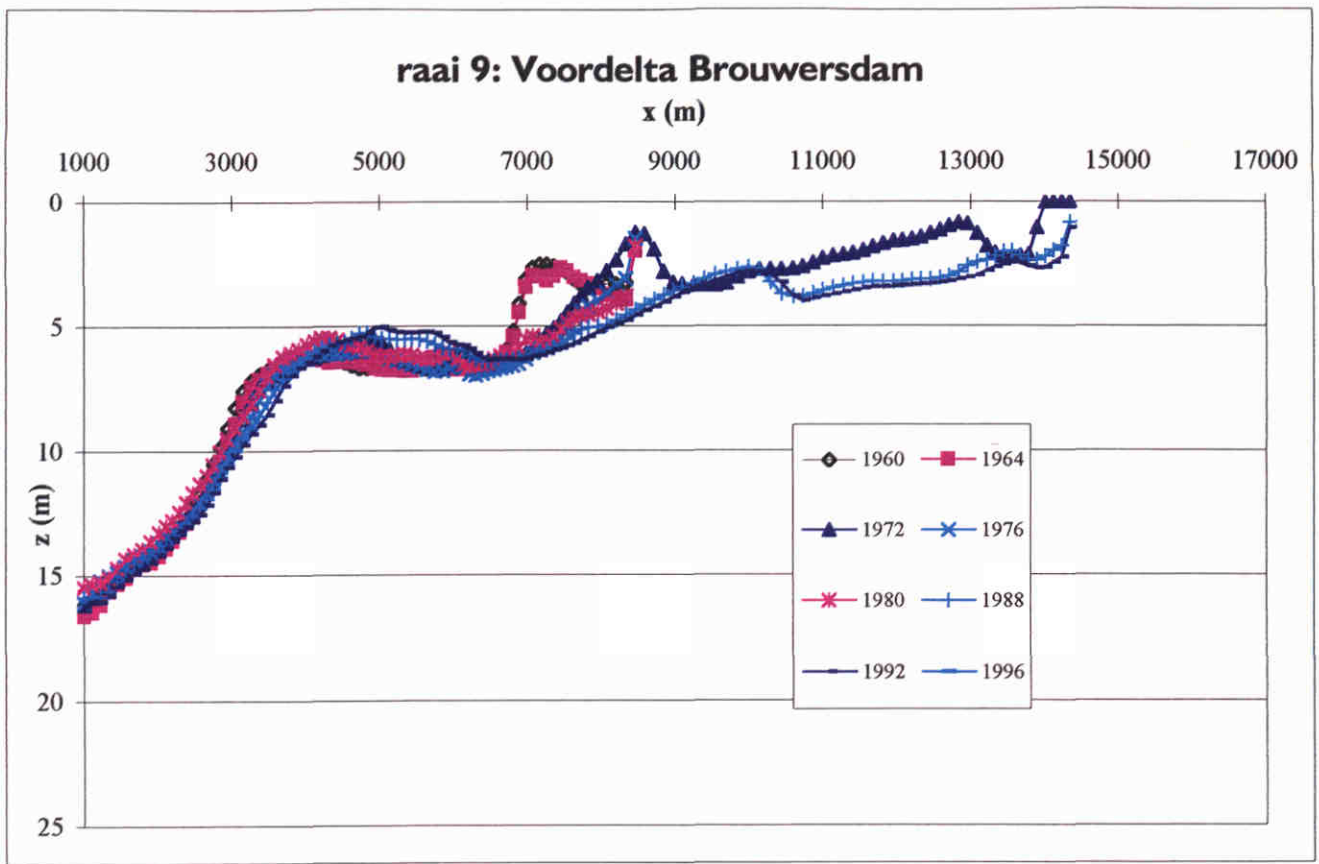
raai 8: Brouwershavense Gat

x (m)



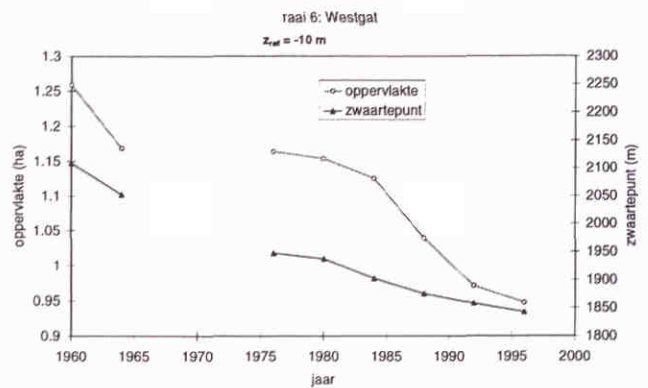
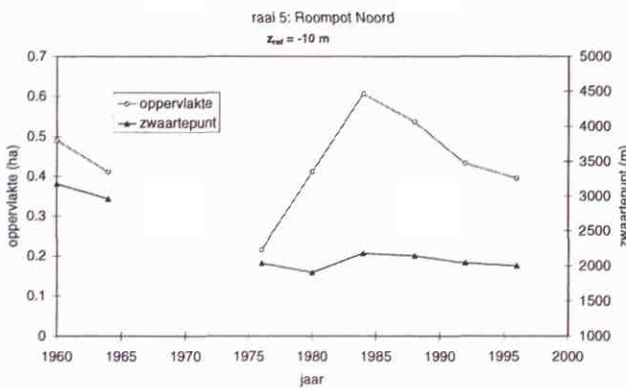
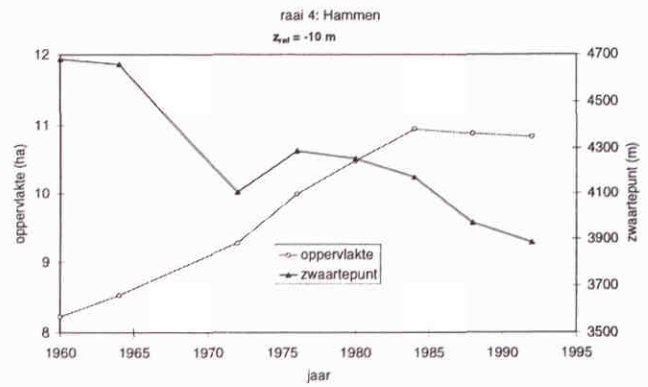
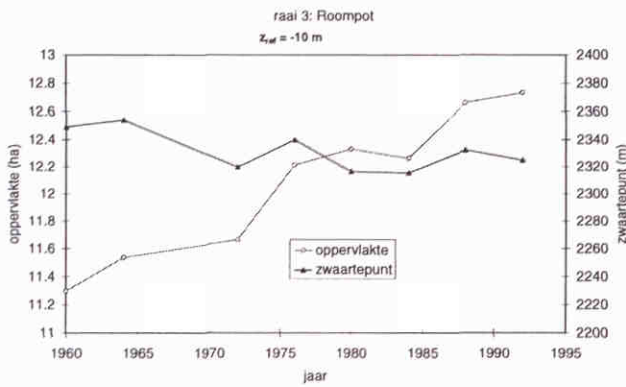
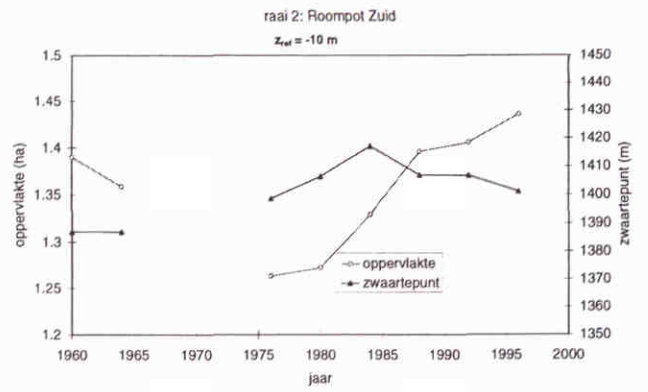
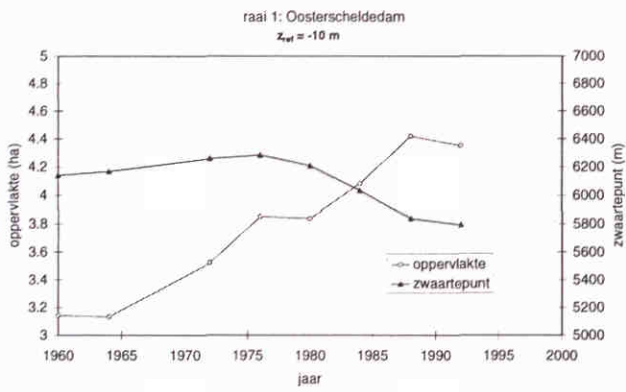
Bodemligging raaien 7 en 8

Z2694



Bodemligging raaien 9 en 10

Z2694

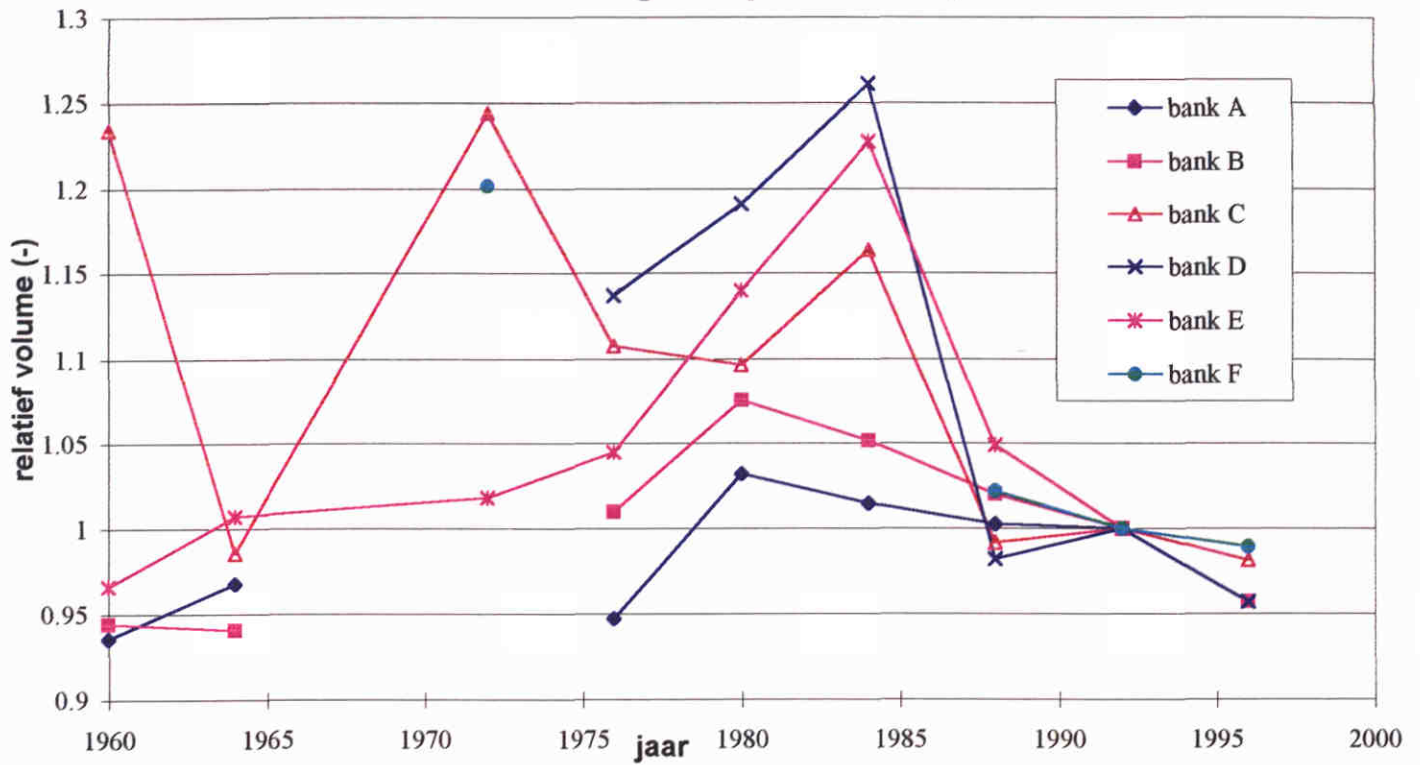


Oppervlakte en zwaartepunt raaien 1 t/m 6

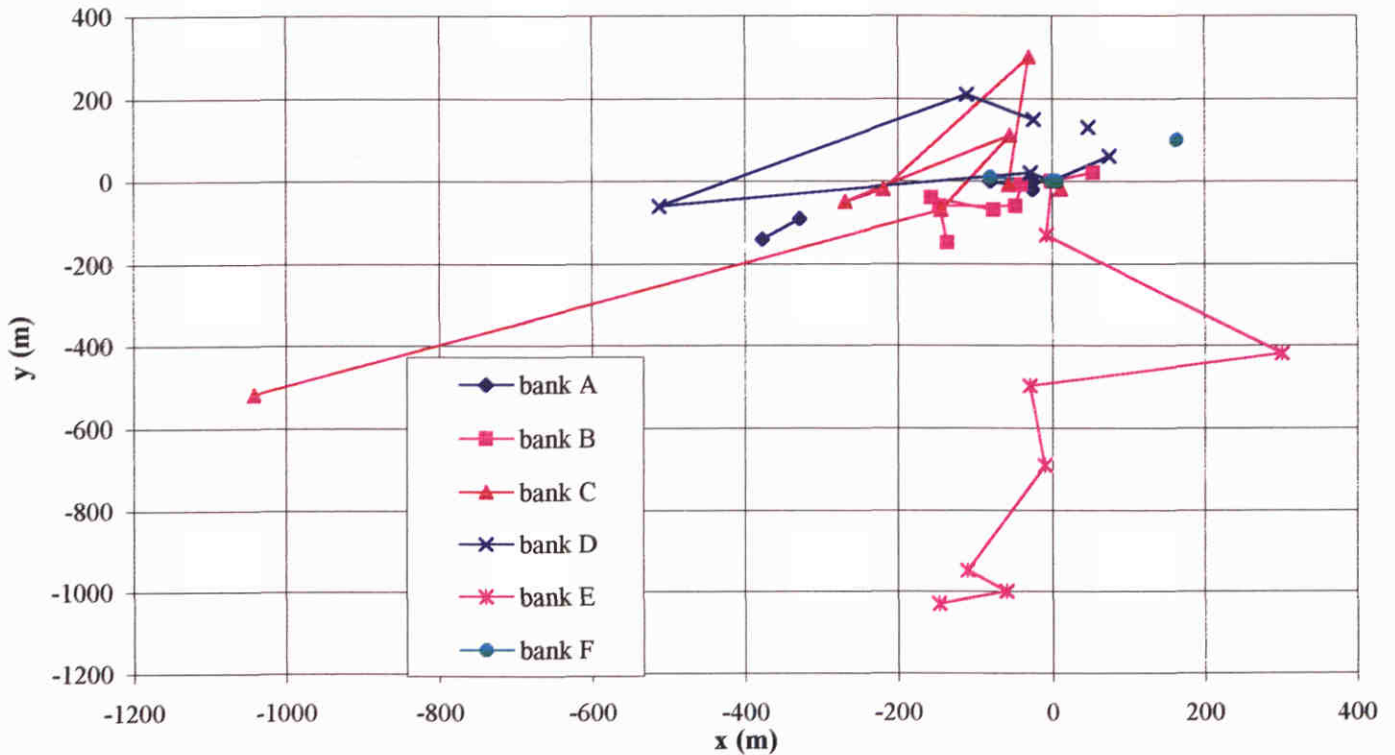
Z2694

Appendix G

Relatieve veranderingen in plaatvolume, 1992 = 1



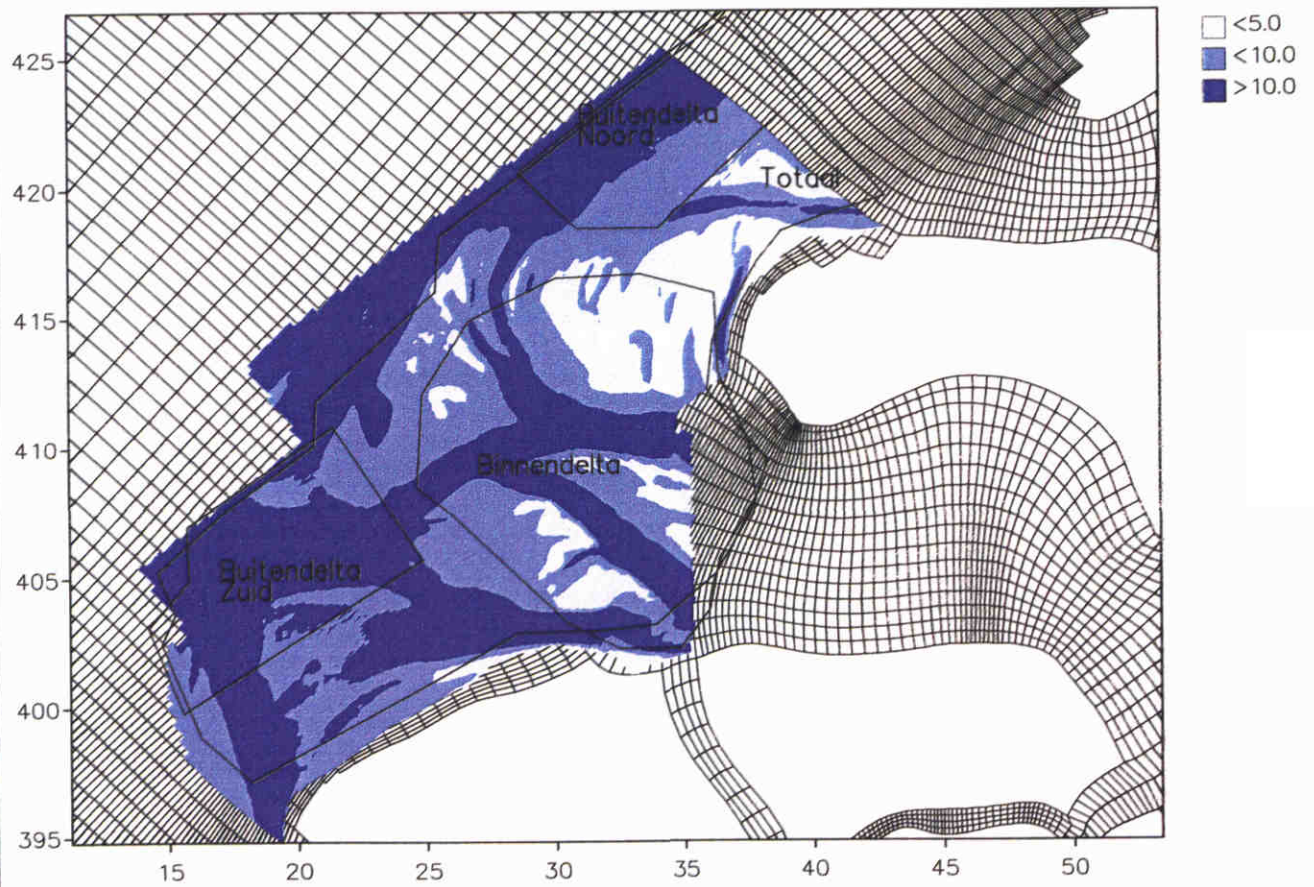
Plaatverschuiving, 1992 = (0,0)



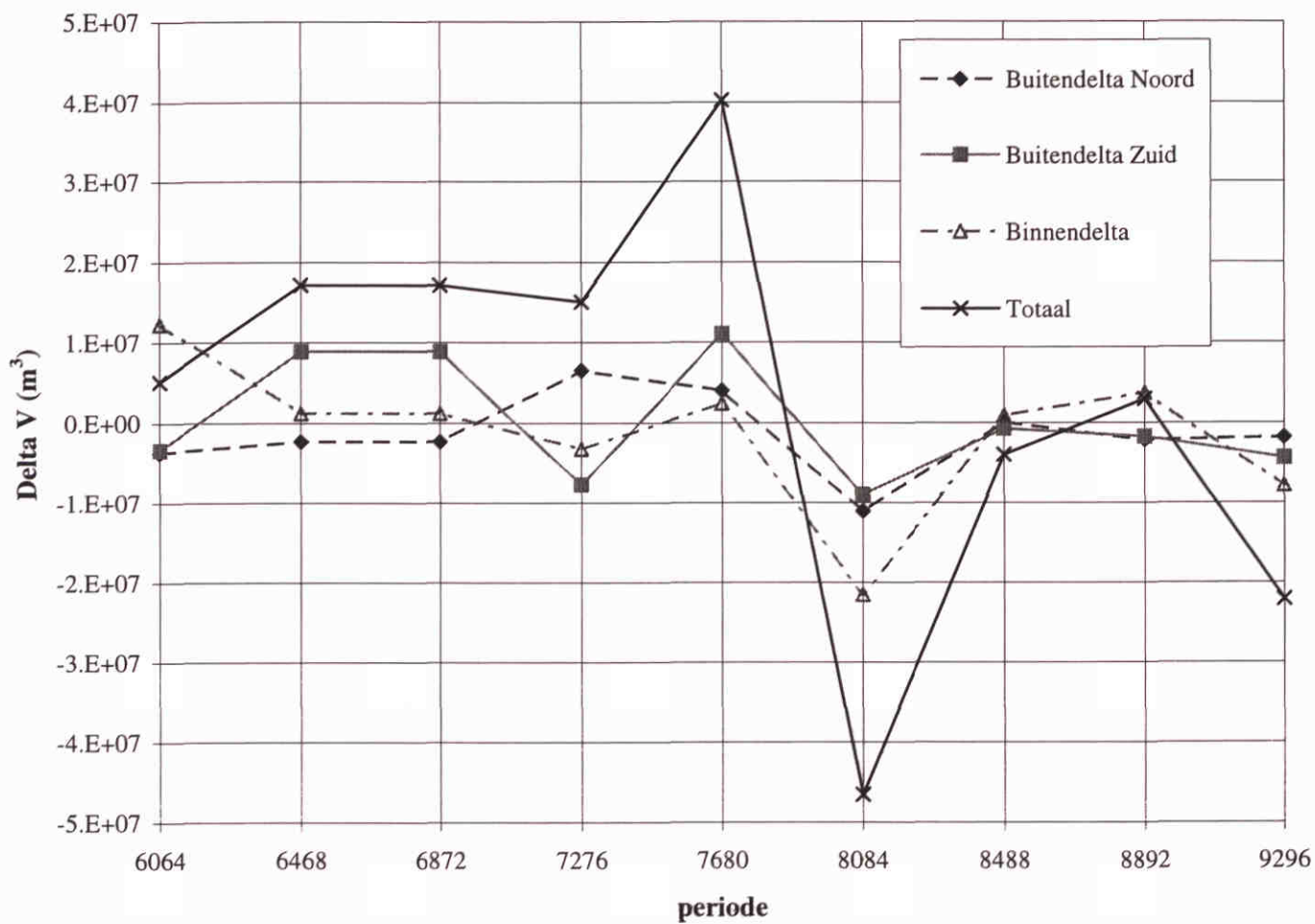
Relatieve veranderingen in plaatvolumes en plaatverschuivingen
referentiejaar = 1992

Z2694

Appendix H



Ligging kuberingsvakken voordelta, grootschalige analyse .
 Kuberingen per deelperiode tussen kernjaren
 Contouren van gemeten bodem 1992



Trend in kuberingen van grootschalige morfologische eenheden per
deelperiode van 4 jaar

Z2694



wL | delft hydraulics

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

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

