

# **Grootschalige morfologische veranderingen in de Voordelta**

**1964 - 2013  
WERKDOCUMENT**

Edwin Elias  
Ad van der Spek

1207724-001



**Titel**

Grootschalige morfologische veranderingen in de Voordelta

**Opdrachtgever**

KPP-B&O Kust.

Uitwisseling getjebekkens &

Morfodynamiek

eilandkoppen

**Project**

1207724-001

**Pagina's**

6

**Trefwoorden**

Type hier de trefwoorden

**Samenvatting**

Type hier de samenvatting

**Referenties**

Type hier de referenties

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	Juni 2014	Edwin Elias				Dirk-Jan Walstra	
		Ad van der Spek					

**Status**

voorlopig

Dit document is een voorlopig rapport en uitsluitend bedoeld voor discussiedoeleinden.

Aan de inhoud van dit rapport kunnen noch door de opdrachtgever, noch door derden rechten worden ontleend.





## Inhoud

<b>1 Inleiding</b>	<b>3</b>
1.1 Doelstelling	3
1.2 Beschikbare Meetdata	4
1.3 Bestaande inzichten met betrekking tot de sediment balans	6
1.3.1 Walburg (2005) en de analyses van Duin (2005) en Nederbragt (2006)	6
1.3.2 De studie van Cleveringa (2008)	8
<b>2 De Voordelta</b>	<b>10</b>
2.1 Grootschalige morfologische veranderingen	12
<b>3 Westerschelde</b>	<b>18</b>
3.1 Huidige ligging van geulen en platen	18
3.2 Morfologische processen en veranderingen	20
<b>4 Oosterschelde</b>	<b>26</b>
4.1 Huidige ligging van geulen en platen	26
4.2 Morfologische veranderingen	28
4.2.1 Morfologische veranderingen over de periode 1960-1980	29
4.2.2 Morfologische veranderingen over de periode 1980-2010	31
4.2.3 Erosie van de kust van Schouwen	31
<b>5 Grevelingen</b>	<b>33</b>
5.1 Huidige ligging van geulen en platen	33
5.2 Morfologische veranderingen	33
<b>6 Haringvliet</b>	<b>38</b>
6.1 Huidige ligging van geulen en platen	38
6.2 Morfologische veranderingen	42
6.3 Volumeontwikkelingen in detail.	45
<b>7 Synthese; de morfodynamiek van de Voordelta</b>	<b>49</b>
Er ontstaat nu een complex gebied waar grote veranderingen in beperkte tijd kunnen optreden. Met iedere doorbraak wordt een micro-getijsysteem (eb-/vloedschaartjes met bijbehorende sedimentatiegebieden) gevormd, dat in de loop van de tijd weer invult en verdwijnt. Dit proces zal doorgaan tot het gehele achterliggende bekken met sediment is ingevuld.	<b>55</b>
<b>8 Literatuur</b>	<b>56</b>
<b>Bijlage(n)</b>	
<b>A Beschikbare bodemgegevens</b>	<b>A-1</b>
<b>B Onderbouwing Sedimentbudget</b>	<b>B-6</b>
B.1 Overzicht	B-6
B.2 Westerscheldemonding	B-7

B.3 Oosterscheldemonding  
B.4 Grevelingenmondning  
B.5 Haringvlietmondning

B-11  
B-13  
B-15

# 1 Inleiding

## 1.1 Doelstelling

In het project KPP-B&OKust wordt gewerkt aan een zo coherent mogelijke beschrijving van de morfologische ontwikkeling en sedimentbalans van de mondingen in de Voordelta. Deze morfologische ontwikkeling en sedimentbalans beïnvloeden de (toekomstige) ontwikkeling van de aangrenzende eilandkusten; de kennis vormt daarmee een basis voor een efficiënt sedimentbeheer van de eilandkusten.

Het onderzoek wordt gerapporteerd in 2 delen: Dit eerste deel behandelt de grootschalige sedimentbalans van alle mondingen van de Voordelta (i.e. de monding van de Haringvliet, de Grevelingen, de Oosterschelde en de Westerschelde, zie Figuur 1.2 ). Daarnaast wordt in dit deel voor ieder mondingsgebied de morfologische ontwikkeling in detail beschreven. Het tweede deel geeft een nadere uitwerking van de sedimentbalans, waarbij de nadruk op het verkleinen van de onzekerheden ligt. De periode van 1964 tot 2012 (de meest recente meting) is bekeken in verband met de beschikbaarheid van digitale data.

In het verleden zijn al vele studies verricht naar de verschillende deelsystemen binnen de Voordelta. Een uitgebreide beschrijving van de Westerscheldemonding wordt gegeven door Haecon (2006). De Oosterscheldemonding wordt beschreven in het recente werk van Eelkema (2013). De Grevelingen- en Haringvlietmonding worden uitvoerig beschreven door o.a. van der Spek (1987) en Aarninkhof en van Kessel (1999). De Haringvlietmonding is recent uitvoerig bekeken door de Winter (2014). Een grootschalige sedimentbalans van de gehele Voordelta wordt beschreven in het werk van Walburg (2005) en door Cleveringa (2008). De laatste studie is een continuering van het werk gepresenteerd in Cleveringa (2006), waarin een beschrijving van de morfologie van de Voordelta (mondning van het Haringvliet, de Grevelingen en de Oosterschelde) wordt gegeven. Deze studies hebben veel inzicht verschaft in de werking van de morfologie van de Voordelta. Toch zijn een aantal vragen nog onbeantwoord. Eén van de belangrijke nog openstaande vragen is: Verliest de Voordelta sediment? en zo ja, hoeveel? In Walburg (2005), en in de aan deze studie gerelateerde analyse van Nederbragt (2006), wordt geconcludeerd dat over de periode 1964-1999 sprake is van een volumeverlies van -10.6 miljoen m<sup>3</sup> per jaar. In de studie van Cleveringa (2008) wordt, na uitvoering van correcties op de meetdata, een volumeverlies geschat van -2.2 miljoen m<sup>3</sup> per jaar over de periode 1984-2004. In deze studie zijn aannames gedaan met betrekking tot het wel of niet meenemen van bepaalde meetdata. Het is (nog) niet aangetoond of deze aannames geldig zijn. Het moet gezegd worden dat het werk van Cleveringa (2006 en 2008) een uitstekende basis legt in het begrip van met name de Voordelta. Met de doorgaande metingen kan het inzicht in het gedrag van de Voordelta worden verbeterd en de mogelijke discrepantie tussen de volumeveranderingen zoals gepresenteerd in voorgaande studies worden opgelost.

## 1.2 Beschikbare Meetdata

Er zijn verschillende bronnen voor de bodemdata. De belangrijkste zijn de Jaarlijkse Kustmetingen en de Vaklodingen. Deze twee datasets worden centraal bij Rijkswaterstaat gearchiveerd. De Jaarlijkse Kustmetingen (JarKus) worden al sinds 1964 opgenomen. Deze profielmetingen worden loodrecht op de kust uitgevoerd met een tussenafstand van 200-250m en een lengte van 800-1200m vanaf de RijksStrandPalen (RSP-lijn). De Vaklodingen zijn gebiedsdekkend, beslaan het hele mondingsgebied tot ruwweg de -20m contour, maar worden minder frequent opgenomen. Vaklodingen worden opgeslagen als 10x12.5 km blokken met 20m resolutie. In Appendix A is een compleet overzicht van de data zoals gebruikt in deze studie gegeven.

Een uitgebreide inventarisatie van de centraal gearcheerde, meetdata is gemaakt door de Kruijff (2001). In dit document wordt een overzicht gegeven van alle bodemdata aanwezig bij Rijkswaterstaat in de periode 1925-2000 (met een accent op de periode 1965-2000). In het algemeen kan gesteld worden dat Rijkswaterstaat vanaf 1985 de bodemdata digitaal heeft ingewonnen en opgeslagen. Data van voor 1985 bestaat hoofdzakelijk uit gedigitaliseerde bodemkaarten.

In de Zeeuwse Delta worden de Vaklodingen uitgevoerd door Rijkswaterstaat Dienst Zee en Delta (voorheen Dienst Zeeland). Voor dit gebied zijn sinds 1950 Vaklodingen beschikbaar. De eerste digitale opname van de volledige Westerscheldemonding is aanwezig in 1964. Sinds 1970 wordt de Delta frequent gemeten en zijn er kaarten aanwezig met een opname interval tussen de 1 en 3 jaar. Vrijwel alle kaarten bestaan uit 2 opnamen om een volledige dekking te krijgen. Data voor de Oosterschelde is beschikbaar over de periode 1960-2010. Het opname interval varieert tussen de 1 en 4 jaar. Een gelijk interval zien we in de bodemopnamen van de Grevelingenmonding. De data is beschikbaar over de periode 1964-2010. Voor de Haringvliet zijn meer data beschikbaar. Het opname interval ligt hier voornamelijk tussen de 1 en 2 jaar. Voor vrijwel alle deelgebieden geldt dat 2 jaar benodigd is om een gebiedsdekkende kaart te maken (Appendix A, Tabel A-1). Indien nodig zijn de eilandkusten ingevuld met de JarKus metingen voor dat jaar.

De bodemdata zijn gearcheerd bij Rijkswaterstaat en op te vragen bij de Helpdesk Water van Rijkswaterstaat. Op dit moment bestaan er echter 2 databases met bodemdata voor de Zeeuwse Delta. De data is gearcheerd volgens de originele Zeeuwse opnamegebieden (zie Figuur 1.1) en volgens de landelijke kaartblad Vakloding indeling. Nadere inspectie van de kaartblad Vaklodingen dat deze soms uit samengestelde data bestaat. Er zijn meerdere Zeeuwse Kaartbladen (van verschillende jaren) gebruikt om een gebiedsdekkende Vakloding te verkrijgen. Als onderdeel van deze studie zijn de kaartblad Vaklodingen gecorrigeerd zodat deze de juiste data bevat. Deze gecorrigeerde data is beschikbaar via het OpenEarth initiatief (<http://openearth.deltares.nl>) in de repository:

<http://opendap.deltares.nl/thredds/dodsC/opendap/rijkswaterstaat/vaklodingen/catalog.html>  
<http://kml.deltares.nl/kml/rijkswaterstaat/vaklodingen.kml>.



Figuur 1.1 : De lodingsvakken van Directie Zeeland. De Zeeuwsche delta bevat de mondingsgebieden van de Westerschelde, Oosterschelde en Grevelingen. Het Haringvliet behoort bij de provincie Zuid-Holland.

### 1.3 Bestaande inzichten met betrekking tot de sediment balans

#### 1.3.1 Walburg (2005) en de analyses van Duin (2005) en Nederbragt (2006)

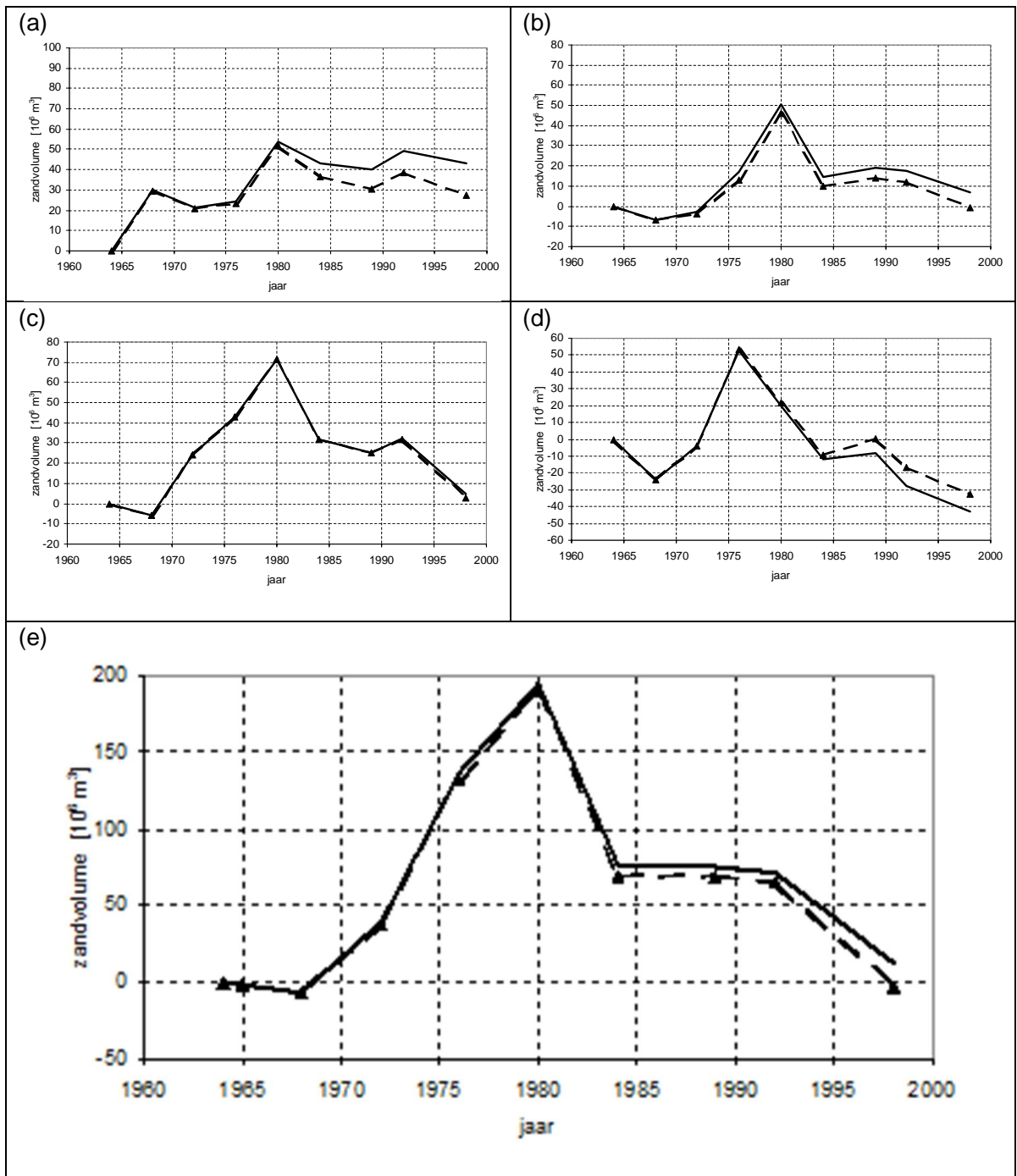
De studie van Walburg (2005) was de eerste studie waarin op een coherente manier de beschikbare data (de Kruif, 2001) is gebruikt voor het maken van gebiedsdekkende bodemkaarten en het opstellen van een sedimentbalans van de Voordelta. Deze sedimentbalans is door Duin (2005) en Nederbragt (2006) gebruikt als basis voor de morfologische analyse van het kuststelsel. De geobserveerde trends worden in Tabel 1-2 weergegeven.

Kijken we naar het totale systeem over de gehele periode (Figuur 1.2 , e), dan zien we dat het volume rond 1997 vrijwel identiek is aan het volume in 1965. Toch hebben er zich grote veranderingen voorgedaan: Tussen 1970 en 1980 nemen de volumes met bijna 200 miljoen m<sup>3</sup> toe. Sinds 1980 nemen de volumes weer af. Met een volume verlies van 200 miljoen m<sup>3</sup> in 17 jaar is de gemiddelde verandering sinds 1980 bijna 12 miljoen m<sup>3</sup>/jaar. Soortgelijke volumeverliezen zijn ook in de aanvullende studie van Duin (2006) bepaald voor de Voordelta (Tabel 2-1).

Tabel 1.1 *Berekende volumetrends (miljoen m<sup>3</sup>/jaar) over de periode 1994-1999 (Duin, 2005).*

	<b>Trend (miljoen m<sup>3</sup>/j)</b>	<b>ondergrens</b>	<b>Bovengrens</b>
Haringvliet	-1.2	0.1	0.8
Grevelingen	-2.8	-0.4	0.5
Oosterschelde	-3.6	-1.1	-0.1
Westerschelde	-3.3	-2.7	-1.5
Voordelta	-10.6	-3.9	-0.4

- De onder- en bovengrens zijn bepaald door de 90% betrouwbaarheidsinterval.



Figuur 1.2 Overzicht van de gemeten volumeverandering voor (a) Haringvliet, (b) Grevelingen, (c) Oosterschelde, (d) Westerschelde en (e) totale Voordelta . De correcties voor baggeren, storten en zandwinning zijn gebaseerd op Hoogervorst (2005).

### 1.3.2 De studie van Cleveringa (2008)

Het totale sedimentverlies in Walburg (2005) wordt geschat op -10 tot 12 miljoen m<sup>3</sup>/jaar over de periode 1964-1998. Een verklaring voor deze grote verliezen wordt echter niet gegeven. Ook het volumeverloop door de tijd roept vraagtekens op. Er vindt een zeer grote volume toename en vervolgens weer afname plaats. Het is niet duidelijk waar deze grote sedimentvolumes vandaan komen of waar ze naar toe verplaatsen. Deze onduidelijkheid heeft geleid tot het uitgebreide, aanvullende onderzoek gepresenteerd in Cleveringa (2008). In deze studie is de sedimentbalans in meer detail uitgewerkt. Er is niet alleen gekeken naar de berekende volumeverandering, maar ook naar de volumeontwikkeling van de verschillende morfologische elementen van de buitendelta's. Het grote voordeel van de laatste methode is dat duidelijk wordt hoeveel de afzonderlijke elementen bijdragen aan het totale sedimentvolume. Daarnaast is geprobeerd de onzekerheid binnen de sedimentbalans te verkleinen. Volumeveranderingen onder een bepaalde grenswaarde (0.5m en 1.0m) worden dan niet meegenomen in de analyse.

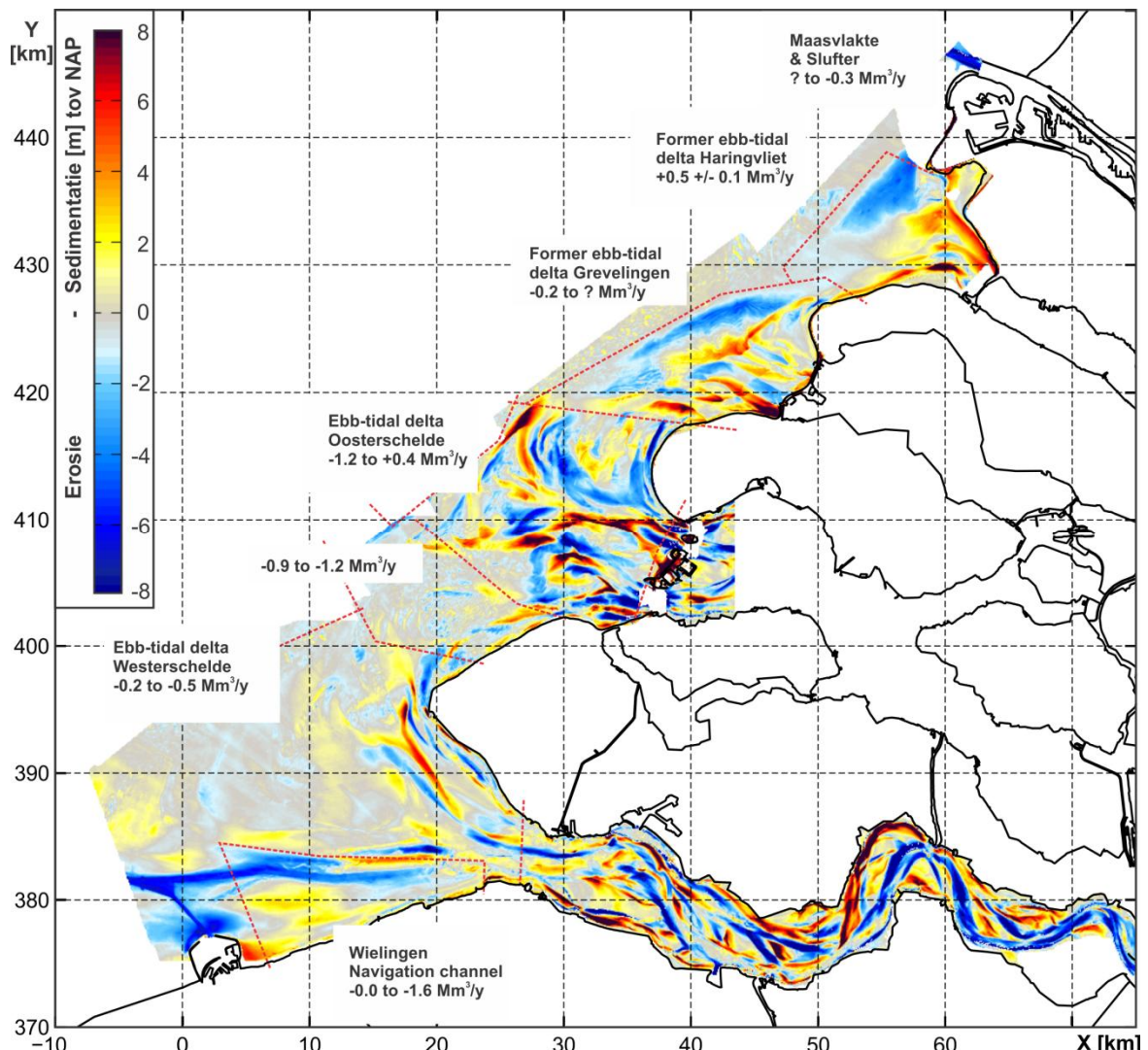
De belangrijkste conclusies van dit onderzoek zijn: "Een belangrijk deel van de erosie en sedimentatie in de Deltakust bestaat uit relatief kleine veranderingen van de bodemhoogte (niet meer erosie dan -1 m, of niet meer sedimentatie dan +1 m). Een deel van de in de data waargenomen kleine veranderingen bestaat uit natuurlijke veranderingen, maar een ander deel wordt veroorzaakt door de beperkte nauwkeurigheid van de gegevens. In deze studie is een analyse uitgevoerd naar de invloed van de deze onnauwkeurigheid op de sedimentbalans. Vervolgens zijn de sedimentbalansen gecorrigeerd, waarna de trends in de ontwikkelingen van het sedimentvolume zijn berekend. De voorlopig beste bepalingen van de ontwikkeling van het sedimentvolume van de Deltakust zijn voor de periode van 1984 tot 2004 een afname van -2,2 miljoen m<sup>3</sup> per jaar. De bovengrens voor deze schatting is -0,4 miljoen m<sup>3</sup> per jaar en de ondergrens is -3,6 miljoen m<sup>3</sup> per jaar. Deze afname voor de gehele Deltakust is opgebouwd uit veranderingen van de verschillende (voormalige) buitendelta's. In de bepalingen is geen correctie opgenomen voor de bijdrage van slib aan de sedimentatievolumes."

Opvallend in de studie van Cleveringa (2008) zijn de grote verschillen ten gevolge van de toegepaste correcties. Door correctie neemt de trend in sedimentatie-erosie sterk af (Tabel 1.2). De sedimentatie-erosie trends zoals gepresenteerd in Figuur 1.3 zijn beduidend lager dan de waarden gevonden in de studie van Walburg (Figuur 1.2). In de huidige studie proberen we het geobserveerde verschil in sedimentatie-erosie trend tussen de twee studies beter te begrijpen en onderbouwen.

Tabel 1.2 Berekende volumetrends (miljoen m<sup>3</sup>/jaar) volgens Cleveringa (2008).

Trend in the erosion or deposition of the Delta coast (in	1964-1980	1980-2004
Original cumulative sediment volume (no correction)	14.6	-3.6
1. Corrected - average -1.0 m to 1.0 m	9.6	-1.5
2. Corrected - average and spike removal -1.0 m to 1.0 m	8.6	-0.4
3. Corrected - average -0.5 m to 0.5 m	11.4	-2.2
4. Corrected - average and spike removal -0.5 m to 0.5 m	11.7	-2.2





Figuur 1.3 Sedimentatie en erosiesnelheden in de periode 1976/1980 tot 2004, gebaseerd op Cleveringa (2008).  
De onderliggende sedimentatie-erosie kaart is gebaseerd op 1964-2010.

## 2 De Voordelta

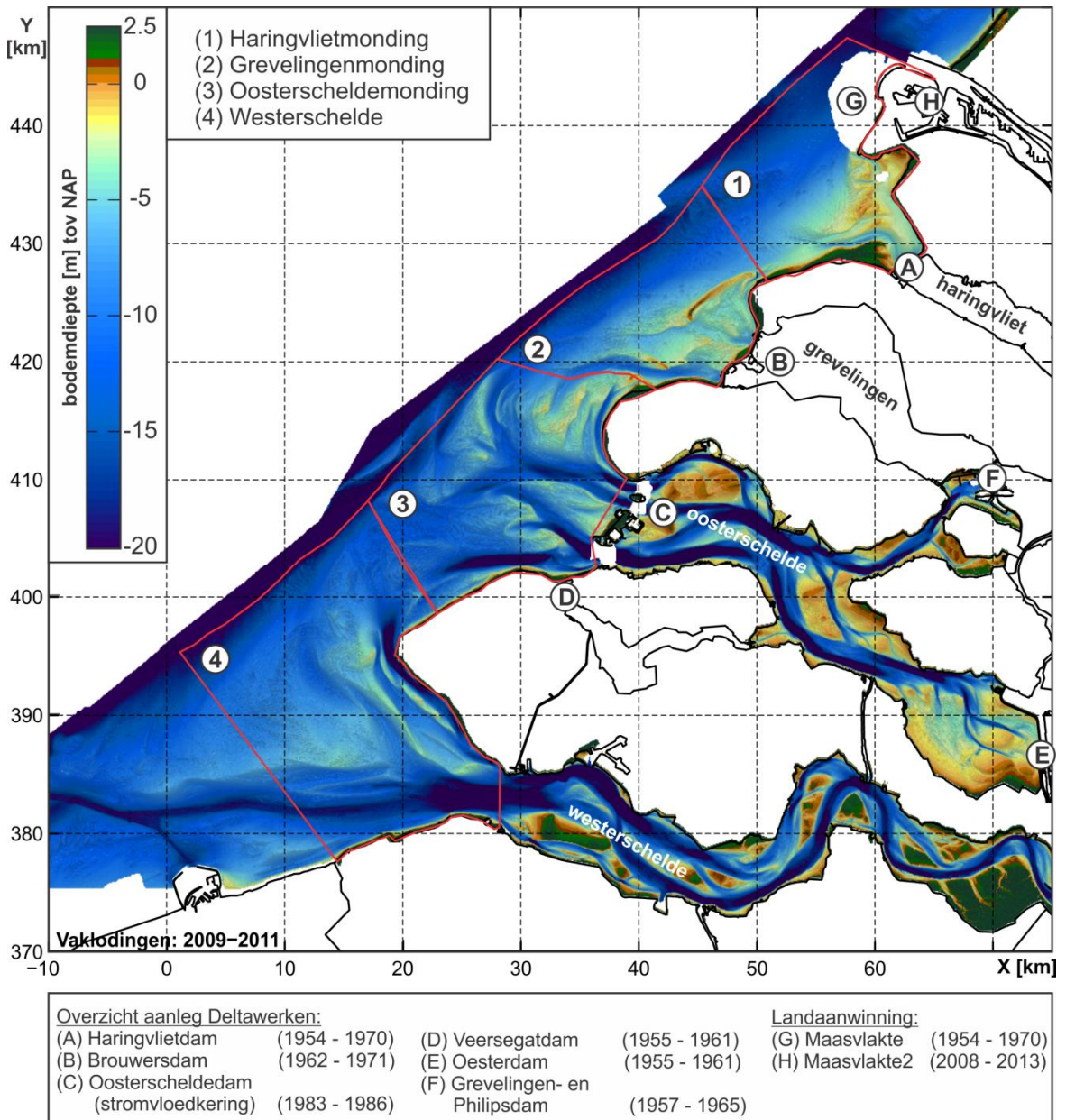
De Voordelta bestaat uit een aaneengesloten ondiepte gevormd door de vier aan elkaar grenzende mondingsgebieden van de Westerschelde, Oosterschelde, Grevelingen en het Haringvliet (Figuur 2.1). Alleen bij de Westerschelde en Oosterschelde is er nog een verbinding van de monding met het achterliggende estuarium door grote getijgeulen. In noordwaartse richting neemt de diepte van de voordelta af, zijn de geulen kleiner (ondieper) en neemt het ondiepe plaatareaal toe. De estuaria (Grevelingen en Haringvliet) zijn hier door dammen afgesloten van de voorliggende monding. De monding van het Haringvliet is het meest ondiepe gebied. Aan de noordzijde wordt het Haringvliet begrensd door de eerste en de tweede Maasvlakte. De grote golfbrekers langs de vaargeul naar de haven van Rotterdam vormen een duidelijke scheiding tussen de Voordelta en de Hollandse kust. Aan de zuidzijde kan zo'n duidelijke grens van de Voordelta niet getrokken worden. Hier gaat de buitendelta van de Westerschelde (de Vlake van Raan) over in de Belgische Vlaamse banken. Deze diffuse afbakening van de Westerscheldemonding is één van de redenen waarom er onzekerheid is in de sedimentbalans. De landwaartse begrenzing in de Westerscheldemonding wordt vaak gekozen langs de denkbeeldige lijn tussen Vlissingen en Breskens.

Eigenlijk is er bij de Grevelingen- en Haringvlietmonding geen sprake meer van een buitendelta omdat de achterliggende estuaria zijn afgesloten. De Voordelta is al sinds de jaren zestig sterk beïnvloedt door de Deltawerken. De aanleg van de Haringvlietdam (voltooid in 1971) en de Brouwersdam dam (voltooid in 1971) sluit deze estuaria vrijwel volledig af van de voorliggende buitendelta. In de Haringvliet zijn wel spuisluizen aanwezig met een maximale capaciteit van 25.000 m<sup>3</sup>/s. De monding van de Oosterschelde en Westerschelde maken nog wel verbinding met het achterliggende estuarium. Toch is de invloed van menselijk ingrijpen in beide estuaria zeer groot. De voltooiing van de Oosterschelde stormvloedkering in 1986 heeft het doorstroomoppervlak van ter plaatse significant verkleind en zodanig de hydrodynamica en morfodynamica van de Oosterschelde beïnvloedt. Het Westerschelde estuarium wordt sterk beïnvloedt door baggerwerkzaamheden die de hoofdgeul op plaats en diepte houdt.

Getij- en golfgedreven transporten vormen de basis voor de morfologische ontwikkelingen. Toch is er een duidelijk verschil tussen de twee zuidelijke, open, zeegaten en de twee noordelijke, afgesloten, zeegaten. In alle zeegaten spelen getij- en golfgedreven transporten een grote rol. In de Oosterschelde- en Westerscheldemonding bestaat het getij echter uit de interactie van het kustlangs getij op de Noordzee en het kustdwars getij in en uit het estuarium (dit noemen we in het vervolg estuarium-gedreven getij). Op de buitendeltas van het Haringvliet en Grevelingen is alleen nog het kustlangse getij aanwezig. Dit kustlangs getij kan lokaal wel rondstroming veroorzaken maar deze rondstroming is significant kleiner dan het estuarium-gedreven getij dat voor afsluiting van de zeearmen aanwezig was. Door de gereduceerde getij-involed overheersen hier de golfgedreven transporten. De invloed van dichtheids-gedreven sediment transporten is beperkt. Alleen in de monding van het Haringvliet zijn er (periodiek) duidelijke dichtheidsgradiënten in zoutgehalte te onderscheiden. Door de spuisluizen in de Haringvlietdam wordt zoet water vanuit de Nieuwe Waterweg en door het Haringvliet gespuid. Vooral bij hoge rivierafvoer kan dit tijdelijk (lokaal) een groot dichtheidsverschil veroorzaken.

De bodem van de Voordelta en de Westerscheldemonding bestaat voornamelijk uit zand. Lokaal zijn er wel slibafzettingen aanwezig waar de stroomsnelheden en golven laag zijn.

Ook zijn er afwijkende bodemsamenstellingen in de Westerscheldemonding, waar geulen oude geologische formaties aansnijden.



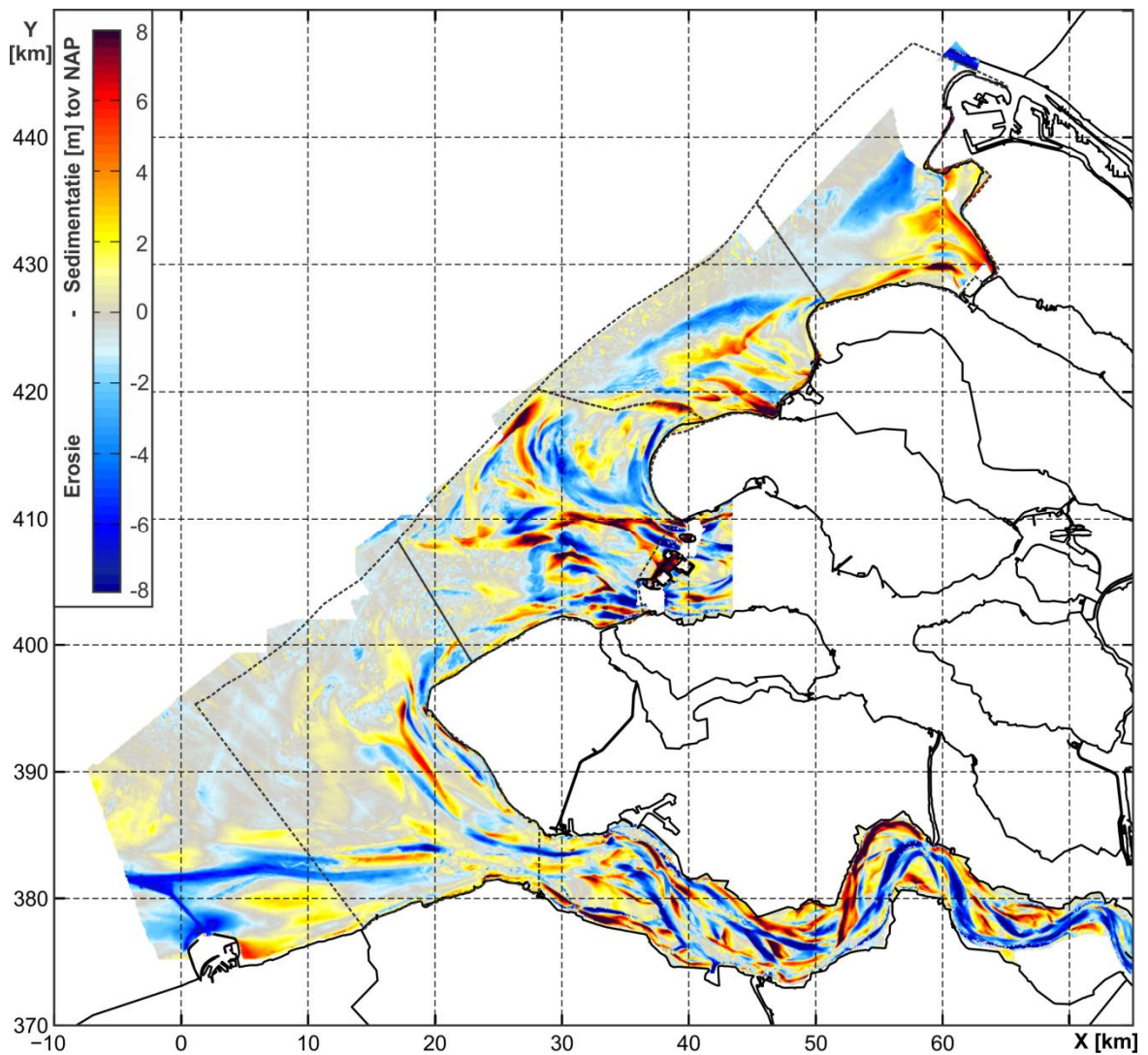
Figuur 2.1 Overzicht van de estuaria die de Voordelta vormen. De onderliggende bodem is gebaseerd op de 2010-2011 metingen.

## 2.1 Grootschalige morfologische veranderingen

Figuur 2.2 geeft een beeld van de grootschalige morfologische ontwikkeling van de Voordelta over de periode 1965-2011. Gedurende deze periode vinden er grote morfologische veranderingen plaats. Dit komt vooral door de uitvoering van de Deltawerken, waardoor de hydrodynamica en de geassocieerde sedimenttransporten ingrijpend veranderd zijn. Hierdoor vinden grootschalige morfologische veranderingen plaats op de buitendelta's van de Oosterschelde (zie Hoofdstuk 4), Grevelingen (Hoofdstuk 5) en Haringvliet (zie Hoofdstuk 6). Er is wel een duidelijk verschil in gedrag tussen de buitendelta van de Oosterschelde en de buitendelta's van de Grevelingen en het Haringvliet. In de Oosterscheldemonding zien we een heroriëntatie van de geulen en banken door de veranderde getijstrooming na voltooiing van de Oosterscheldedekering. Hier domineren afwisselende patronen van sedimentatie en erosie. Zowel bij de Grevelingen en Haringvliet zien we dat de buitendelta in zijn geheel landwaarts migreert. Er vindt een grote erosie plaats aan de zeezijde en het sediment wordt landwaarts afgezet. De grootste afzettingen vinden plaats in de voormalige geulen die (gedeeltelijk) zijn opgevuld. Deze veranderingen zijn eigenlijk wel te verwachten: Buitendelta's worden gevormd door de balans van zeewaarts transport door de getijstrooming en landwaarts transport door golven. Het is aannemelijk dat voor uitvoering van de Deltawerken er een dynamisch evenwicht aanwezig was. Met het totaal wegvallen van de getijstrooming vanuit het Haringvliet en de Grevelingen kunnen de buitendelta's niet op een gelijke positie gehandhaafd worden. De nu dominante golfgedreven stroming zorgt ervoor dat het sediment netto landwaarts verplaatst: Uit de buitendelta komt veel sediment vrij dat de geulen langzaam opvult, maar ook afgezet wordt langs de aanliggende kuststroken. In de volgende hoofdstukken worden deze ontwikkelingen per zeegat nauwkeurig weergegeven.

Relatief kleine veranderingen doen zich voor op de Westerscheldemonding (zie Hoofdstuk 2). De vlakte van Raan (zie Figuur 3.1 voor het overzicht van de platen en geulen in de Westerscheldemonding) is eigenlijk gedurende de gehele periode vrij stabiel. In het zuiden is door intensief baggeren de Wielingen en de toegang tot de haven van Zeebrugge sterk in diepte toegenomen. Het gebaggerde sediment is op stortlocaties aan de noord- en zuidzijde geplaatst en veroorzaakt hier sedimentatie. De afwisselende patronen van sedimentatie en erosie langs de zuidwestkust van Walcheren worden vooral veroorzaakt door plaat-geul migraties. Het Westerschelde estuarium vertoont gecompliceerde, afwisselende patronen van sedimentatie en erosie. Ook hier speelt baggeren en storten een belangrijke rol. Gedurende de periode 1955 is er meer dan 400 miljoen m<sup>3</sup> gebaggerd en bijna net zoveel terug gestort (Haecon 2006). Daarnaast heeft er 114 miljoen m<sup>3</sup> aan zandwinning plaatsgevonden.





*Figuur 2.2* Overzicht van de bodemverandering over de periode 1965-2010 en ligging van de deelpolygonen tbv de volumebepaling.

In Appendix B staat een volledige uitwerking van de sedimentbalans van de verschillende deelgebieden. De sedimentbalans wordt gegeven per mondingsgebied en is verder in detail uitgewerkt per Zeeuwse kaartblad. Voor de deelpolygonen zoals weergegeven in Figuur 2.2 zijn de totale volumeveranderingen weergegeven in Figuur 2.3, en Tabel 2.1. Analyse van de data laat zien dat er tussen verschillende jaren onrealistische bodemveranderingen plaatsvinden. Dit probleem speelt met name bij de Westerscheldemonding. Op de data is een correctie uitgevoerd door kaartbladen met foute data niet mee te nemen in de analyse. In Appendix B-2 worden hiervan de details gegeven. De uitgevoerde correcties zijn nog onderdeel van lopend onderzoek. De sedimentbalans is aan de kust uitgevoerd tot de 0m. Het strand en de duinen landwaarts van de 0m contour zijn niet meegenomen in de analyse. Deze aanname is gedaan omdat de resolutie van de vaklodingen niet toereikend is om de duinen in detail weer te geven. Een kleine interpolatiefout kan al een grote volumeverandering van de duinen geven. In een verdere uitwerking van de sedimentbalans zullen de volumeverandering van het strand en de duinen op basis van Jarkus en Lidar worden uitgewerkt.

In totaal neemt het volume van de buitendelta over de periode 1964-2010 met 34 miljoen m<sup>3</sup> aan sediment toe (Figuur 2.3). Dit is wel inclusief de uitgevoerde zandsuppleties met een totaal volume van bijna 74 miljoen m<sup>3</sup> (zie Figuur 2.3, onder, voor de ontwikkeling gecorrigeerd voor suppleties). In totaal is er bijna 100 miljoen m<sup>3</sup> gesuppleerd in de Voordelta. Echter 25 miljoen m<sup>3</sup> van deze suppleties zijn uitgevoerd met lokaal zand (zand gewonnen binnen het mondingsgebied). Dit betekent dat suppleties ongeveer 74 miljoen m<sup>3</sup> aan zand extra hebben toegevoegd.

Kijken we in meer detail naar de tijdseries van volumeontwikkeling dan zien we initieel een sterke toename van de volumes met een piek rond 1980. Alle mondingsgebieden nemen initieel in volume toe. De grootste toename (+74 miljoen m<sup>3</sup>) vindt plaats in de Oosterschelde. Van den Berg (1984) en Eelkema (2013) geven aan dat de toename in volumes tussen 1965 en 1985 wordt veroorzaakt door een toename van de sedimentexport ten gevolge van de afsluitingen van het bekken (Volkerakdam) en van de Grevelingen. Het staat nog niet vast of dit inderdaad de oorzaak is. Het is opmerkelijk dat alle mondingsgebieden een toename vertonen. Het is mogelijk dat ook veranderingen in meettechnieken hebben bijgedragen. Een nadere detailanalyse van de meetdata kan hier meer inzicht in verschaffen. Bekijken we de data over de periode 1980-2010 dan zien we een afname van de volumes van 119 miljoen m<sup>3</sup> (-5.9 miljoen m<sup>3</sup>/jaar). Het merendeel van deze erosie (65%) wordt veroorzaakt door de Oosterscheldemonding. Hier vindt een vrijwel lineair verlies plaats van 3 tot 4 miljoen m<sup>3</sup>/jaar (Figuur 2.4). De volumeveranderingen van de monding van de Grevelingen, Haringvliet en Westerschelde zijn significant kleiner. In zowel Grevelingen als Haringvliet zijn de verliezen met -3 en -34 miljoen m<sup>3</sup> beperkt. Deze getallen zijn echter niet geheel representatief. Langs de kust is de sedimentbalans uitgevoerd tot de 0 m lijn. De eventuele volumetoename boven de 0 m lijn (strand en duinen) is dus niet meegenomen. Vooral bij de Haringvliet is daar juist een significante volumetoename plaatsgevonden. Analyse van de afzonderlijke deelgebieden (Appendix B4 en B5) laat zien dat de nettoverandering klein is, maar er vindt wel een interne herverdeling van sediment plaats, waarbij sediment landwaarts wordt verplaatst. Dit is verder uitgewerkt in Hoofdstuk 5 en 6.

Een sluitende sedimentbalans voor de Westerscheldemonding is eigenlijk niet op te stellen. Ten eerste is er aan de zuidzijde geen duidelijke begrenzing. Ten tweede zijn er twijfels over de nauwkeurigheid van de meetdata. De sedimentatie-erosie patronen geven onrealistische veranderingen. In Appendix B-2 is dit uitgewerkt. De volumeveranderingen gepresenteerd in dit hoofdstuk zijn gebaseerd op de uitvoerige correcties (Appendix B-2, correctie 2). Het balans gebied binnen de Westerschelde polygoon, het Nederlandse gedeelte van de

monding, geeft een kleine toename (26 miljoen m<sup>3</sup> over de periode 1965-2010). Deze toename is gelijk aan het toegevoegde volume door zandsuppleties (Tabel 2.2). Het volumeverloop fluctueert door de tijd. Tot 1980 was er juist een toename van het volume (50 miljoen m<sup>3</sup>). Over de periode 1980-2010 nemen de volumes juist met 23 miljoen m<sup>3</sup> af. Sinds 1990 varieert de 5-jaarlijkse trend tussen de -0.5 en -2.2 miljoen m<sup>3</sup> /jaar (Figuur 2.4). Deze grote waarde van -2.2 miljoen m<sup>3</sup> /jaar vindt juist over de laatste 5 jaar plaats.

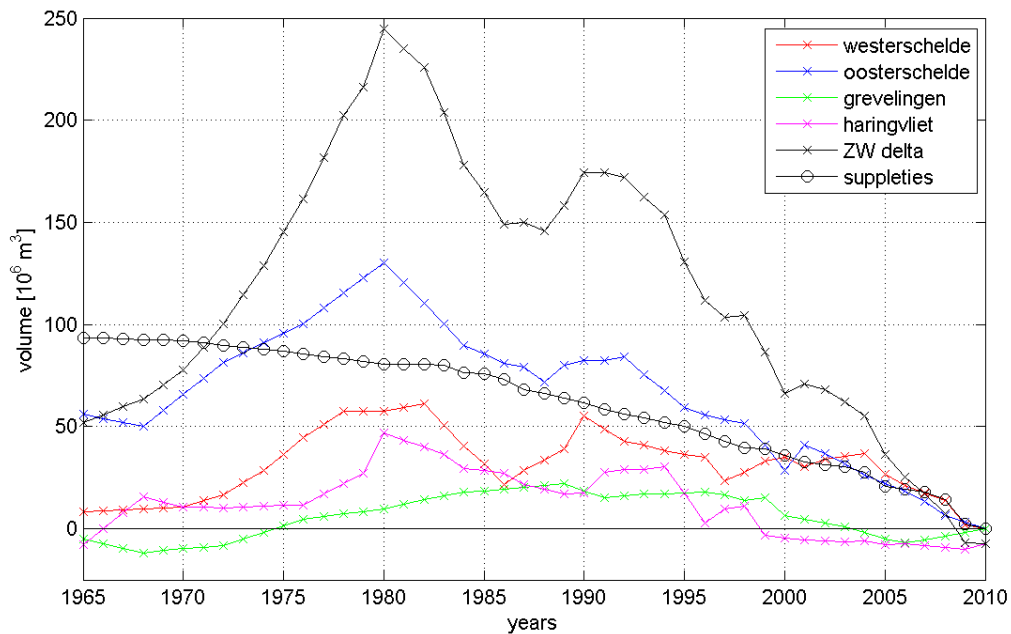
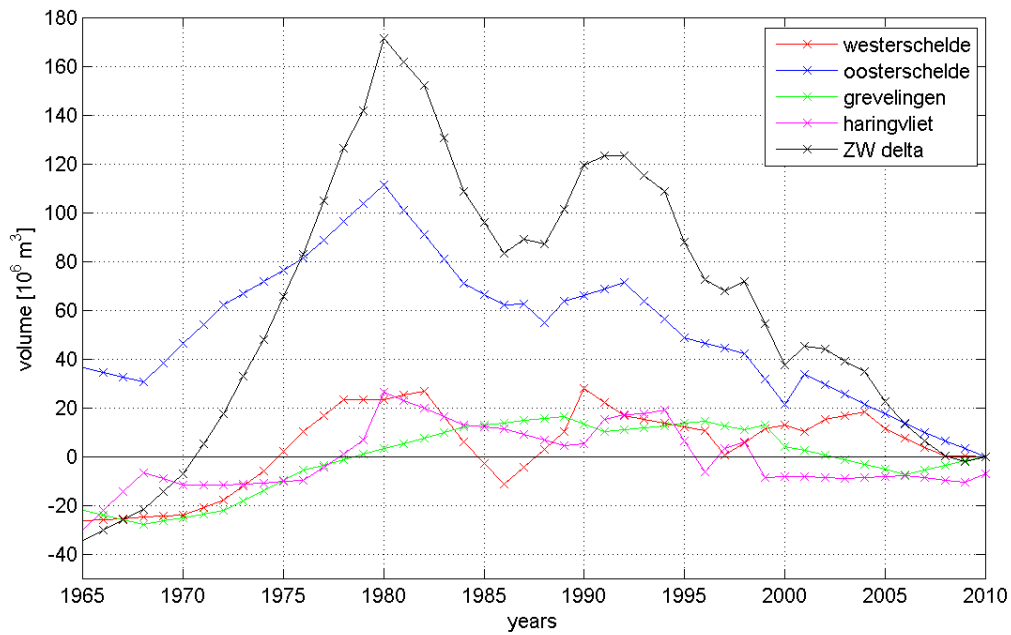
Kijken naar de totale volumeverandering van de gehele Voordelta dan is de sedimentbalans positief met een toename van 24 miljoen m<sup>3</sup>. Alleen in de Oosterschelde is er een netto verlies. Opmerkelijk is echter wel het volumeverloop in de tijd. In de periode 1965-1980 vindt in alle mondingsgebieden een toename van het sedimentvolume plaats. Het is mogelijk dat voor de sluiting van de estuaria er een sediment aanvoer naar de buitendelta's plaatsvond. In de periode 1980-2010 erodeert deze piek weer. Over de gehele periode is de balans positief, maar over de periode 1980-2010 is de balans duidelijk negatief met een volumeafname van 171 miljoen m<sup>3</sup>; bijna 6 miljoen m<sup>3</sup> /jaar.

Tabel 2.1 Volumeverandering per deelpolygoon (zonder correctie voor suppleties)

	Volumeveranderingen in miljoen m <sup>3</sup> en miljoen m <sup>3</sup> /j							
	1965-2010		1965-1980		1980-2010		1990-2010	
	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /jr	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /jr	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /jr	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /jr
(1) Westerschelde	+26	+0.6	+50	+3.3	-23	-0.8	-27	-1.4
(2) Oosterschelde	-36	-0.8	+74	+5.0	-111	-3.7	-66	-3.3
(3) Grevelingen	+22	+0.5	+25	+1.7	-3	-0.1	-13	-0.7
(4) Haringvliet	+23	+0.5	+57	+3.8	-33	-1.1	-12	-0.6
Totaal	+34	+0.8	+205	+13.7	-171	-5.7	-119	-5.9

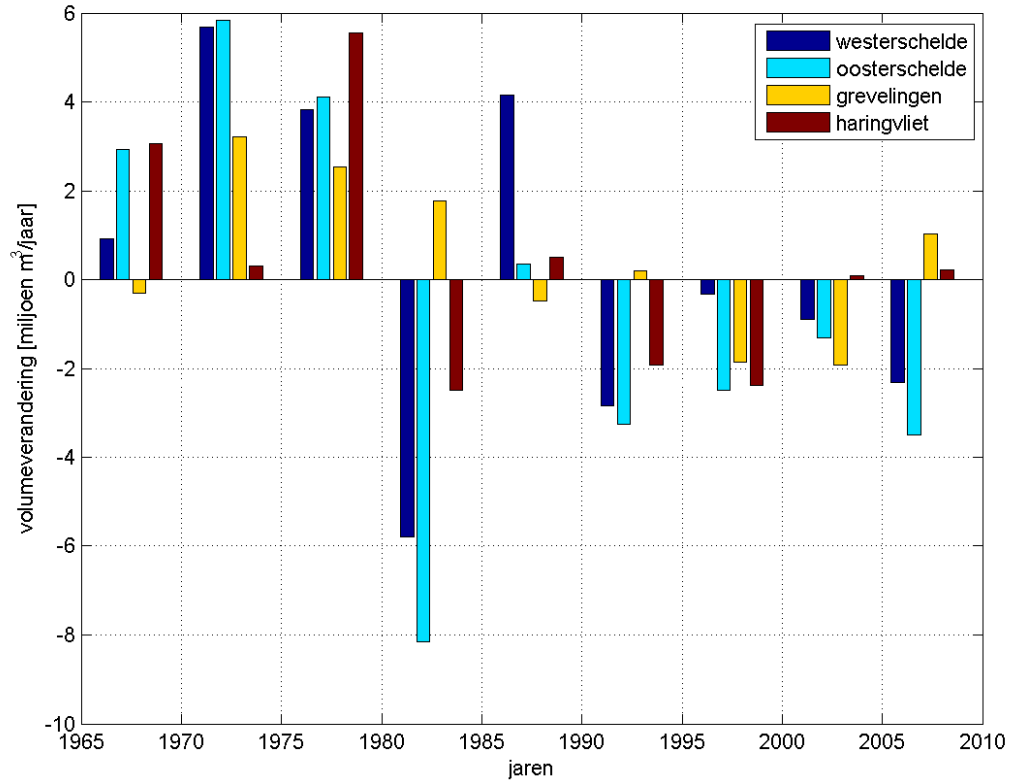
Tabel 2.2 Overzicht suppletievolumes per deelpolygoon

	Suppletie Volumes (+= toegevoegd, o= intern verplaatst)							
	1965-2010		1965-1980		1981-2010		1991-2010	
	+	0	+	0	+	0	+	0
(1) Westerschelde	24.8	10.9	0.2	0.9	24.6	10.0	24.6	3.1
(2) Oosterschelde	10.5	9.2	0.3	0	10.2	9.2	10.2	6.3
(3) Grevelingen	10.4	0.0	5.9	0	4.5	0	3.3	0
(4) Haringvliet	23.8	5.3	1.8	4.6	22.0	0.7	14.2	0.7
Totaal	69.5	25.4	8.2	5.5	61.3	27.1	52.3	10.1



Figuur 2.3 Volumeontwikkeling van de Voordelta en de verschillende deelgebieden; niet gecorrigeerd voor suppleties (boven) en gecorrigeerd voor suppleties (onder).





Figuur 2.4: Volumeverandering gemiddeld over 5 jaarlijkse intervallen voor de verschillende deelpolygoenen.

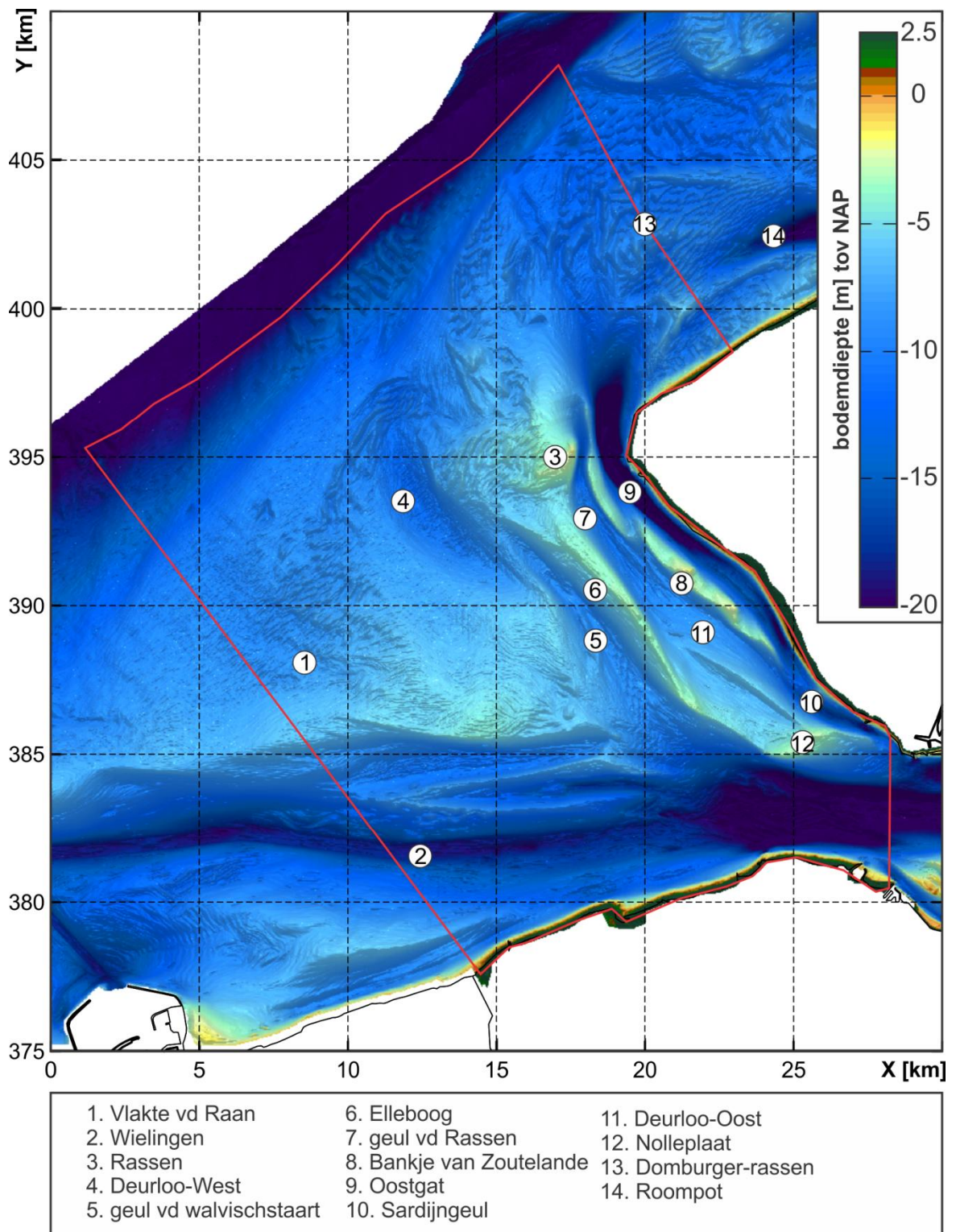
## 3 Westerschelde

### 3.1 Huidige ligging van geulen en platen

De kop van Walcheren ligt ingeklemd tussen de estuaria van de Oosterschelde en Westerschelde. De grote, voorliggende ondiepte wordt de Vlake van de Raan genoemd en heeft een hoogte tussen de -2 en -10m (Figuur 3.1 [1]). De landwaartse begrenzing van de Westerschelde monding of buitendelta wordt vaak gekozen langs de lijn Vlissingen-Breskens. Ten oosten van deze lijn wordt het morfologische gedrag sterk verstoord door het op diepte houden (en verdiepen) van de geulen in de Westerschelde ten behoeve van de scheepvaart naar de haven van Antwerpen. Een uitgebreide beschouwing van de morfologische veranderingen van de Westerschelde wordt gegeven in Cleveringa (2013) en Taal et al. (2013).

De vlakte van de Raan [1] kan gezien worden als het dominante platengebied behorende bij de buitendelta van het Westerschelde estuarium. Aan de zuidzijde ligt een brede en diepe oost-west lopende geul de Wielingen [2]. Dit is de belangrijkste toegangsheu voor de scheepvaart naar de Westerschelde en haven van Antwerpen. Sinds de jaren 60 wordt de Wielingen door baggerwerkzaamheden op een diepte van circa -20 m gehouden. Aan de noordzijde wordt de vlakte van de Raan begrensd door een complex geulen- en platenstelsel. Direct grenzend aan de zuwestkust van Walcheren vinden we het Oostgat [9] en de Sardijngeul [10]. Het Bankje van Zoutelande scheidt het Oostgat van Deurlo -Oost [11] en Geul van de Rassen [7]. In de 2010/2011 bodem ligt een smal en langwerpige platencomplex Elleboog [6] met een hoogte tussen de -2 en -3 m, die de Rassen [3] en de Nolleplaat [12] verbindt. Deze plaat heeft de geul Deurloo in een oostelijk [11] en westelijk [4] gedeelte verdeeld. Contractie van de stroming rond de harde zeeuering van Westkapelle heeft het Oostgat hier lokaal sterk verdiept [9] tot een diepte van -35 m. Ten noorden van Westkapelle bevindt zich een ondiepe vlakte (Domburger-rassen [13]). Deze vlakte vormt de natuurlijke scheiding tussen de mondingsgebieden van de Oosterschelde en Westerschelde. De geul Roompot [14] is een onderdeel van het Oosterschelde estuarium.

Bij de bepaling van de volumeveranderingen is een correctie voor de baggerwerkzaamheden in de Westerscheldemonding (en met name de Wielingen) eigenlijk niet nodig. Vrijwel al het gebaggerde materiaal wordt binnen het balansgebied teruggestort (Haecon, 2006).



Figuur 3.1 Overzicht geulen en platen in de Westerscheldemonding. De onderliggende bodem is gebaseerd op de 2010-2011 metingen.

### 3.2 Morfologische processen en veranderingen

De morfodynamiek van de geulen en platen in de Westerscheldemonding wordt vooral gedreven door de interactie tussen het kustlangse (noord-zuid) getij in de Noordzee en het kustdwarse (west-oost) getij in het Westerschelde estuarium.

*Kustlangs:* Het getij plant zich vanuit het zuiden in noordelijke richting voort langs de Zeeuwse en Hollandse kust. Hierbij neemt de getijamplitude in noordelijke richting geleidelijk af. Het inkomende getij stroomt voornamelijk via de Wielingen het estuarium binnen, het getijvolume van het Oostgat is aanzienlijk kleiner.

*Kustdwars:* In het Westerschelde estuarium neemt de getijamplitude toe, het gemiddelde verschil in Vlissingen is 3.86 m. De waterbeweging in het Oostgat wordt vooral bepaald doordat de getijamplitude bij Vlissingen groter is dan bij Westkapelle. Tijdens hoogwater treedt een verhang richting Westkapelle op (waterstand in Vlissingen hoger dan in Westkapelle) en tijdens laagwater een verhang richting Vlissingen (waterstand in Westkapelle hoger dan in Vlissingen). Ter hoogte van Vlissingen wordt de getijbeweging beïnvloed door het complexe samenspel van de getijvoortplanting door het Oostgat en de Wielingengeul.

Steijn en Van der Spek (2005) geven een uitgebreide analyse van de waterbeweging ter plaatse van Walcheren. De waterbeweging is als volgt samen te vatten: In het noordelijke gedeelte van het Oostgat (bij Westkapelle) domineert de eb-stroming, terwijl het zuidelijke gedeelte (nabij Zoutelande) door de vloed gedomineerd wordt. Deze tegenstelling komt door de relatief grote vloeddominante stroming over het Bankje van Zoutelande. De geulen Deurloo en Geul van de Rassen zijn overwegend eb-dominant. Gezien het feit dat de buitendelta van de Westerscheldemonding relatief diep ligt, is onder gemiddelde condities het belang van golven beperkt tot vooral opwoeling. Tijdens stormen kunnen de golven wel breken op de buitendelta. Voor meer details over de waterbeweging wordt verwezen naar Steijn en Van der Spek (2005).

Ongeveer een eeuw geleden heeft een omslag van een systeem met drie hoofdgeulen naar een systeem met twee hoofdgeulen plaats gevonden (Van der Slikke, 1997). De huidige ligging van de geulen en platen, met de grootste geul (Wielingen) in het zuiden en een uitgebreid stelsel van geulen en platen langs de kust van Walcheren, bestaat op hoofdlijnen al sinds deze omslag. Ondanks de gedeeltelijke afsluiting van de Oosterschelde (voltooid in 1986) en de veranderingen in het Westerschelde estuarium, zijn de morfologische kenmerken van dit twee hoofdgeulensysteem over de laatste 45 jaar behouden gebleven (Figuur 3.1, Figuur 3.2). Zie Van der Slikke (1997), Van Enckevoort (1996), Cleveringa (2006) en Cleveringa (2008) voor een uitgebreide beschrijving.

Menselijk ingrijpen heeft een grote invloed gehad op de morfologie van de monding. Vooral in de afgelopen eeuw hebben vele ingrepen plaatsgevonden om de scheepvaart naar Zeebrugge en door de Westerschelde naar Antwerpen te bevorderen. Baggeren in de geul en storten op aangewezen stortlocaties beïnvloedt niet alleen lokaal de morfologie. De verdiepte geulen beïnvloeden ook de grootschalige voortplanting van het getij en de door getijassymetry bepaalde residuele sedimentimport of export. In Figuur 3.2 is duidelijk te zien dat de Wielingen sterk verdiept is door dit baggeren. Aan weerszijden van de geul is lokaal de hoogte toegenomen op de stortlocaties. Voor de kust van zuidwest Walcheren is vooral de interactie van de geulen Oostgat en Sardijngeul met de kustbeschermingsconstructies van belang. Harde verdedigingswerken beschermen zowel de noord- als zuidzijde bij Westkapelle en Vlissingen. Deze harde constructies vormen 'ophangpunten' waaromheen contractie van

stroming de geulen lokaal zeer diep heeft uitgeschuurd. In de periode 1964-2011 bedroeg de verdieping enkele meters per jaar (zie Figuur 3.4). Tussen deze 'ophangpunten' wordt de kust grotendeels beschermd en in stand gehouden door strandhoofden c.q. palenrijen. Verhagen en van Rossum (1989) geven een overzicht van de aanleg van de strandhoofden bij Walcheren. Met de aanleg van strandhoofden is begonnen in 1856. Tussen 1861-1866 is deze verdediging zuidwaarts, richting de Westkapelse Zeedijk, uitgebreid. Aan de noordkant is tussen 1876 en 1891 2 km kust uitgebouwd, aangevuld met 1,5 km in 1955. Met de bouw van 1,5 km aan paalrijen in 1965 is vrijwel de gehele Noordwest kust van Walcheren beschermd door harde constructies. Ten noorden van Vlissingen is al in 1856 begonnen met het bouwen van strandhoofden over een lengte van 3 km. Deze zijn in de volgende jaren zowel noord- als zuidwaarts verder uitgebreid.

De sedimentatie-erosiepatronen in Figuur 3.3 geven de morfologische veranderingen over de laatste 47 jaar weer. De periode 1964-2011 is gekozen, omdat deze periode een redelijk representatief beeld vertoont (zie ook Appendix A). In totaal verliest de Westerscheldemonding over deze periode zand. De 'ruwe' bodemverandering (ongecorrigeerd voor bagger, storten en suppleties) vertoont een verlies van  $-55$  miljoen  $m^3$  binnen het getoonde balansgebied. Dit verlies is groter ( $-84$  miljoen  $m^3$ ) als we de sedimentatie rond de Oosterschelde monding (polygonen 44-46) niet meenemen. Het bepalen van de sedimentbalans van de Westerschelde is overigens niet triviaal. Er is geen duidelijke noordelijke en zuidelijke begrenzing, waardoor de grootte van de volumeverandering sterk afhankelijk is van het gekozen balansgebied. In Figuur 3.4 is voor een iets groter balansgebied de totale erosie berekend op  $-211$  miljoen  $m^3$  over de periode 1970-2011. Het merendeel van deze erosie vindt plaats rond de Wielingen. Het balansgebied weergegeven in Figuur 3.3 is groter dan het balansgebied zoals gebruikt in Hoofdstuk 2. Hierdoor zijn de getallen niet direct met elkaar vergelijkbaar.

De dominante veranderingen tussen 1964 en 2011 treden vooral op in en rond de geulen. In het zuiden zien we een verdieping van de Wielingen voornamelijk door baggeren (bijna 30 miljoen  $m^3$ ). In de geselecteerde erosie polygonen van de Wielingen (Figuur 3.3 [1,3,4,11]) vindt er een afname in volume van  $-116$  miljoen  $m^3$  plaats. Een gedeelte van dit gebaggerde sediment wordt zowel ten noorden als ten zuiden van de Wielingen gestort (Figuur 3.3 [2,10,13]). Dit storten is een belangrijke reden voor de aanzanding van 86 miljoen  $m^3$  in de sedimentatie polygonen in dit gebied (Figuur 3.3 [2,10,12,13]). Richting de Westerschelde (ten Oosten van de Wielingen) vindt er vooral aanzanding plaats. In totaal vindt hier in de polygonen van de Westerschelde Monding (Zeeuws Vlaanderen) 31 miljoen  $m^3$  aan netto sedimentatie plaats. Netto sedimentatie in de Westerschelde monding is in overeenstemming met de recente inzichten in de sedimentbalans van de Westerschelde (Taal et al. 2013). In deze studie wordt geconcludeerd dat het Schelde estuarium al geruime tijd zand exporteert en slib importeert.

Langs de zuidwestkust van Walcheren zijn in de recente bodem van 2010 (Figuur 3.2), drie parallelle geulen (Oostgat, Geul van de Rassen-Deurloo-Oost en Deurloo-West Walvisstaart), gescheiden door twee banken. Het bankje van Zoutelande, de Rassen-Elleboog en Nolleplaat waren in 1964 nog losse platen, maar zijn in de huidige bodem met elkaar verbonden. Hierdoor is een langgerekt platengebied gevormd dat zich vrijwel langs de gehele zuidwestkust van Walcheren uitstrekt. Tussen deze plaat en de kust van Walcheren ligt het Oostgat eigenlijk vrij stabiel in positie. Het Oostgat lijkt wel over vrijwel de gehele lengte dieper te worden. Langs de zuidwestkust van Walcheren geeft de geulverdieping een erosie van  $-43$  miljoen  $m^3$  (Figuur 3.3 [30,35]). De stabiliteit van het Oostgat is mede gerelateerd aan de aanwezige resistente lagen en het aanbrengen van bestortingen (Van der Spek, 1997,

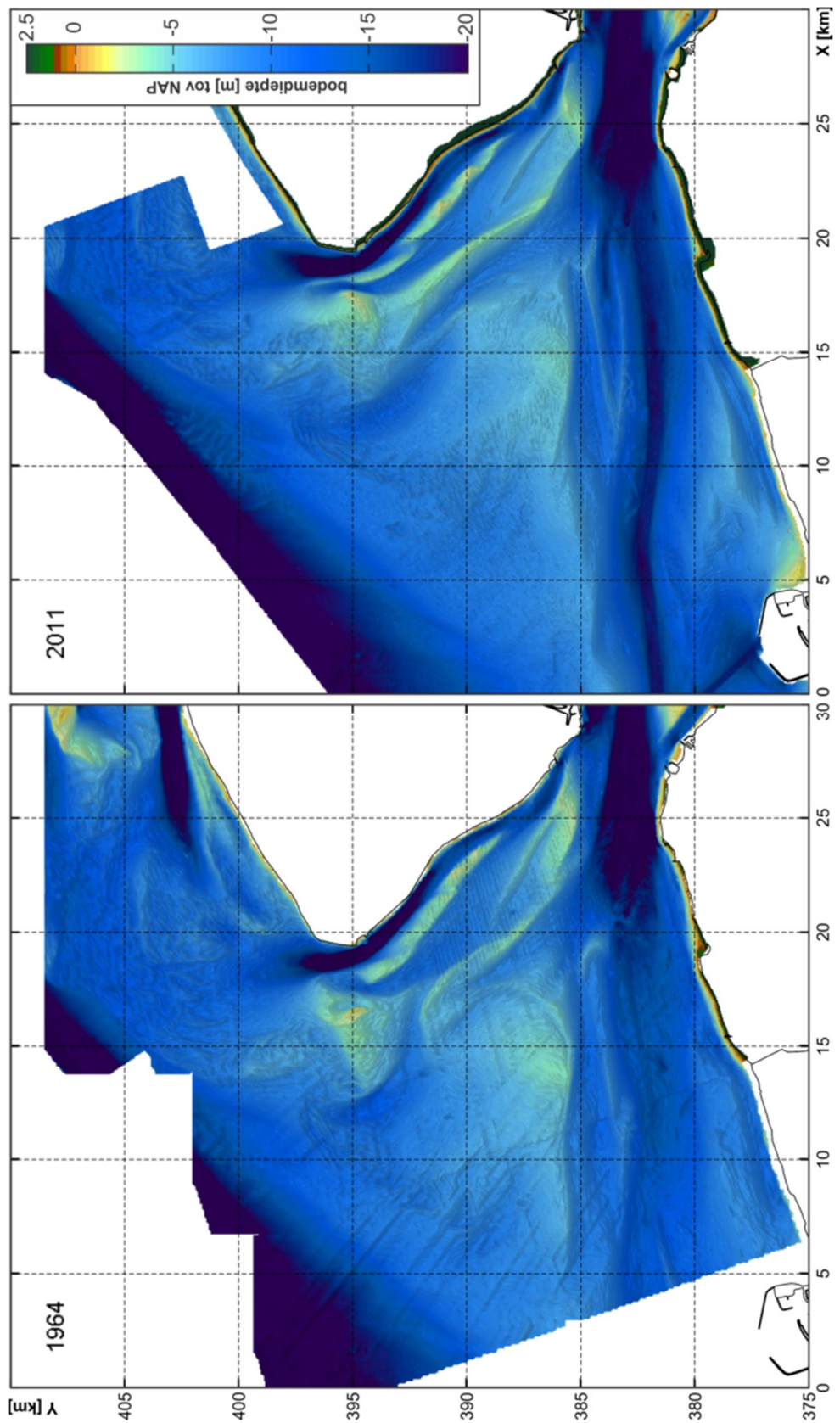
Steijn en van der Spek, 2005). Een grote erosie (-32 miljoen m<sup>3</sup>) vindt plaats bij Westkapelle waar het Oostgat noordwaarts uitbreidt (Figuur 3.3 [35]). Zeewaarts hiervan vindt er sedimentatie plaats [f] op de Rassen (17 miljoen m<sup>3</sup> [34]).

Het bankje van Zoutelande neemt met meer dan 7 miljoen m<sup>3</sup> in volume toe (Figuur 3.3 [26]). Een grote sedimentatie vindt ook plaats langs de geul van de Walvisstaart [g] waardoor de langwerpige bank Elleboog met 40 miljoen m<sup>3</sup> in volume toeneemt en nu bijna een verbinding tussen de Rassen en Nolleplaat vormt (Figuur 3.3 [25]). De geul van de Walvisstaart is hierbij sterk verdiept (-38 miljoen m<sup>3</sup>) en noordwestelijk uitgebreid (Figuur 3.3 [22]). De vlakte van de Raan vertoont netto een volume afname van -57 miljoen m<sup>3</sup>. Deze afname vindt plaats aan het front van de buitendelta dat langzaam landwaarts opschuift (Figuur 3.3 [33]), maar ook het centrale gedeelte lijkt overwegend iets dieper te worden.

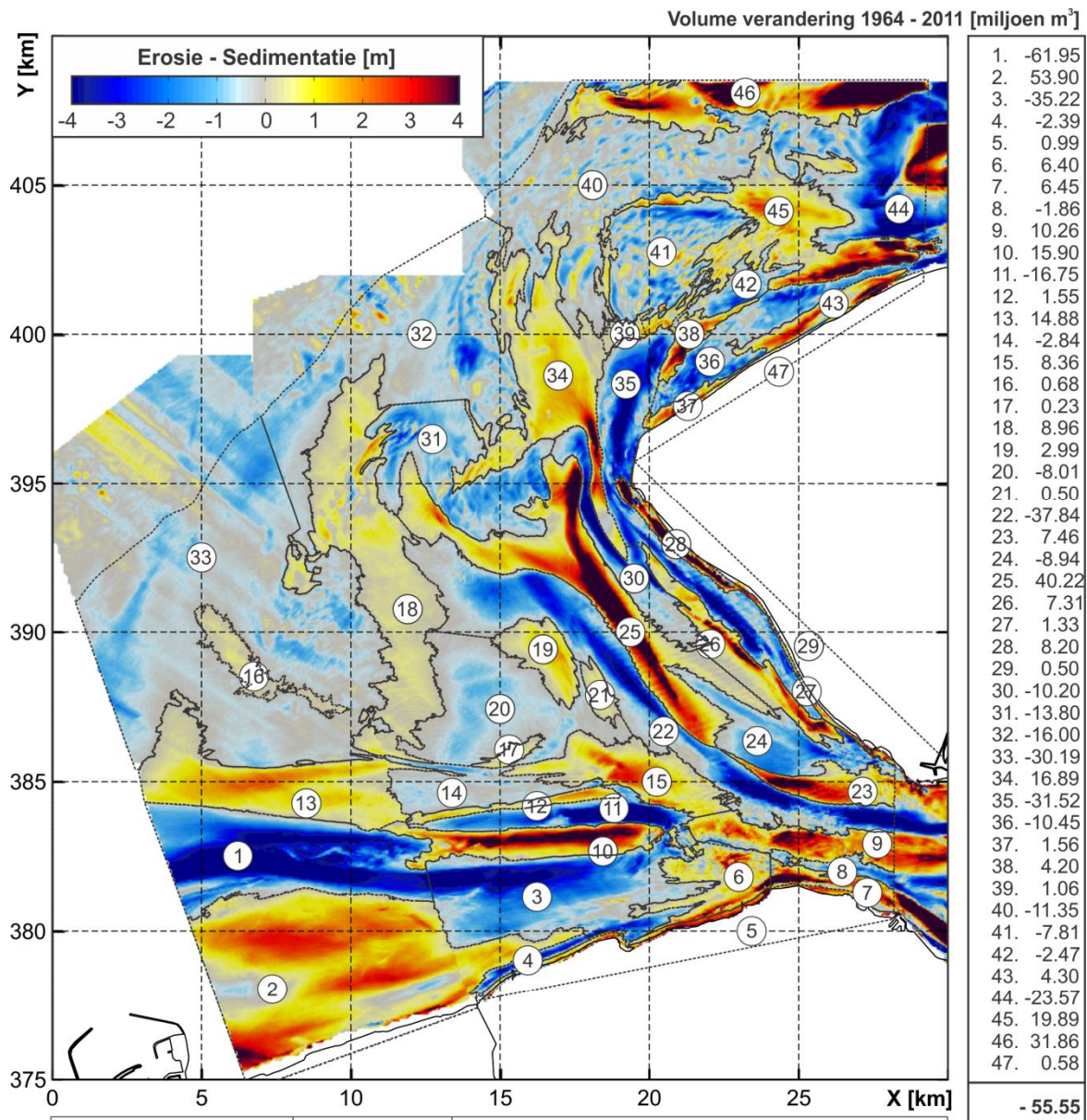
Voor de noordwestkust van Walcheren treden de dominante veranderingen op voor de uistroming van het Oostgat bij Westkappelle en de geulen van de Oosterscheldemonding (28 miljoen m<sup>3</sup> aanzanding). Het centrale gedeelte (aangeduid als Domburger Rassen) verliest sediment (-17 miljoen m<sup>3</sup>).

Er bestaan verschillende hypothesen met betrekking tot de sedimenttransport patronen die deze Sedimentatie-erosie patronen verklaren. Steijn en Van der Spek (2005) vatten de zandtransporten als volgt samen: "Onder invloed van de dominante vloedstroming wordt zand over de Nolleplaat/Elleboog en het Bankje van Zoutelande naar de kust getransporteerd. Dit zand wordt door de kustlangse stroming in het Oostgat noordwaarts en zuidwaarts afgevoerd. In het noorden draagt dit zand onder andere bij tot de vorming van de Rassen. In het zuiden wordt het zand vooral langs de flank van het Bankje van Zoutelande getransporteerd. Gedeeltelijk wordt dit zand weer noordwaarts verplaatst door het Deurloo, langs de zeezijde van het Bankje van Zoutelande. Er ontstaat een soort circulatiecel wat mogelijk een verklaring geeft voor de aanwezigheid en stabiele positie van het Bankje". Dit concept sluit op hoofdlijnen aan bij de geschatte transportrichtingen gebaseerd op de dominante bodemvormen. Golfgedreven transporten lijken vooral van belang op de kust waar golfbreking extra sediment transport veroorzaakt. Conclusies met betrekking tot het belang van deze grotere transporten zijn niet eenduidig. Van der Slikke (1999) heeft aangetoond dat de morfologische veranderingen van de Walcherse kust zelfs tijdens stormen relatief klein zijn. Dit duidt er op dat de kustachteruitgang samenhangt met continue processen (zoals getij) en niet met incidentele stormcondities. Croqué (1998) concludeert juist dat er een duidelijke verandering in het Oostgat optreedt tijdens stormen.





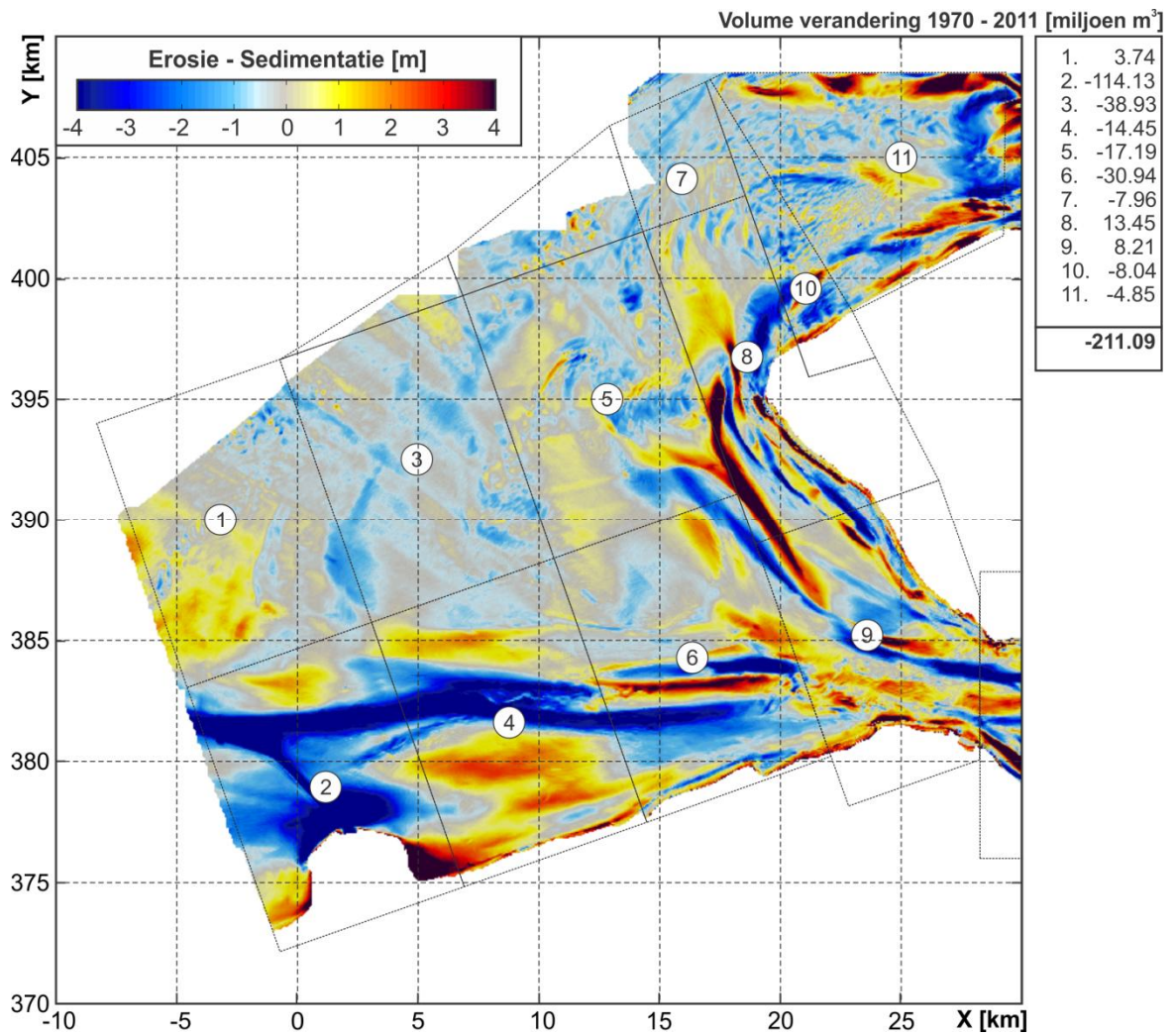
Figuur 3.2 Details van de bodem van de Westerscheldemonding in 1964 en 2011.



Gebied	Geselecteerde Polygonen	Volumeverandering (miljoen m <sup>3</sup> )		
		sedimentatie	erosie	totaal
Wielingen	1,2,3,4,10,11,12,13	86.23	-116.12	-29.89
Vlakte van de Raan	14,16,17,18,19,20,21,31,32,33	13.36	-70.84	-57.48
WS monding (Zeeuws VI)	5,6,7,8,9	32.47	-1.86	+30.61
ZW - Walcheren	22,23,24,25,26,27,28,29,30	65.02	-55.98	+ 8.04
Rassen	34,35,36,37,38,39	23.71	-41.97	-18.26
Domburger Rassen	40,41,42,43,47	4.88	-21.63	-16.75
Oosterschelde Monding	44,45,46	51.75	-23.57	+28.18

Figuur 3.3 Overzicht van de totale volumeverandering in geselecteerde polygonen over de periode 1964- 2011.





Figuur 3.4 Overzicht van de totale volumeverandering in geselecteerde polygonen over de periode 1964- 2011.

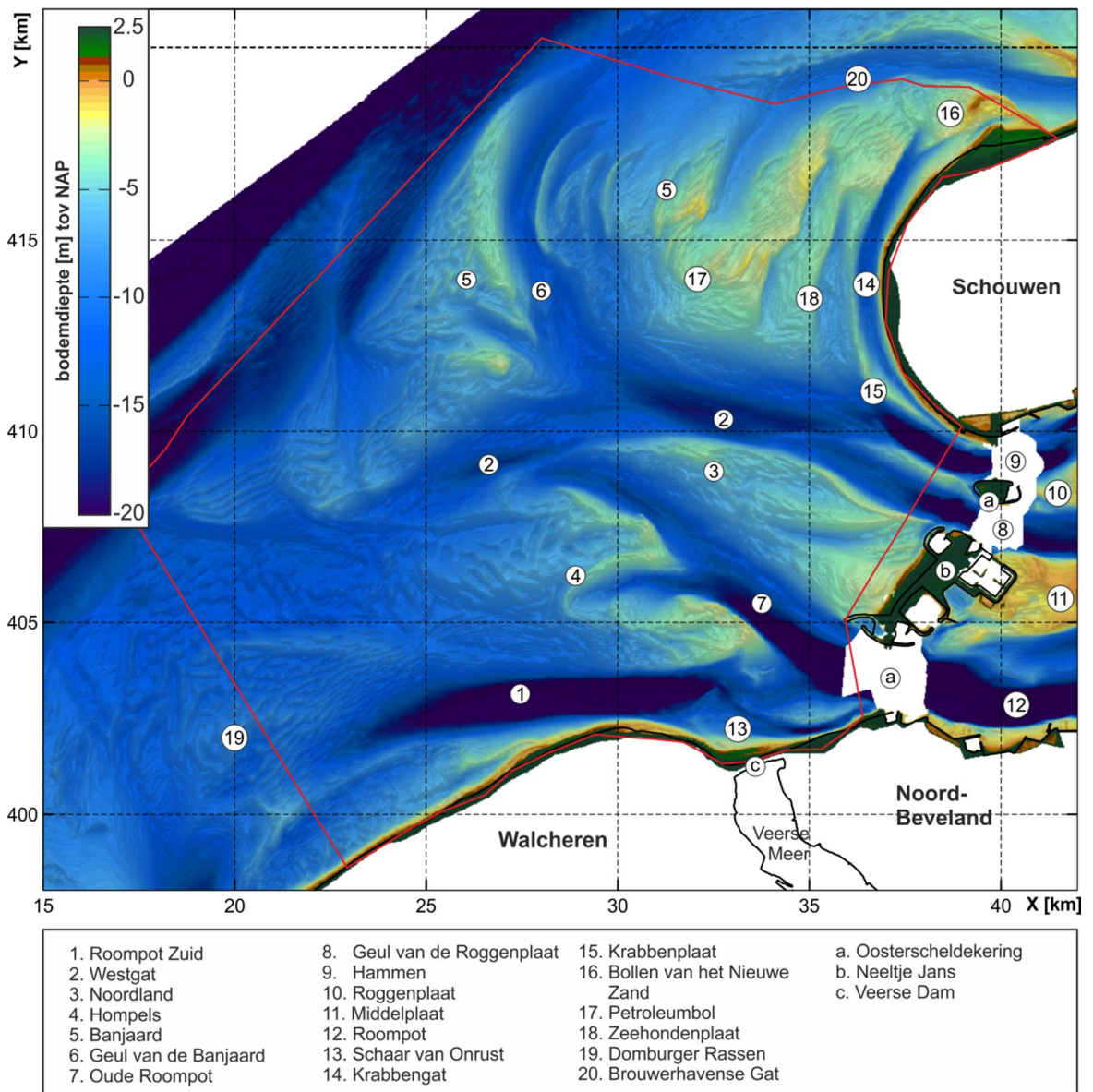
## 4 Oosterschelde

### 4.1 Huidige ligging van geulen en platen

Het zandvolume van de buitendelta van de Oosterschelde concentreert zich voor en ten noorden van de monding (Figuur 4.1). Het zuidelijke gedeelte dat zich richting de Westerscheldemonding uitstrekt is relatief diep. Op de buitendelta bevinden zich meerdere grote geulen met lokale dieptes van meer dan 20 m. De ontgrondingskuilen nabij de Oosterscheldekering hebben een diepte van meer dan 50 m.

an de monding van de Oosterschelde vormt het eiland Neeltje Jans en de aansluitende Middelplaat [11] een duidelijke scheiding tussen de noordelijke en zuidelijke geulen van het Oosterschelde estuarium. Ten noorden van Neeltje Jans liggen de twee geulen Geul van Roggenplaat [8] en Hammen [9]. Deze twee geulen gaan op de buitendelta over in het Westgat [2]. Het zeewaartse deel van het Westgat buigt af naar het zuidwesten. Ten zuiden van Neeltje Jans ligt de Roompot [12]. Zeewaarts van de stormvloedkering splitst de Roompot zich: de geul zet zich voort naar het westnoordwesten en heet dan Oude Roompot [7], de afsplitsing heet Roompot Zuid [1]. Tussen deze vloedgeul en de Roompot ligt een ondiepe drempel. De geul Schaar van Onrust [13] verbindt de Roompot en de Roompot Zuid ten zuiden van deze drempel. De Oude Roompot komt in zeewaartse richting uit in het Westgat. De tussen Westgat en Oude Roompot gelegen ondiepe plaat heet Noordland [3], de Oude Roompot wordt aan zijn zuidwestelijke zijde begrensd door de Hompels [4]. De Roompot Zuid stroomt uit over het platengebied Domburger Rassen wat tevens de uitstroom is van de geul Oostgat vanuit de Westerscheldemonding.

Ten noorden van Neeltje Jans liggen de twee geulen Geul van Roggenplaat [8] en Hammen [9]. Deze twee geulen maken verbinding met de hoofdgeul Westgat [2] op de buitendelta. Zeewaarts splits het Westgat in een noordelijke en zuidelijke uitstroming, gescheiden door de Banjaard [5]. De zuidelijke uitstroming heeft ook de naam Westgat [2]. De noordelijke wordt Geul van de Banjaard [6] genoemd. Het tussen deze geul en Schouwen gelegen deel van de Banjaard bestaat uit een aantal kleinere deelsystemen zoals de Petroleumbol [17] en de Zeehondenplaat [18]. De Petroleumbol [17] heeft een karakteristieke hoefijzervorm wat aangeeft dat deze zandbank gevormd is als ebschild van de uitloper van het Brouwershavense Gat [20]. Langs de Kop van Schouwen heeft zich de vrijwel doorlopende geul Krabbengat gevormd [14]. Het Krabbengat wordt aan zijn zuidzijde gescheiden van het Westgat en de Banjaard door de langgerekte, smalle Krabbenplaat [15]. Aan de Noordkant hebben zich de Bollen van het Nieuwe Zand [16] gevormd als vloedschild en scheiding met het Brouwershavense Gat. De geul Krabbengat erodeert de kustlijn van Schouwen en is in het verleden (1987 en 1991) zeewaarts verlegd.

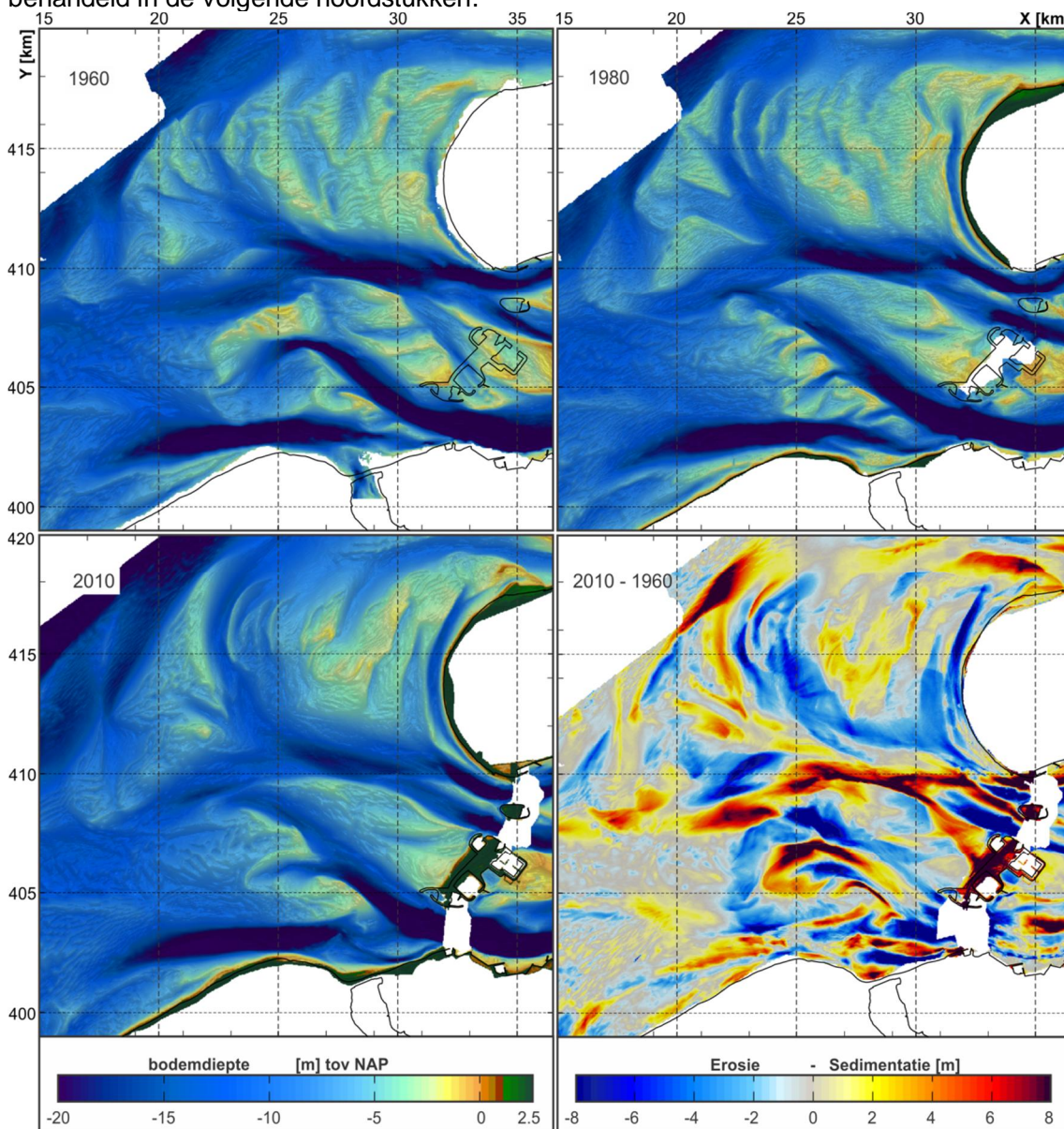


Figuur 4.1 Overzicht geulen en platen in de Oosterscheldemonding. De onderliggende bodem is gebaseerd op de 2010-2011 metingen.



## 4.2 Morfologische veranderingen

Alhoewel het geulen- en platenpatroon in hoofdlijnen gelijk is in de bodems van 1960 en 2010, hebben er relatief grote veranderingen plaatsgevonden op de buitendelta van de Oosterschelde (Figuur 4.2; een overzicht van alle beschikbare bodems over deze periode is te vinden in Appendix A). Deze veranderingen zijn sterk beïnvloed door de gedeeltelijke afsluiting van de Oosterschelde in 1986, maar ook de voorafgaande afsluiting van de Grevelingen (1971) en de aanleg van dammen aan de binnenkant van het estuarium (de Philipsdam in de Krammer en de Oesterdam bij het Zoommeer) hebben invloed gehad. Het totale sedimentatie-erosie plaatje zoals weergegeven in Figuur 4.2 geeft eigenlijk het resultaat van 2 morfologisch gezien verschillende perioden weer. Tussen 1960 en 1980 vond er op de buitendelta netto aanzanding plaats. Sinds 1980 eroderen vooral de plaatgebieden op de buitendelta. Daarom worden voor deze 2 perioden de morfologische ontwikkelingen apart behandeld in de volgende hoofdstukken.



Figuur 4.2 Overzicht van de bodemverandering in de Oosterscheldemonding over de periode 1965-1967 / 2010-2011.

#### 4.2.1 Morfologische veranderingen over de periode 1960-1980

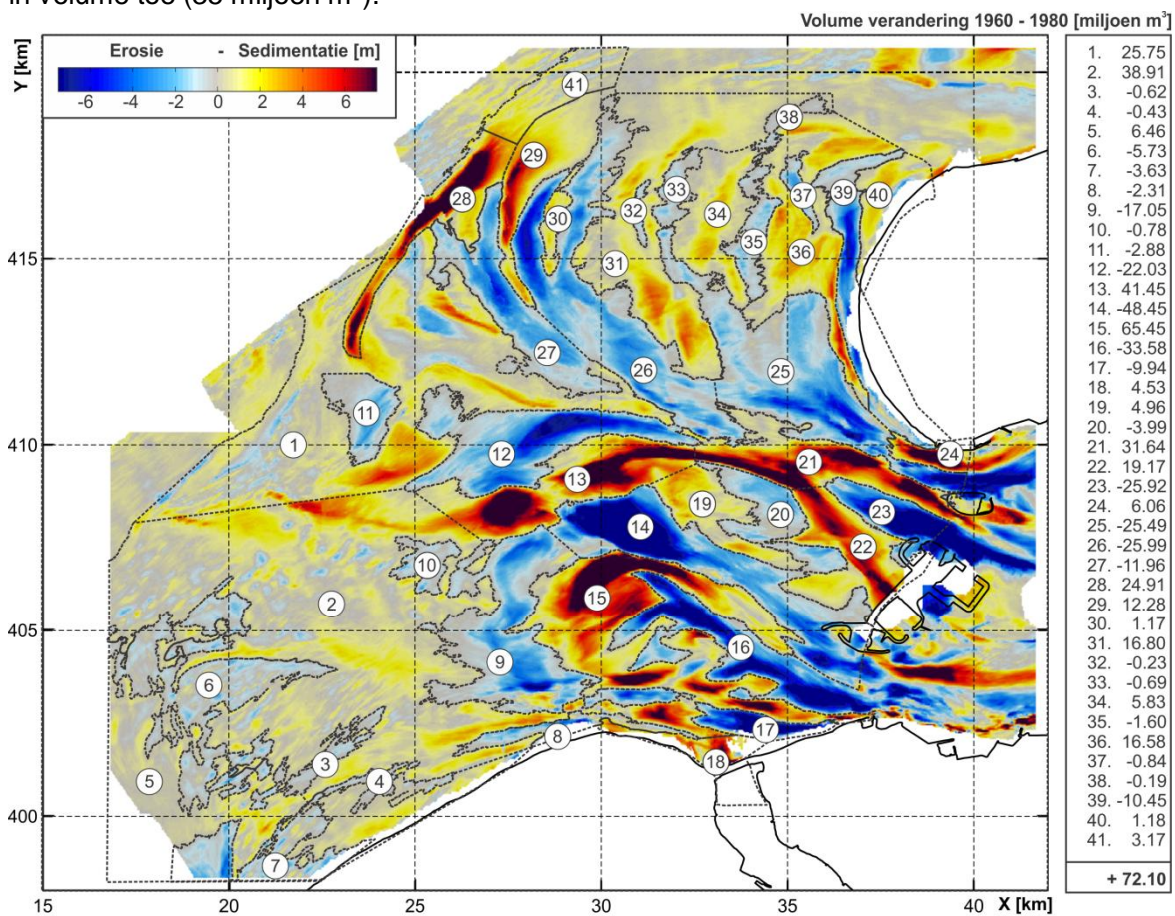
In de periode 1960-1980 zien we dat de monding van de Oosterschelde nog als een actieve buitendelta fungeert. Aanvoer van sediment vanuit de Oosterschelde laat in deze periode het volume van de buitendelta toenemen (Figuur 4.3). Van den Berg (1984) en Eelkema (2013) geven aan dat er tussen 1965 en 1985 een toename van de sedimentexport optreedt ten gevolge van de afsluitingen in het estuarium en van de Grevelingen. Deze dammen vergroten het getijprisma en is de sedimentexport naar de buitendelta toegenomen.

In 1960 vinden we 4 geulen in de monding: Hammen, Geul van de Roggen, Geul, Roompot (Figuur 4.2). De in de Oosterschelde gescheiden hoofdgeulen Hammen en Geul van de Roggen gaan in de monding over in 1 geul het Westgat. Het Westgat heeft twee uitstroom openingen: Een westelijke uitstroom voedt het voorliggende bankengebied van de Banjaard (zee), daarnaast is er een meer noordelijke uitstroming (de Geul van de Banjaard). Het centrale gedeelte van het Westgat en de westelijke uitstroming blijven over de gehele periode (1960-1980) vrij stabiel. De Geul van de Banjaard vertoont een wat meer uitgesproken ontwikkeling. In 1960 is er nog 1 dominante hoofdgeul, die zich later ontwikkelt tot een stelsel van kleinere geulen gescheiden door kleine relatief hoge en smalle banken of ruggen. Het kan zijn dat deze banken eerder ook aanwezig waren, maar als gevolg van de oude meettechnieken niet zichtbaar zijn. De vervorming van de Geul van de Banjaard gaat gepaard met erosie van de geul (-37.95 miljoen m<sup>3</sup>) en sedimentatie op de naastgelegen banken. Ook het complexe platengebied dat zich tussen de geul van de Banjaard en de kust van Schouwen uitstrekt (Banjaard (land)), vertoont een netto sedimentatie (15 miljoen m<sup>3</sup>). Deze sedimentatie concentreert zich op het noordelijke gedeelte van het bankengebied. De vorm van de sedimentzone laten zien dat toevoer van sediment zowel vanuit de Oosterschelde als de Grevelingen optreedt. Langs het Westgat vindt er juist veel erosie plaats (-25 miljoen m<sup>3</sup>, polygoon 25). Het verdiepen van dit gedeelte van het platengebied kan een oorzaak zijn voor de opgetreden erosie van de naastgelegen kust.

Aanzanding vindt plaats op het zeewaartse bankengebied van de Banjaard. De zeewaartse rand van de buitendelta neemt in deze periode met 51 miljoen m<sup>3</sup> aan sediment toe. De landwaartse zijde vertoont in het noordelijke deel ook een toename van 40 miljoen m<sup>3</sup> (polygoon 29-40). De geulen die de Banjaard flankeren of doorsnijden verliezen echter ook -63 miljoen m<sup>3</sup> aan sediment (polygoon 25-27) waardoor het gehele gebied een volume afname van -11 miljoen m<sup>3</sup> laat zien. De grote veranderingen die in het geulensysteem plaats vinden, geven een indicatie van de grote invloed van menselijk ingrijpen, in aanloop naar de aanleg van de stormvloedkering, weer. Door aanleg van het werkeiland Neeltje Jans wordt de Geul, de verbindingsgeul tussen Roompot en Westgat, afgedamd waarna deze volledig verzand (+19 miljoen m<sup>3</sup>, [22]). Grote morfologische veranderingen vinden ook plaats in het Noordelijke geulensysteem van het Westgat en de Hammen. Het kleinere werkeiland tussen de Geul van de Roggen en de Hammen zorgt dat deze 2 geulen verder gescheiden worden. Hierdoor zijn deze lokaal sterk verdiept (Figuur 4.3, polygoon 23 en 25). Zeewaarts zien we dat vooral Geul (polygoon 21) en westgat (polygoon 21) aanzanden. De totale aanzanding in het noordelijke geulensysteem bedraagt over de periode 1960-1980 meer dan 37 miljoen m<sup>3</sup>. Met een totale erosie van -47 miljoen m<sup>3</sup> verliest dit geulensysteem netto sediment. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat door een iets andere keuze van de polygoon deze getallen significant kunnen veranderen.

Het zuidelijke gedeelte wordt gedomineerd door de veranderingen rond de geul Roompot. Deze heeft een uitstroom langs de kust van Noord-Beveland en Walcheren (Roompot zuid) en een meer noordwestelijke component (Oude Roompot). Het karakteristieke ebschild en

abschaartjes de Hompels op geven aan dat de Oude Roompot een eb-gedomineerde geul is. De abschaartjes lijken voor afsluiting een zekere periodiciteit (cycliciteit) te vertonen: Ze ontstaan landwaarts, migreren zeewaarts waarna er landwaarts weer een nieuwe abschaar vormt. Deze configuratie blijft tot 1985 duidelijk zichtbaar. De Oude Roompot verruimt richting het Westgat, waarbij het ebschild verder opgeruimd wordt (polygoon 14). De ondiepte tussen deze 2 geulen erodeert en verliest daarbij -48 miljoen m<sup>3</sup> aan sediment. De vergrootte getijprisma's in de Oosterscheldemonding, door aanleg van de Grevelingen- en Volkerakdam, zouden hier mogelijk de oorzaak van kunnen zijn. In totaal verliest het geulensysteem Roompot -40 miljoen m<sup>3</sup> aan sediment, terwijl de naastliggende Hompels met 40 miljoen m<sup>3</sup> in volume toeneemt. Ook het gebied net ten zuiden hiervan (Domburger Rassen) neemt in deze periode in volume toe (35 miljoen m<sup>3</sup>).



Gebied	Geselecteerde Polygoonen	Volumeverandering (miljoen m <sup>3</sup> )		
		sedimentatie	erosie	totaal
Banjaard (zee)	1, 11, 28, 41	+59.18	-8.22	+50.96
Banjaard (land)	25, 29-40	+56.14	-67.14	+14.99
Geul van de Banjaard	26, 27	+0.02	-37.95	-37.95
Wesgat-Hammen-Geul vd Roggen	12, 21, 23, 24	+37.74	-47.98	-10.25
Noordland	19, 20, 22	+24.16	-4.02	+20.14
Roompot	14, 16, 13	+41.85	-82.03	-40.58
Hompels	8, 9, 10, 15, 17, 18	+72.19	-32.28	+39.90
Domburger Rassen	1-7	+49.41	-14.52	+34.88
		<b>+340.66</b>	<b>-268.56</b>	<b>+72.10</b>

Figuur 4.3 Overzicht van de bodemverandering in de Oosterscheldemonding over de periode 1960-1980 en 1980-2010.



#### 4.2.2 Morfologische veranderingen over de periode 1980-2010

De veranderingen in de Oosterschelde monding als gevolg van de aanleg van de Oosterscheldkering zijn beperkt. In tegenstelling tot de monding van het Haringvliet en de Grevelingen blijft de Oosterscheldemonding verbinding houden met het estuarium. Hierdoor blijven zowel het noordelijk als zuidelijk geulenstelsel op hoofdlijnen behouden. Wel is de sedimenttoevoer duidelijk gereduceerd. De volumeverandering van de monding over de periode 1980-2010 vertoont een tegengesteld beeld in vergelijking tot de ontwikkeling over de periode 160-1980. Over het totale gebied vindt er nu een volumeafname plaats van -- 148 miljoen m<sup>3</sup>. Dit is wel inclusief de volumeverliezen van de Domburger Rassen (-35 miljoen m<sup>3</sup>) en het Brouwershavense Gat (-12 miljoen m<sup>3</sup>, polygoon 45, 52) die eigenlijk niet tot de Oosterscheldemonding behoren. Nemen we deze verliezen niet mee dan is het verlies iets kleiner (101 miljoen m<sup>3</sup>). Het merendeel van de erosie, -52 miljoen m<sup>3</sup>, vindt plaats op de Banjaard (land) en de Hompels (-42 miljoen m<sup>3</sup>). In de periode 1960-1980 was het noordelijke gedeelte van de Banjaard nog vooral aanzandend, maar sinds 1980 zien we hier vooral een herverdeling van sediment; De uitstroom van het Brouwershavense Gat verplaats landwaarts en heroriënteert zich naar het zuiden. Het sediment vormt een ebschild rond de geul. Tussen dit ebschild en de kust van Schouwen worden de ontwikkelingen gedomineerd door de verlenging van het Krabbegat en de (ver)vorming van de Bollen van het Nieuwe Zand (het bankengebied liggend voor het Krabbengat. Waarschijnlijk treedt er een netto een klein maar persistent verlies op richting de Grevelingenmondning. Dit verlies wordt niet gecompenseerd door sedimenttoevoer vanuit de Oosterschelde, waardoor de totale volumes afnemen.

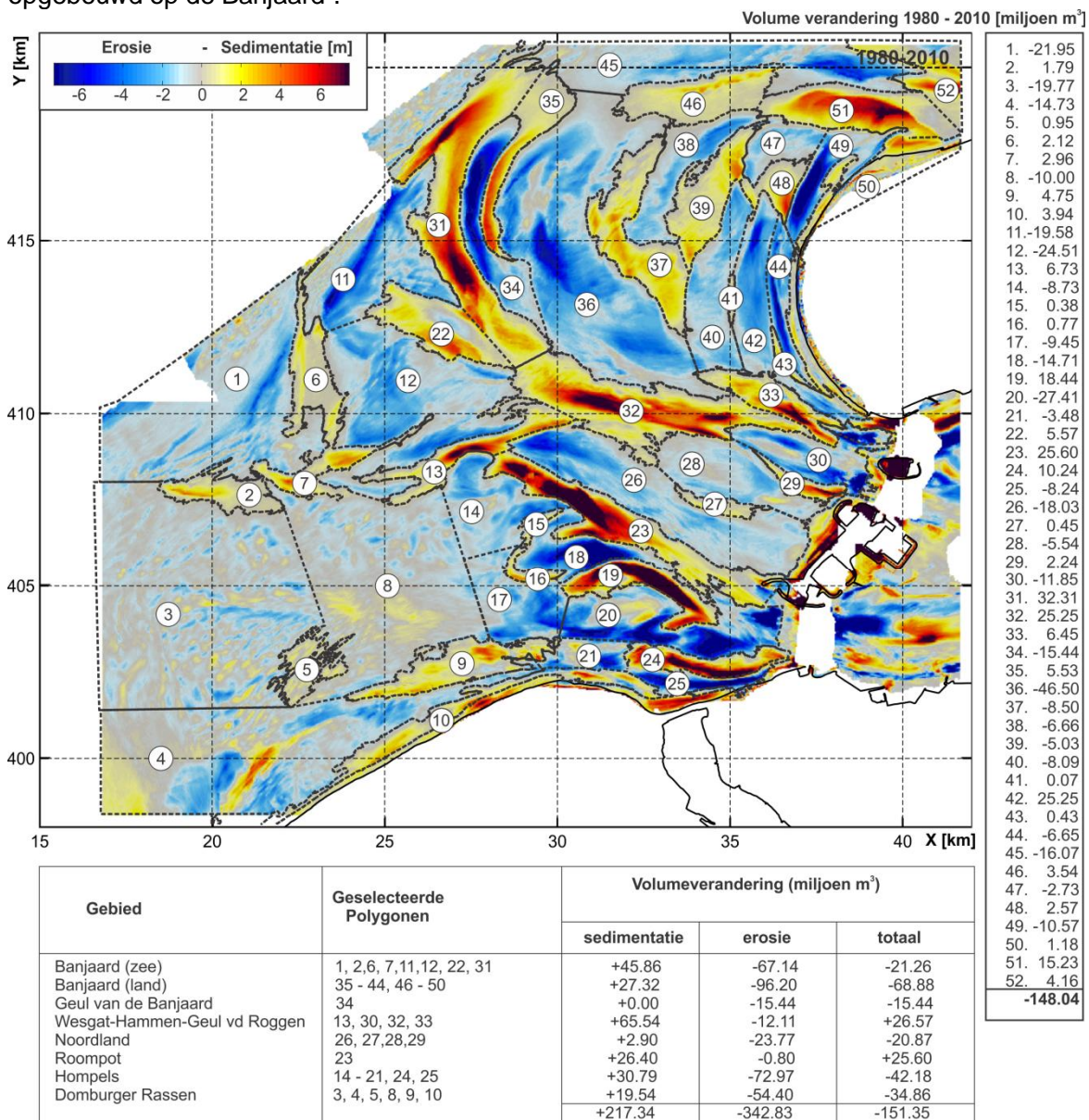
Ook het zeewaartse gedeelte van de Banjaard en de Domburger Rassen vertonen een verlies aan sediment (respectievelijk -21 en -35 miljoen m<sup>3</sup>). Dit wordt veroorzaakt door gereduceerde debieten en afgenomen sedimenttoevoer vanuit het Oosterschelde estuarium. Met doorgaande (golfgedreven) erosie resulteert dit in erosie (opruimen) van het buitendelta front.

#### 4.2.3 Erosie van de kust van Schouwen

Erosie langs de kust van Schouwen is al lang voortslepend probleem. Al in 1987, 1991 en 1996 zijn hier geulverleggingen uitgevoerd of is er morfologisch gebaggerd. De effecten van deze ingrepen zijn recent geanalyseerd door Vermaas et al (2014). De belangrijkste bevindingen van deze studie zijn: "Een kust met een oriëntatieverloop zoals die van de Kop van Schouwen, een zogenaamde "bolle" kust, onder invloed van invallende golven altijd zal eroderen: het centrale deel wordt geërodeerd en het zand wordt lateraal afgevoerd. Dit effect wordt versterkt door de aanwezigheid van een kortsluitgeul vóór de kust die de laterale transporten versterkt. Onder invloed van netto kustwaartse golfgedreven (en windgedreven?; de rol van getijstroming is nog niet duidelijk) stromingen op de vóór de Kop van Schouwen liggende ondiepte Banjaard bouwde de zeewaartse oever van het Krabbengat uit in oostelijke, landwaartse richting. Hierdoor wordt de geuldoorsnede kleiner, zullen de stroomsnelheden omhoog gaan en erodeert de geul zijn bodem en/of tegenoverliggende oever. Hierdoor werd de geul in zijn geheel in de richting van het eiland gedwongen (dit wordt bedoeld met het begrip "zanddruk" ). Deze combinatie van factoren (golferosie en laterale verplaatsing van het Krabbengat) leidde tot een sterke erosie van de Kop van Schouwen, hetgeen aanleiding was tot het besluit de geul uit de kust te verleggen. Deze verlegging heeft in een aantal fasen plaats gevonden, in 1987, 1991 en tenslotte 1996, waarbij het op de zeewaartse zijde van de geul gewonnen zand in toenemende mate ook voor strandsuppleties is gebruikt. Door niet al het gewonnen zand op de tegenoverliggende geuloever aan te

brengen is de geuldoorsnede ter plaatse van de winningsvakken de facto vergroot. Hierdoor nam de erosie van met name het diepere deel van de onderwateroever van Schouwen af.

Tegelijkertijd werd de stormvloedkering in de Oosterschelde voltooid (1986) en begon de invloed van de afname van het getijdebiet van de Oosterschelde op de buitendelta merkbaar te worden. Een van de veranderingen was een afname van de min of meer radiale uitstroming van het ebdebiet, ten gunste van een toename van de meer noord-zuid gerichte stroming over de buitendelta. Dit heeft onder meer geleid tot structureel zandverlies op de Banjaard en aanpassing van de morfologie. De Banjaard is in zijn geheel dieper geworden en de noord-zuid gerichte hoofdgeulen Geul van de Banjaard en Krabbengat hebben zich verdiept. Ook is het Krabbengat langer geworden in noordelijke richting, waarbij de geul in vloedschild uitgebouwd heeft in de geul Brouwershavense Gat. De uitstroming van het Brouwershavense Gat heeft zich naar het zuiden verlegd, waarbij de geul een ebschild heeft opgebouwd op de Banjaard”.



Figuur 4.4 Overzicht van de bodemverandering in de Oosterscheldedemonding over de periode 1960-1980 en 1980-2010



## 5 Grevelingen

### 5.1 Huidige ligging van geulen en platen

De monding van de Grevelingen ligt tussen de koppen van Goeree en Schouwen. De ontwikkelingen van de Grevelingen en Haringvlietmonding vertonen grote overeenkomsten. Beide gebieden zijn veranderd van een actieve naar een passieve buitendelta; een ondiep platen-geulen gebied waar sediment (landwaarts) wordt herverdeeld. Het noordelijke gedeelte van de Grevelingen monding wordt gedomineerd door ondiepe plaatgebieden (Middelplaat, Kabbelaarsbank en Aardappelenbult) die ingeklemd liggen tussen de Brouwersdam, Goeree en De Bollen van de Ooster (Figuur 5.1). De Bollen van de Ooster [6] heeft zich na afsluiting van het Grevelingen estuarium (in 1971) ontwikkeld tot een hoge, langgerekte plaat. Ingeklemd tussen deze plaat en de kust van Goeree ligt een kleine geul Schaar [9]. De voormalige hoofdgeul Kous/ Springersdiep [2,8] is vrijwel geheel opgevuld met sediment. Alleen in het zuiden, langs de kust van Schouwen, vinden we nog een diepere getijgeul: het Brouwershavense Gat [1]. Het Brouwershavense Gat is vooral langs de kust van Schouwen en bij de Brouwerdam opgevuld met sediment. Het zeewaartse gedeelte is gekromd door het opdringen, noordwaarts uitbouwen, van de Bollen van het Nieuwe Zand. Aan de noordzijde wordt de geul begrensd door de Gloeiende Plaat [3]. De uitstroom van het Brouwershavense Gat heeft een zuidelijke uitstroom gekregen de Banjaard op en op de Banjaard heeft zich voor de geul een duidelijk ebschild gevormd (zie vorige hoofdstuk).

### 5.2 Morfologische veranderingen

Voor afsluiting zijn de platen en geulen in de Grevelingen gevormd als een dynamisch evenwicht tussen de uitbouwende kracht van de getijstroming in en uit het estuarium en de landwaartse, golfgedreven stroming en sedimenttransporten. Na afsluiting van het estuarium in 1971 is de kustdwarse (estuarium-gedreven) getijstroming bevestigd gestopt. Het afsluiten van het estuarium betekent eigenlijk dat het gebied zijn status als buitendelta verliest. Op de buitendelta overheersen nu de golfgedreven transporten. Er is nog wel getijstroming aanwezig maar deze wordt bepaald door het Noordzeegetij en niet door het estuarium. Het Noordzeegetij veroorzaakt een rondstroming door de oude getijdgeulen heen (van der Spek, 1987). Het water stroomt de monding in via het Brouwershavense gat en stroomt uit via de Schaar, en vice versa na kentering. Deze rondstroming is veel minder efficiënt dan het oorspronkelijke estuarium-gedreven stroming. De balans tussen getij- versus golfgedreven transporten is hierdoor verstoord. De golfgedreven transporten overheersen. Grootschalige (landwaartse) verplaatsing van de platen en het opvullen van de oorspronkelijke geulen is daarom te verwachten en ook opgetreden (Figuur 5.1 en Figuur 5.2)

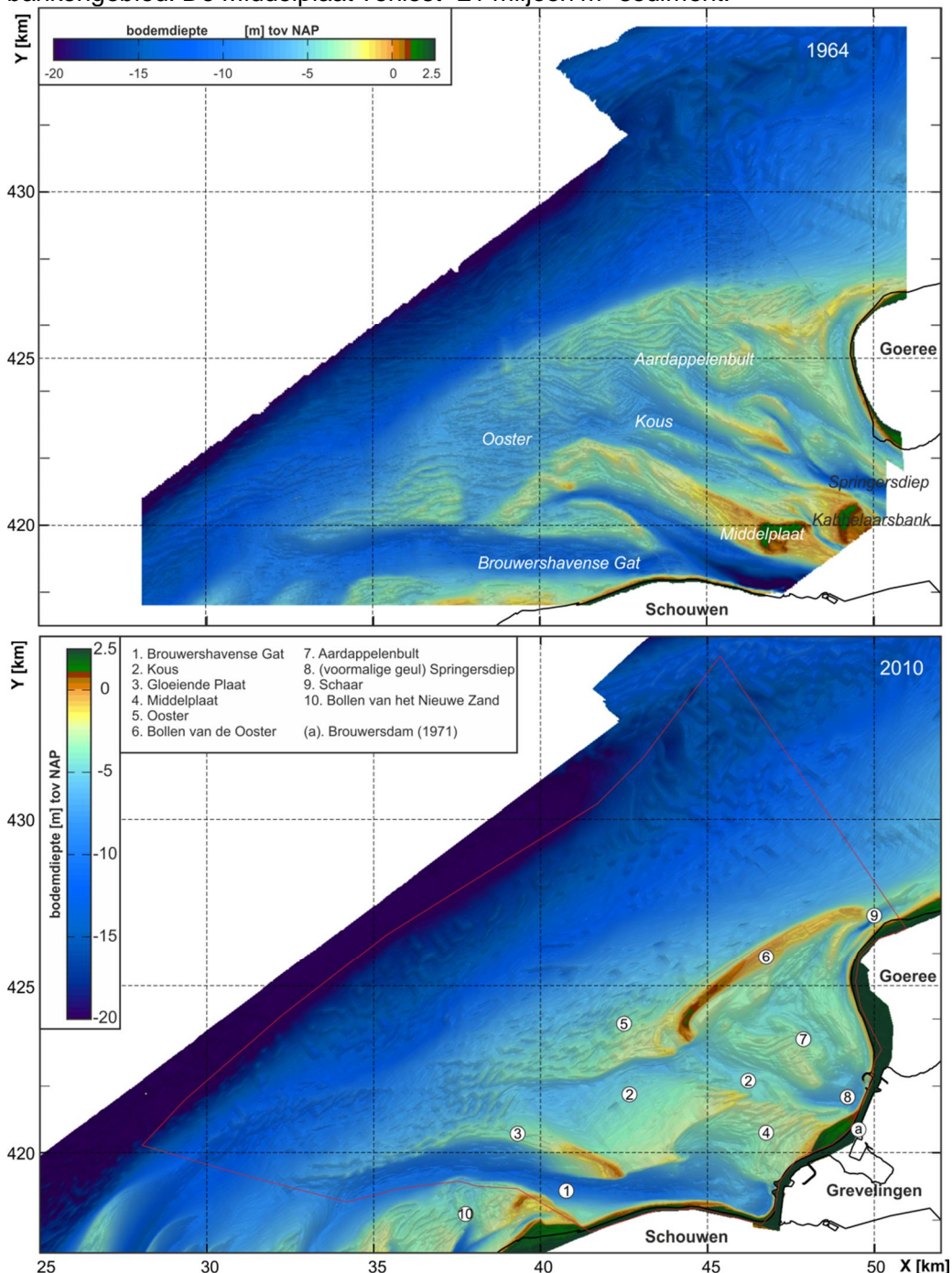
Een beschrijving van de ontwikkelingen van de buitendelta vóór afsluiting van de Grevelingen (over de periode 1933-1959) wordt gegeven door Van der Spek (1987); "Gedurende deze periode neemt het getijvolume van de Grevelingen af, ten gunste van het getijvolume van de Oosterschelde, waardoor het profieloppervlak van de beide geulen Brouwershavense Gat en Springersdiep geleidelijk vermindert. De geulen worden smaller en dieper, het bankengebied tussen de geulen wordt steeds breder. De Middelplaat en de Kabbelaarsbank verschuiven in de richting van de Hompelviet. De geul Brouwershavense Gat verplaatst zich in de richting van de oever van Schouwen, waardoor een zeer steil talud ontstaat. Door de reductie van het getijvolume zal ook de omvang van de buitendelta minder geworden zijn. Zeewaarts van de toekomstige Brouwerdam schuiven de geulen in de periode 1961-1965 ongeveer 100m naar het noordoosten en neemt de hoogte van de platen af." Figuur 5.3 geeft een representatief beeld van de opgetreden veranderingen gedurende deze periode.

De ontwikkeling van de Grevelingen monding sinds 1964 wordt weergegeven in Figuur 5.1 en Figuur 5.2 (zie ook Appendix A voor een volledig overzicht van de bodemdata en ontwikkeling). De 1964 bodem is de eerste digitaal beschikbare bodem, maar deze is niet geheel representatief voor een natuurlijke situatie. In 1964 is het landwaartse deel van de Grevelingen estuarium al afgesloten door de Grevelingendam (zie Figuur 2.3 voor ligging). De voltooiing van de Brouwersdam in 1971 sloot daarna het estuarium volledig af van de buitendelta en grootschalige veranderingen hebben plaatsgevonden. Vooral de voormalige plaat Ooster erodeert sterk aan de noordwestzijde. Het sediment wordt landwaarts verplaatst waardoor een langgerekte, ondiepe bank (Bollen van de Ooster) met zuid-noord oriëntatie vormt (Figuur 5.1, [1]). De vorming van deze bank is duidelijk te volgen in Figuur 5.4 (Profiel 1 en 2). In raai 1 verplaats de -5 m contour bijna 1.5 km landwaarts. De bollen van de Ooster nemen daarbij in hoogte toe tot ongeveer 0 m NAP. In doorsnede 2 zijn de verschillen nog groter. De -5 m contour verschuift 2.5 km landwaarts en de Bollen van de Ooster hebben hier een hoogte van 0.8 m. Het heeft tot 1999 geduurd voor een vrijwel continue, vrijwel rechte ondoorbroken bank werd gevormd. Deze bank was in 1999 nog breed (zo'n 500 m). Sindsdien is de hoogte verder toegenomen maar is de breedte afgenomen. In totaal is het zandvolume aan de zeezijde van de Ooster met -63 miljoen m<sup>3</sup> in sediment afgenomen (Figuur 5.2, [polygoon 15]). Een deel van het ge-erodeerde sediment heeft waarschijnlijk bijgedragen aan de vorming van de Bollen van de Ooster (13 miljoen m<sup>3</sup> [19]) en het invullen van het landwaartse deel van Ooster (25 miljoen m<sup>3</sup> [16]). Het geul-plaat gebied (Aardappelenbult) ingeklemd tussen de Bollen van de Ooster en de Brouwersdam vult op en vlakt uit. Dit gaat gepaard met een netto sedimentatie van 8 miljoen m<sup>3</sup>. In de geulen, zoals Kous en het afgesloten Springersdiep, is de sedimentatie echter aanzienlijk groter (+18 miljoen m<sup>3</sup>), dit komt omdat een gedeelte van het sediment geleverd wordt door de naast- en tussengelegen platen (-10 miljoen m<sup>3</sup>).

Ook in het zuidelijke gedeelte van de monding treden grote veranderingen op. Het Brouwershavense Gat blijft hier, ook in de 2011 bodem, echter wel duidelijk als geul zichtbaar. Het voorliggende deel van de buitendelta vertoont ook hier een landwaartse verplaatsing. Een grote verandering treedt op rond een voormalige ebschaar van het Brouwershavense Gat (zie Figuur 5.1 1964 voor ligging) en de aangrenzende Middelpaat. Het voormalige ebschild dat rond en voor deze ebschaar aanwezig is wordt landwaarts verplaatst en de ebschaar vult volledig op met sediment. Deze verplaatsing van dit ebschild en het landwaarts opschuiven van de Ooster, is in dwarsprofiel 4 (Figuur 5.4) goed te volgen. Profiel 4 geeft ook een interessant beeld van de opgetreden verandering in het Brouwershavense Gat. De opvulling van het diepe gedeelte van de geul vindt vooral plaats in de periode 1964-1998. Sinds 1998 blijft de bodem hier rond de -10m liggen, wel bouwt de zeewaarts gelegen bank (Gloeiende Plaat) sterk landwaarts uit waardoor het geul volume verkleind. Het Brouwershavense Gat staat verder onder druk bij de Kop van Schouwen, waar de groei en noordwaartse verplaatsing van de Bollen van het Nieuwe Zand het Brouwershavense Gat vanuit het zuiden wegdrukt. Het Brouwershavense Gat krijgt hierdoor een kromming om de bollen van het Nieuwe Zand heen. Deze kromming draagt dan waarschijnlijk weer bij aan het zuidelijker worden van de uitstroom de Banjaard op. Zoals al eerder geobserveerd wordt op de Banjaard een duidelijk ebschild gevormd. Langs de noordzijde wordt het Brouwershavense Gat verder begrenst door een langgerekte bank (Gloeiende Plaat).

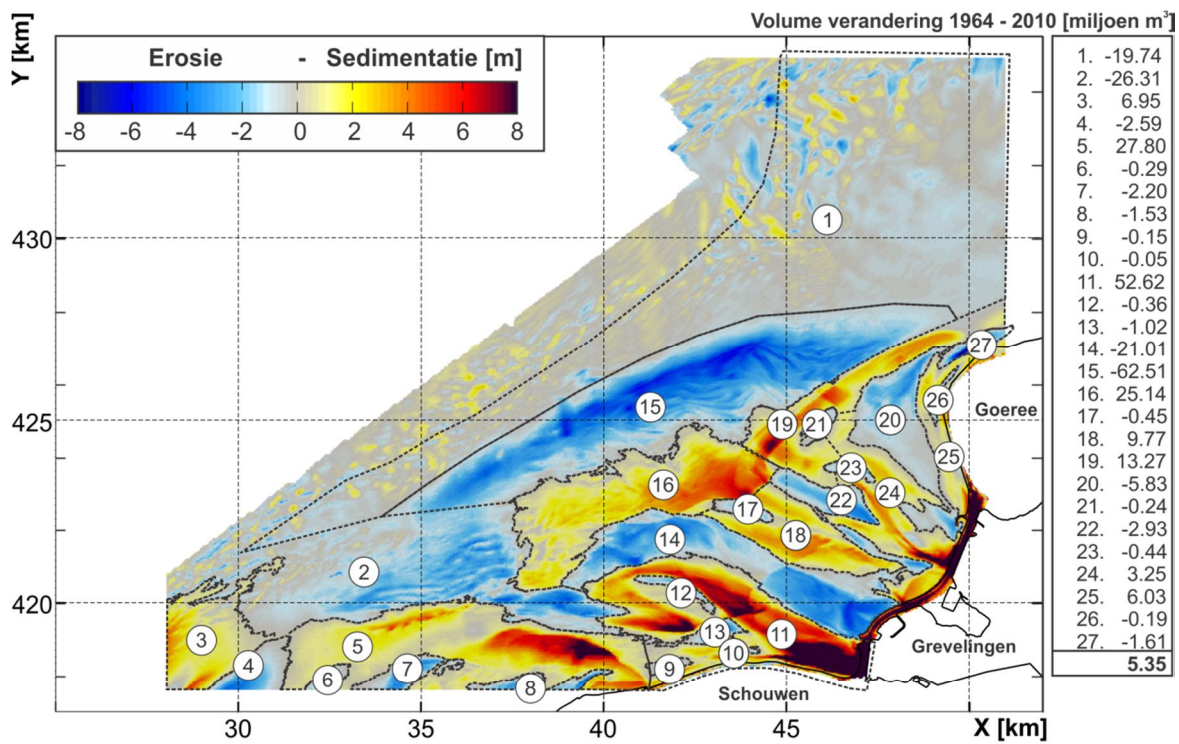
Hoewel er in de monding grote morfologische veranderingen optreden is de totale netto volumeverandering beperkt. Nemen we de voor de Grevelingen representatieve polygoon (zie tabel in Figuur 5.2) dan neemt het volume met 51 miljoen m<sup>3</sup> in sediment toe. Dit is inclusief de sedimentatie van 28 miljoen m<sup>3</sup> aan de zuidkant van het Brouwershavense Gat.

Als we dit in meer detail beschouwen zien we dat het buitendelta front 89 miljoen m<sup>3</sup> aan sediment verliest [15, 2]. De Bollen van de Ooster nemen met 38 miljoen m<sup>3</sup> toe. De afgesloten geul Springersdiep en de Kous zijn opgevuld met sediment. Opvullen van het Springersdiep en de vorming van de Aardappelenbult heeft tot een volume toename van 8 miljoen m<sup>3</sup> geleid. Het opvullen van Kous (pol. 17,18) heeft geresulteerd in een volumetoename van 9 miljoen m<sup>3</sup>. In het landwaartse deel van het Brouwershavense Gat grenzend aan de kust van Schouwen (pol. 11 – 9-13) is veel sediment afgezet (50 miljoen m<sup>3</sup>). Een significant gedeelte van dit sediment is afkomstig van het aangrenzende bankengebied. De Middelplaat verliest -21 miljoen m<sup>3</sup> sediment.



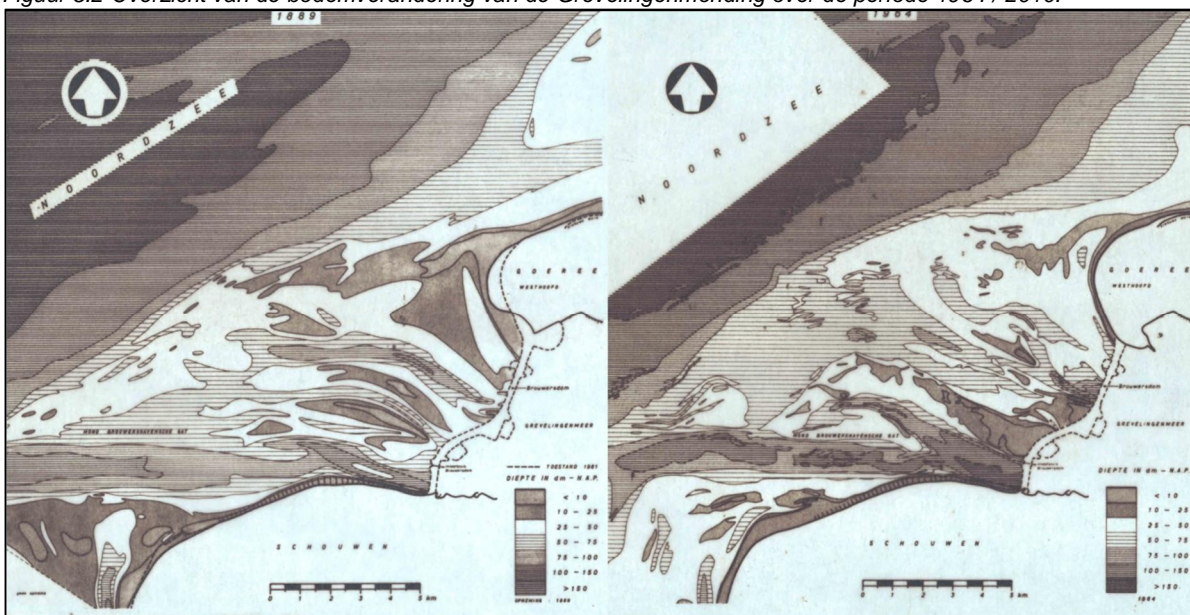
Figuur 5.1 Overzicht van de bodemligging van de Grevelingenmondning in 1965-1967 (boven) en in 2010-2011 (onder).



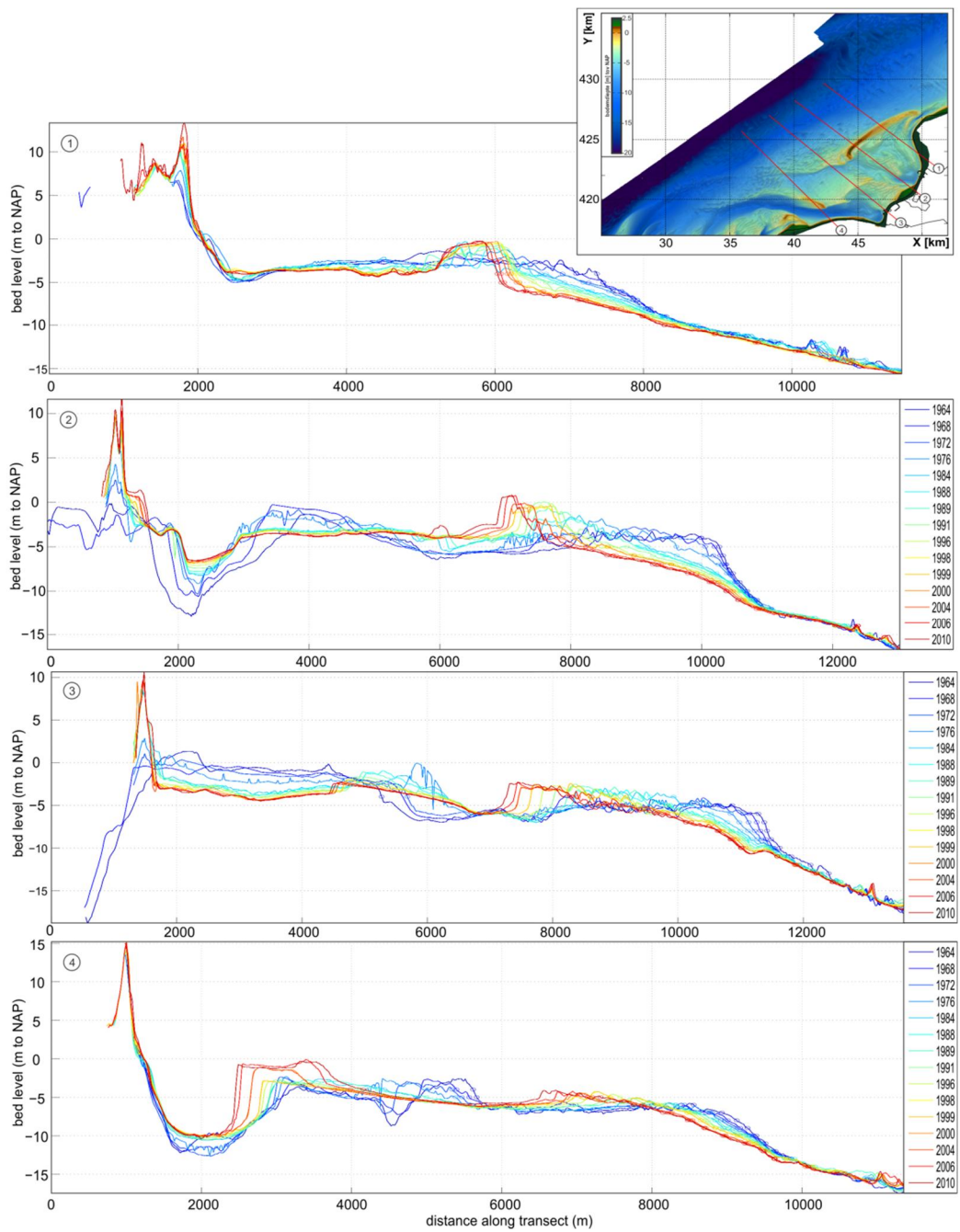


Gebied	Geselecteerde Polygonen	Volumeverandering (miljoen m <sup>3</sup> )		
		sedimentatie	erosie	totaal
Bollen vd Ooster	16, 19, 21	+38.58	-0.41	38.16
Bollen vd Ooster (zee)	15	+0.02	-62.53	-62.51
Aardappelenbult	20, 21, 22, 23, 24, 25, 26	+18.31	-10.04	+8.27
Kouse - Middelplaat	17, 18	+9.77	-0.45	+9.31
Brouwershavense Gat	5, 9, 10, 11, 12, 13, 14	+80.49	-22.67	+57.82
		<b>+147.17</b>	<b>-96.35</b>	<b>+50.82</b>

Figuur 5.2 Overzicht van de bodemverandering van de Grevelingenmond over de periode 1964 / 2010.



Figuur 5.3 Overzicht van de veranderingen in geulensstelsel tussen 1889 en 1964.



Figuur 5.4 Overzicht van de veranderingen in bodemligging van de Grevelingenmondig over de periode 1964-2010 door middel van representatieve profielen.

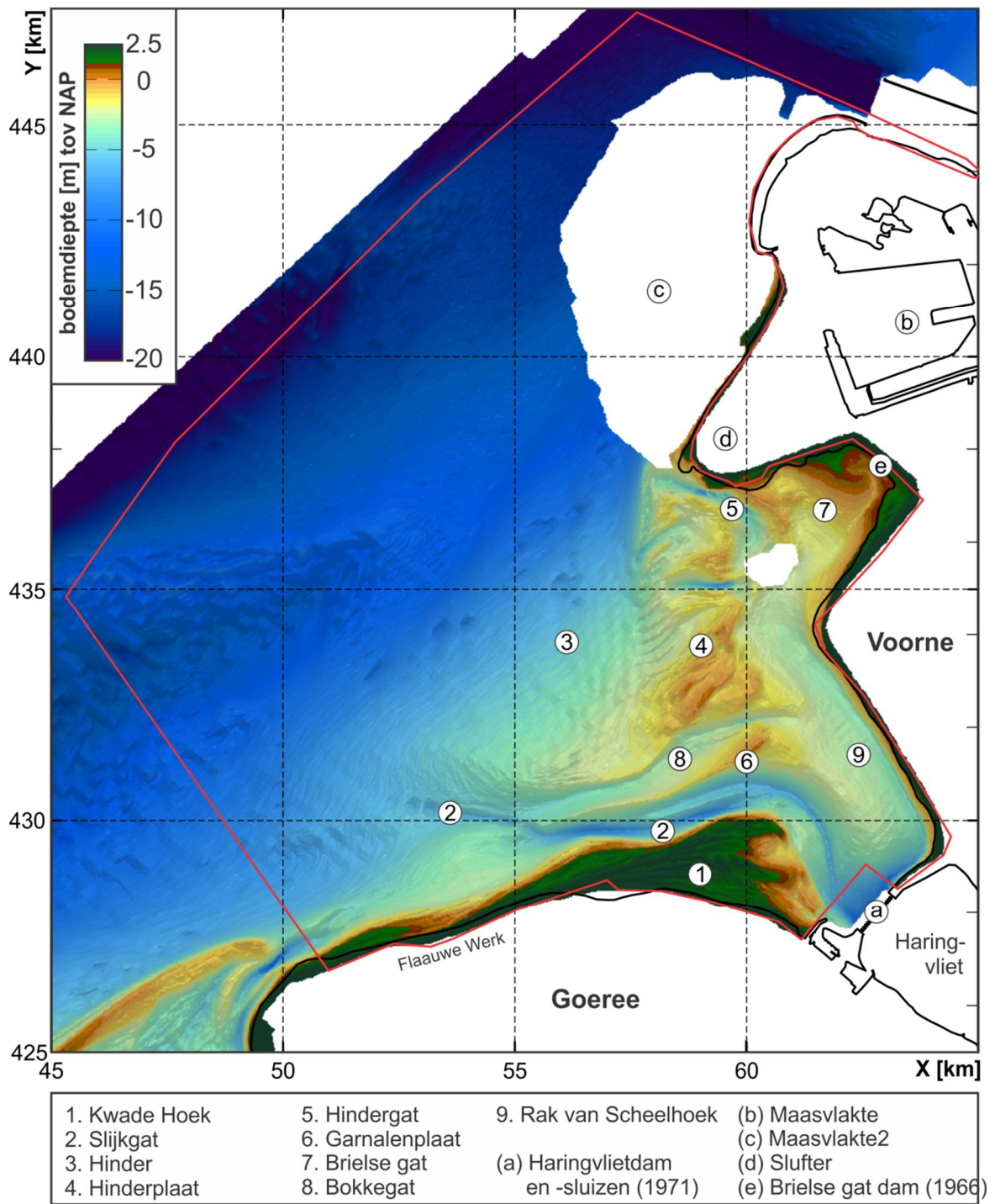
## Haringvliet

### Huidige ligging van geulen en platen

Identiek aan de Grevelingen is het huidige platengebied dat voor de monding van het Haringvliet ligt geen echte buitendelta (Figuur 5.5). Na afdamming van de Brielse maas (1950), de afsluiting van het Brielse gat door de Brielse gat dam (1958-1970,[e]) en de afsluiting van de Haringvliet (1964-1976,[a]) is er geen verbinding meer met het achterliggende estuarium. Alleen door de spuisluisen in de Haringvliet dam wordt er nog periodiek (zoet water) gespuid. Door het wegvallen van de getijstroming vanuit de estuaria zijn zowel de waterbeweging en maatgevende sedimenttransporten in de monding sterk verandert. Het ondiepe platengebied geeft eigenlijk het opruimen van de voormalige buitendelta weer, waarbij sediment vanuit diepwater (vooral door golven) richting de kust verplaatst. Daarnaast is het gebied sterk beïnvloed door de aanleg van de Europoort (1964-1966) en de kustuitbreidingen van de Maasvlakte (1964-1976,[b]) en Maasvlakte2 (2008-2013, [c]). De voormalige geulen zijn vrijwel geheel opgevuld en het (diepe) plaatoppervlak is sterk afgenomen. Het 'buldozeren' van zand landwaarts door de golven zorgt wel voor een toename van het ondiepe plaat areaal. Circa 50% van het gebied ligt tussen de -5 en -2,5 m.

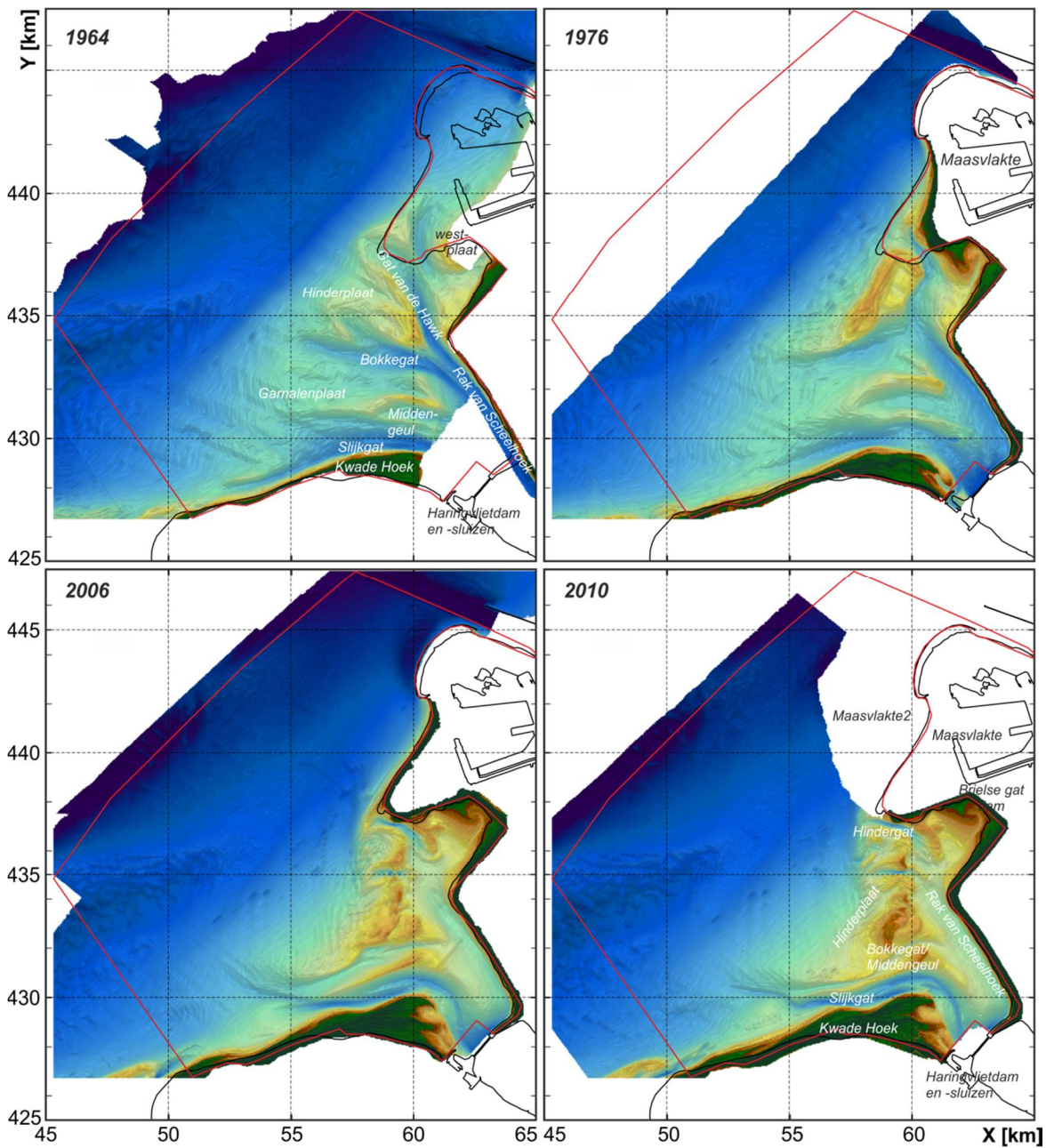
In de huidige Haringvlietmonding (Figuur 5.5) worden nog vier getijgeulen onderscheiden: het Slijkgat [2], het Bokkegat [8], het Hindergat [5] en het Rak van Scheelhoek [9]. Het Slijkgat, de grootste geul, ligt langs de kust van Goeree en verbindt de uitwateringssluizen van de Haringvliet met de Noordzee. Langs de kust van Voorne ligt nog de oude hoofdgeul Rak van Scheelhoek. Deze geul is sinds de afsluiting van het Haringvliet voor een groot deel opgevuld met sediment (slib). Het grote, gedeeltelijk droogvallende plaatoppervlak dat zich vanaf de zuidwestzijde van de Maasvlakte zuidwaarts uitstrekt is de Hinderplaat [4]. Een klein geultje (Hindergat) scheidt de hinderplaat en de Maasvlakte. Door de grote morfologische veranderingen is het moeilijk de verschillende platen (en geulen) in de Haringvliet van elkaar te onderscheiden. Zo is de Garnalenplaat [6], de voormalige scheiding tussen de geulen Bokkegat en Slijkgat, vrijwel verdwenen (Figuur 5.5 – Figuur 6.3). Ten zuiden van het Slijkgat ligt de Kwade Hoek [1] een uit (droogvallend) platen en duinen gebied.



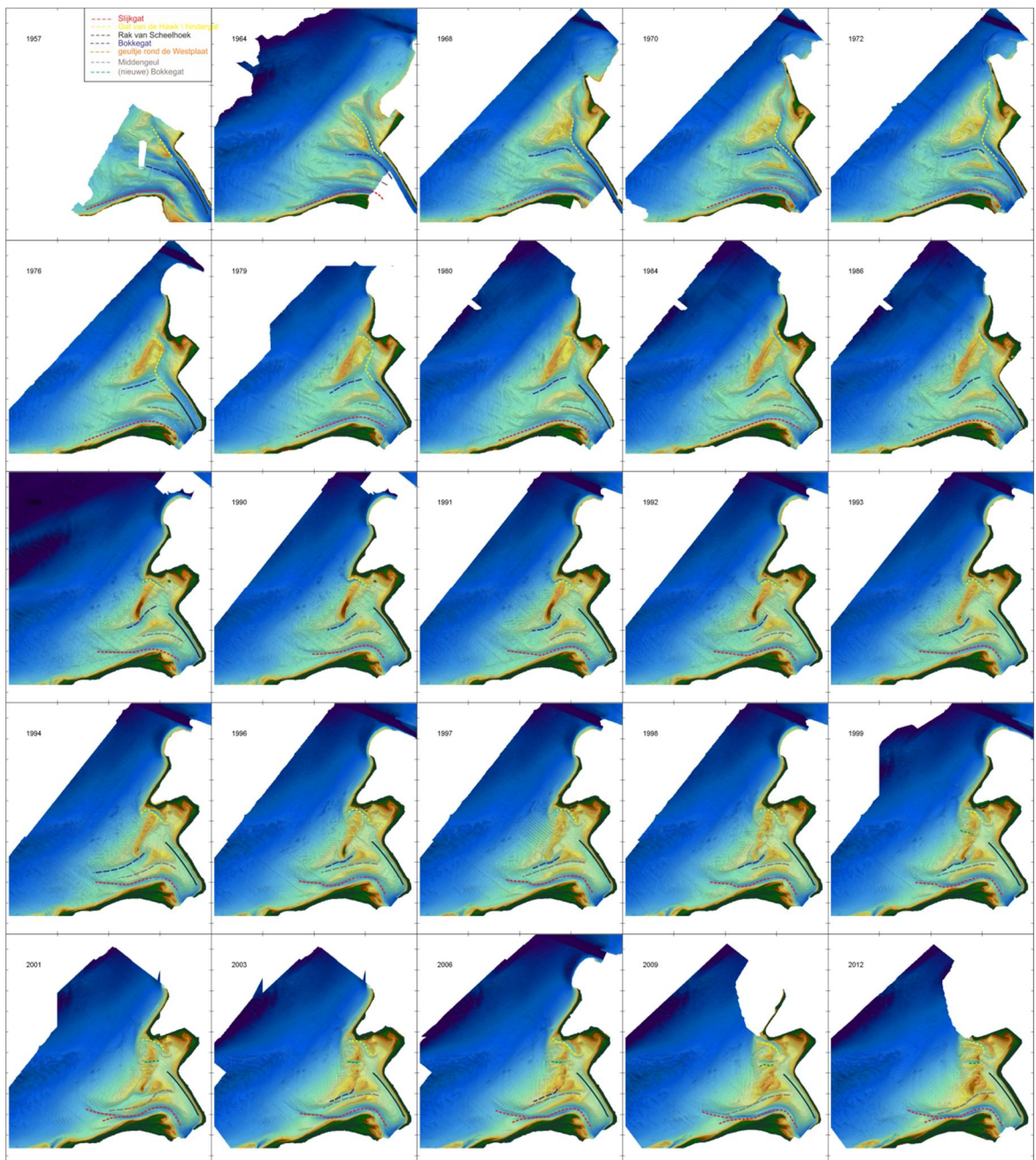


Figuur 5.5 Overzicht geulen en platen in de Haringvlietmonding. De onderliggende bodem is gebaseerd op de 2010-2011 metingen.





Figuur 5.6 Overzicht van de bodemligging voor 4 representatieve jaren.



Figuur 5.7 Overzicht van de verandering in geulligging over de periode 1957-2012

### 5.3 Morfologische veranderingen

Digitale bodemdata zijn aanwezig sinds 1964, maar om de opgetreden veranderingen goed te beschrijven moeten we eigenlijk de analyse beginnen met de afsluiting van de Brielse Maas in 1950. De maatgevende veranderingen in de periode 1950-1964 worden weergegeven in Figuur 5.8 (bovenste figuren). In 1950 heeft de monding duidelijke kenmerken van een buitendelta. De oost-west gedreven in en uitstroom van het bekken creëert een aantal grote getijgeulen met tussenliggende platen op de buitendelta. Dit geulenstelsel is nog zichtbaar in de bodems van 1957 (Figuur 5.7). Het Slijkgat is de dominante vloedgeul, terwijl het Rak van Scheelhoek, met uitstroom via het Bokkegat en het Gat van de Hawk, ebgedomineerd is. Op basis van literatuuronderzoek beschrijft van der Spek (1987) de veranderingen in de periode 1950-1965 als: “zeewaartse uitbreiding, waarbij het oppervlak van het intertijdegebied nagenoeg verdubbelt. Na afdamming van de Brielse Maas (in 1950) groeien de platen in het mondingsgebied uit tot 1 grote plaat (de Westplaat) terwijl de geulen verzanden. Gemiddeld wordt er 1 miljoen m<sup>3</sup> aan sediment afgezet. De hoogte van de Westplaat is met 0.5m toegenomen tot 0.9 m boven NAP. De maatgevende veranderingen treden op ten noorden van de geul Gat van de Hawk (uitstroom van het Rak van Scheelhoek). Deze geul blijft eigenlijk heel stabiel.”

De beschikbare digitale bodemdata geeft een goed beeld van de plaat- en geulontwikkelingen over de periode 1957-2012 (Figuur 5.7). De morfologische ontwikkelingen kunnen we eigenlijk opdelen in 3 deelperiodes welke corresponderen met de aanleg van grote ingrepen (1965-1970), aanpassing aan deze ingrepen (1970-1986) en aanleg van de Slufterdam en maasvlakte 2 (tot 2012).

Vanaf 1965 tot 1970 wordt het gebied sterk beïnvloedt door de aanleg van de Europoort - Maasvlakte en de afsluiting van het Haringvliet (zie Figuur 5.8). Het Brielse gat wordt in 1966 afgesloten en de westelijke zanddam van de maasvlakte aangelegd (1976-1969) en het Rak van Scheelhoek afgedamd (1970). De Maasvlakte wordt over de Westplaat aangelegd. De Zeehondenplaat erodeert aan de zeezijde en sedimenteerd landwaarts waardoor deze zich in langsrichting, evenwijdig aan de kop van Voorne, uitstrekt. Deze plaat krijgt de naam Hinderplaat en wordt door het Gat van de Hawk gescheiden van de Westplaat (Maasvlakte). De plaatveranderingen hebben een grote invloed op de achterliggende geul (Gat van de Hawk). Deze geul wordt ook sterk beïnvloedt door de aanleg van de Haringvlietdam en –sluizen (1955-1971), waardoor de stroming in de monding sterk veranderd. De estuariumgedreven getijstroming reduceert na voltooiing van de dam naar vrijwel nul. Ook het spuiwater dat door de spuisluizen van de Haringvliet wordt geloosd, stroomt via het Slijkgat naar zee (de spuisluizen in de dam liggen in het verlengde van het Slijkgat). Het Rak van Scheelhoek en Gat van de Hawk verliezen hiermee hun functie als afvoergeul. De stroming door de geulen is nu vooral een door het Noordzeegetij gedreven rondstroming. Het water stroomt het mondinggebied in via het Slijkgat en stroomt het gebied uit door het Gat van de Hawk/Hindergat en vice versa na kentering. Initieel is deze rondstroming nog vrij groot door de nog aanwezige geulen, maar deze stroming is niet groot genoeg om grote veranderingen in geulen en platen te stoppen. De noordelijke aangroei van de Zeehondenplaat en verlies van debiet door het Rak van Scheelhoek, duwt ook de Geul van de Hawk noordwaarts. Lag de Geul van de Hawk in 1957 nog in het verlengde van het Rak van Scheelhoek, in 1972 ligt deze sterk gekromd tussen de Hinderplaat en de Maasvlakte. Eigenlijk splitst het Rak van het Scheelhoek bij de kop van Voorne in een noordelijke (Gat van het Hawk) en westelijke (Bokkegat) uitstroom.

De details van de vervorming van de Gat van de Hawk zijn duidelijk te volgen in Figuur 5.7 (1957-1972). In 1957 is het niet duidelijk te zien (mede door missende data), maar in 1964 zien we duidelijk dat er tussen de Gat van de Hawk en de Westplaat een secundaire geul ligt. De landwaartse verplaatsing van de hinderplaat drukt de Gat van de Hawk en deze secundaire geul samen. In de 1968 bodem is er slechts 1(kleine) geul aanwezig. Deze geul blijft aanwezig tot 1986. In 1986 is het Gat van de Hawk afgesloten door de aanleg van de Slufterdam. Door het noordelijke gedeelte van de Hinderplaat is er een nieuwe geul gegraven, het Hindergat. Het Hindergat blijft tot 2012 eigenlijk vrij stabiel aanwezig, op de positie van de Gat van de Hawk, tussen de noordelijke punt van de hinderplaat en de zuidwestelijke punt van de Maasvlakte.

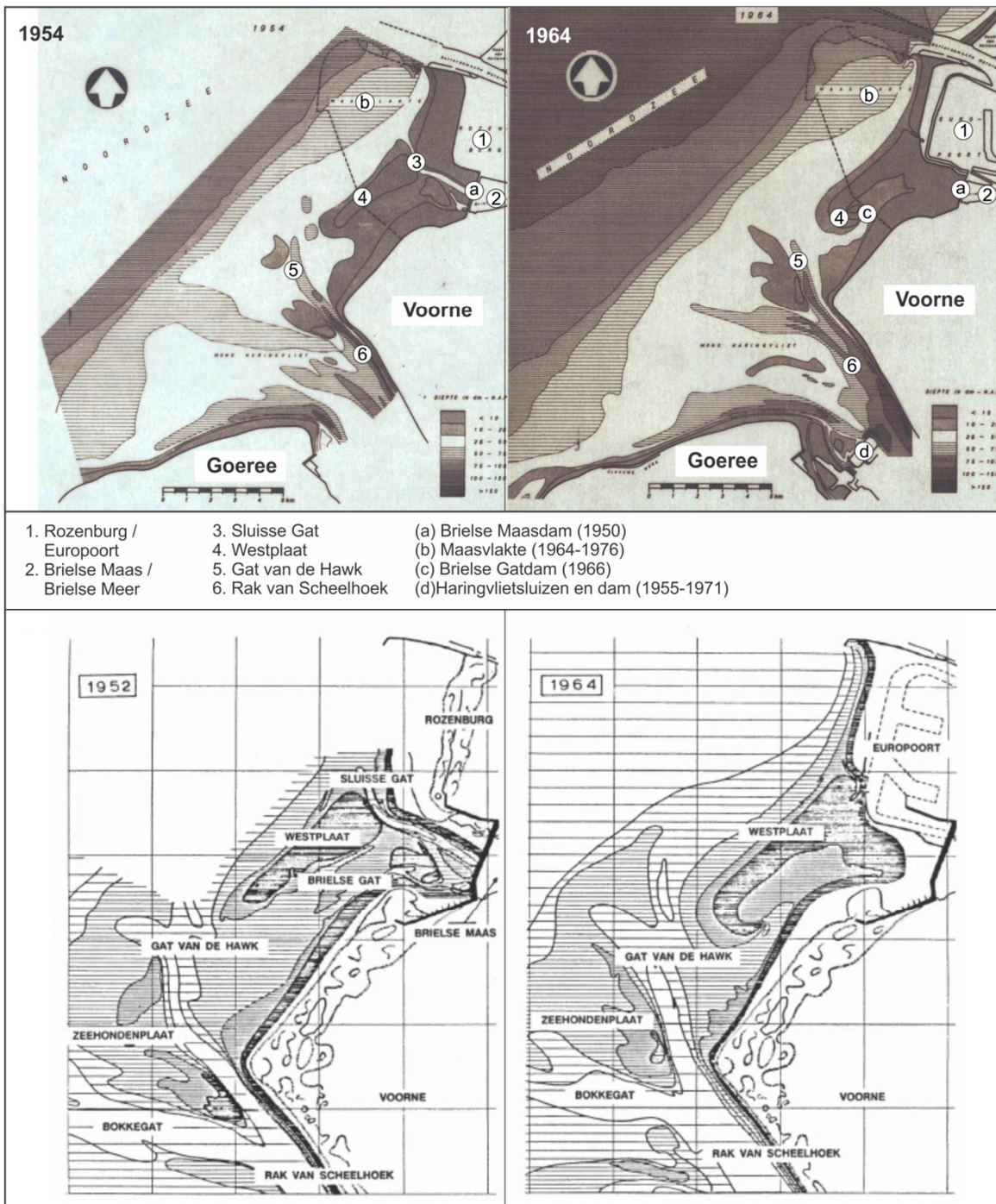
Sinds 1972 vormen de vooroever van de Maasvlakte en Hinderplaat eigenlijk een aaneengesloten kuststelsel met alleen een ondiepe Gat van de Hawk als scheiding tussen het ondiepe gedeelte. De Hinderplaat blijft in deze vorm tot 1986 duidelijk aanwezig. Wel vervormt de Hinderplaat van een brede bank naar een smalle en lange vorm. Deze vervorming is duidelijk waar te nemen in Figuur 5.11, profiel 1 en 2. In profiel 2 bereikt de Hinderplaat een maximale hoogte. Sindsdien neemt de hoogte hier weer sterk af en verplaatst de bank nog verder landwaarts. Sinds 1989 vormen de Maasvlakte en Hinderplaat niet langer een doorgaande kustlijn, maar migreert de Hinderplaat duidelijk verder landwaarts

Het Bokkegat vormt de tweede uitstroomopening van het Rak van Scheelhoek, ongeveer in het midden van de Haringvlietmonding. De Garnalenplaat vormt een scheiding tussen het Bokkegat en het Slijkgat. Tussen deze 2 geulen vormt zich in de periode 1964-1970 een derde uitstroom opening (de Middengeul). De landwaartse verplaatsing en verhoging van de hinderplaat drukt het Bokkegat langzaam dicht aan de noordzijde terwijl de Middengeul het Bokkegat aan de zuidzijde begrenst. De doorgaande vervorming van de Hinderplaat beïnvloedt ook het Bokkegat. Het Bokkegat kromt steeds verder zuidwaarts en wordt daarbij opgevuld.

Door het opruimen van het voorliggende ebschild van de Middengeul wordt eigenlijk rond 1990 een doorgaande geul gevormd, vrijwel evenwijdig aan het Bokkegat. Het landwaartse gedeelte van deze geul en het Bokkegat wordt door nog door de Garnalenplaat (noord) gescheiden. Tussen 1994 en 2003 wordt het Bokkegat vrijwel geheel opgevuld en blijft alleen de Middengeul aanwezig. Ook de Middengeul wordt door landwaartse migratie van de Hinderplaat steeds verder dichtgedrukt en is in de 2012 bodem vrijwel geheel opgevuld.

Samenvattend: Na de afsluiting van de Haringvlietmonding (1970) reduceert de estuaria-gedreven getijstrooming naar vrijwel nul. Over het algemeen wordt de strooming in de Haringvlietmonding nu gedreven door het noordzeegetij wat een rondstroming veroorzaakt. Het water stroomt het mondinggebied in via het Slijkgat en stroomt het gebied uit door het Gat van de Hawk/Hindergat en vice versa na kentering. Initieel is deze rondstroming nog vrij groot door de nog aanwezige geulen. Door de overheersende golfenergie verplaatsen de platen landwaarts en nemen in hoogte toe. De geulen worden door deze platen langzaam weggedrukt en vullen op met sediment. Met het verdwijnen van de geulen vermindert ook de rondstroming. Vooral in de recente periode, sinds 1995, zien we dat vrijwel alle geulen dichtgedrukt worden. Alleen het Slijkgat blijft nog redelijk goed behouden.





Figuur 5.8 Overzicht van de verandering in geulligoverzicht maatgevende platen en geulen in 1952 en 1964 (uit van der Spek, 1987).

## 5.4 Volumeontwikkelingen in detail.

De volumenontwikkelingen worden in meer detail weergegeven in Figuur 6.5 en Figuur 6.6. Gemakshalve is de ontwikkeling onderverdeeld in 3 perioden:

### (1) 1964-1976: Vóór aanleg van de Maasvlakte.

Tussen 1964 en 1976 zien we grote volumeveranderingen door afsluiting van het Brielse Gat en de Haringvliet. Aan de zeewaartse zijde van Hinderplaat vindt meer dan -22 miljoen m<sup>3</sup> erosie plaats (Figuur 5.9, [3]). De Hinderplaat neemt sterk in hoogte en volume toe (16 miljoen m<sup>3</sup>; [16]). Eigenlijk vormt de hinderplaat zich als een spit die zich vanaf de Maasvlakte zuidwaarts uitstrekt. Nabij de Brielse Gat dam, in de luwte van de Maasvlakte, vindt er vooral sedimentatie plaats (3 miljoen m<sup>3</sup>, [19]). Significante sedimentatie vinden we ook ter plaatse van het Bokkegat (14 miljoen m<sup>3</sup> [15]), op de garnalenplaat (6 miljoen m<sup>3</sup> [7]), in het Rak van Scheelhoek (3 miljoen m<sup>3</sup>, [21]) en in het Slijkgat (9 miljoen m<sup>3</sup>, [10]). Nemen we de ontgrondingskuil van de bij de slufferdam niet mee (-6 miljoen m<sup>3</sup> [1]) dan neemt het volume van de monding met netto met 25 miljoen m<sup>3</sup> toe.

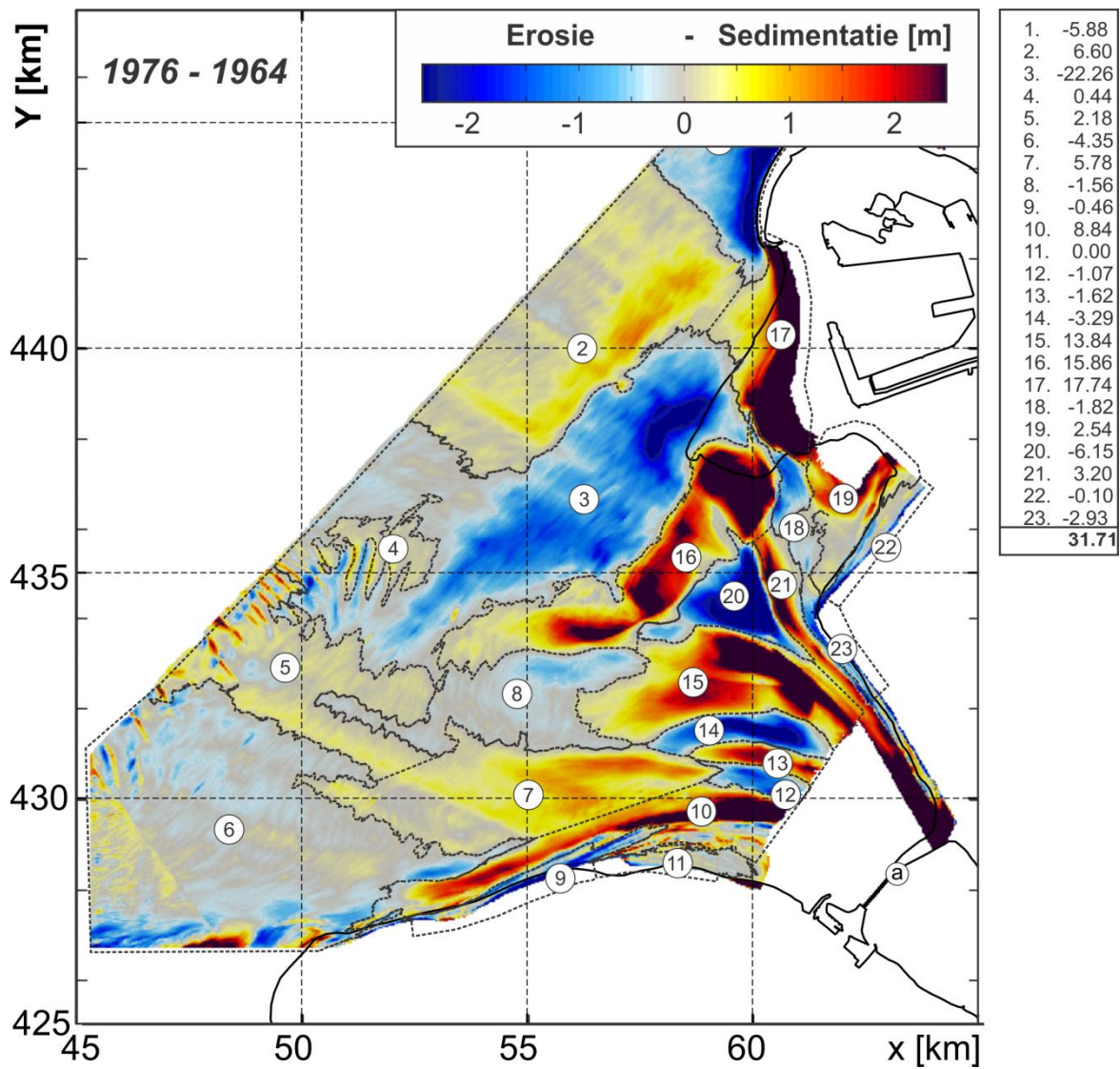
### (2) 2006-1976 aanleg van Maasvlakte.

De netto volumeveranderingen over de periode 1976-2006 (Figuur 5.10) zijn klein. Nemen we de -33 miljoen m<sup>3</sup> erosie van de ontgrondingskuil bij de Maasvlakte en van de diepe vooroever van Goeree niet mee [1,3] dan is de toename 14 miljoen m<sup>3</sup>. Het sedimentatie-erosiepatroon wordt gedomineerd door de erosie van de zeewaartse kant van de Hinderplaat (-67 miljoen m<sup>3</sup>, [2]) en sedimentatie landwaarts hiervan. Naast deze erosie vindt er ook een significante erosie plaats op de kop van de Maasvlakte (-17 miljoen m<sup>3</sup>, [1]), en op de diepere vooroever van Goeree (-16 miljoen m<sup>3</sup>, [3]). De geobserveerde plaatgroei van Hinderplaat en het opvullen van de geulen zet gedurende deze periode voort. Het Rak van Scheelhoek en Bokkegat sedimenteren met 51 miljoen m<sup>3</sup>, [7, 17] en nemen daarbij sterk in diepte af. Zowel Bokkegat als Gat van de Hawk zijn in 2006 nog nauwelijks aanwezig. Waren deze geulen nog dominante stroomgeulen in 1964, in 2006 zien we deze alleen nog als kleine geultjes die de Hinderplaat nog doorsnijden. Ook de locatie van de voormalige Middengeul is een grote sedimentatie 10 miljoen m<sup>3</sup> [13] aanwezig. Tussen de Westpaat en Voorne vind 7 miljoen m<sup>3</sup> aan opvulling plaats [6,19,20]. Het Slijkgat is met 24 miljoen m<sup>3</sup> aan sediment opgevuld [10,13].

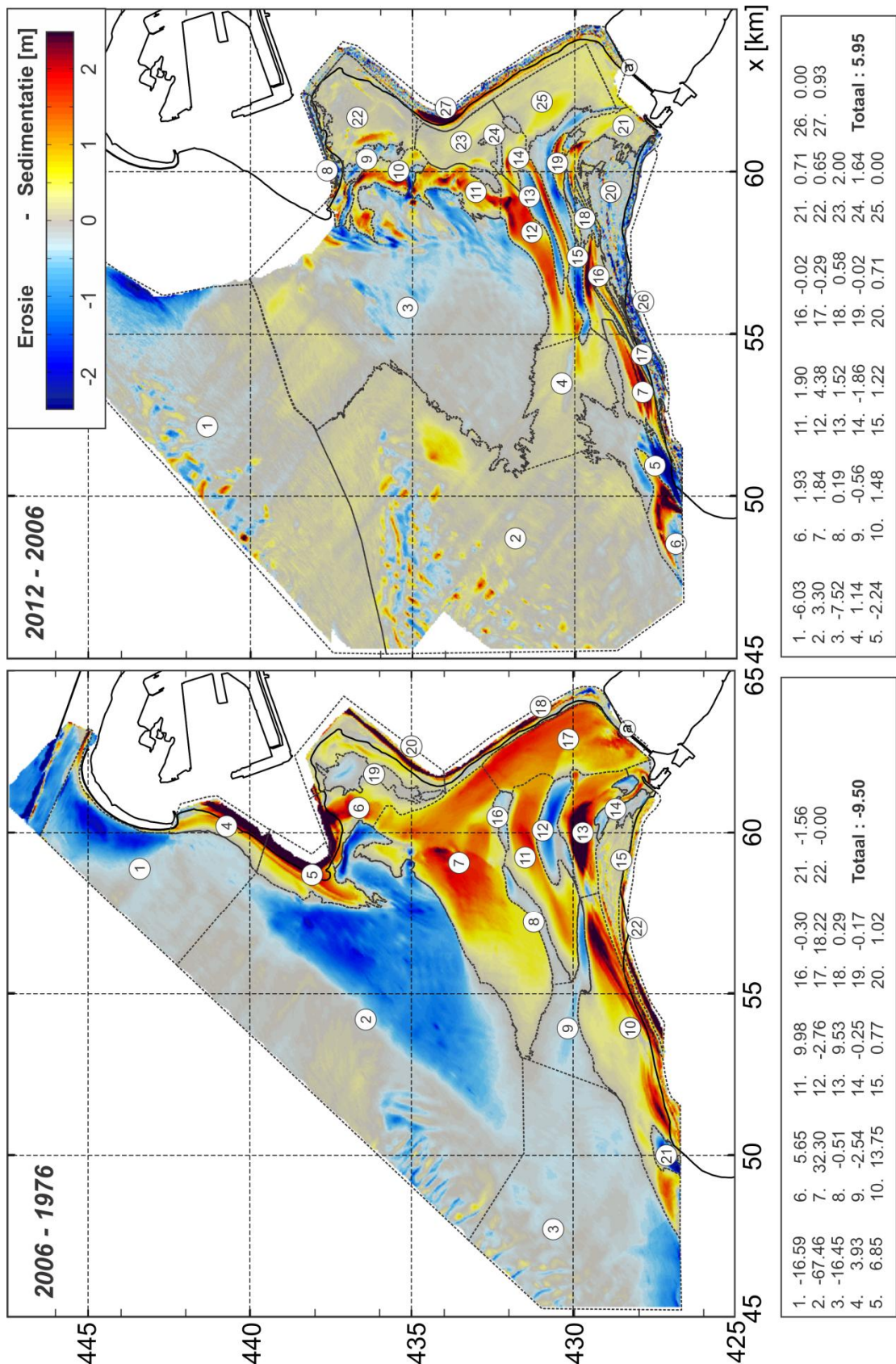
### (3) 2012-2006 sinds aanleg van de Maasvlakte2

Deze trends zetten zich door tot 2012. Ook in deze periode nemen de volumes, met uitzondering van de diepe vooroever, netto toe (9 miljoen m<sup>3</sup> [polygonen 3-27]). De belangrijkste verandering tussen de 2006 en 2012 bodem is echter de aanleg van de tweede maasvlakte.

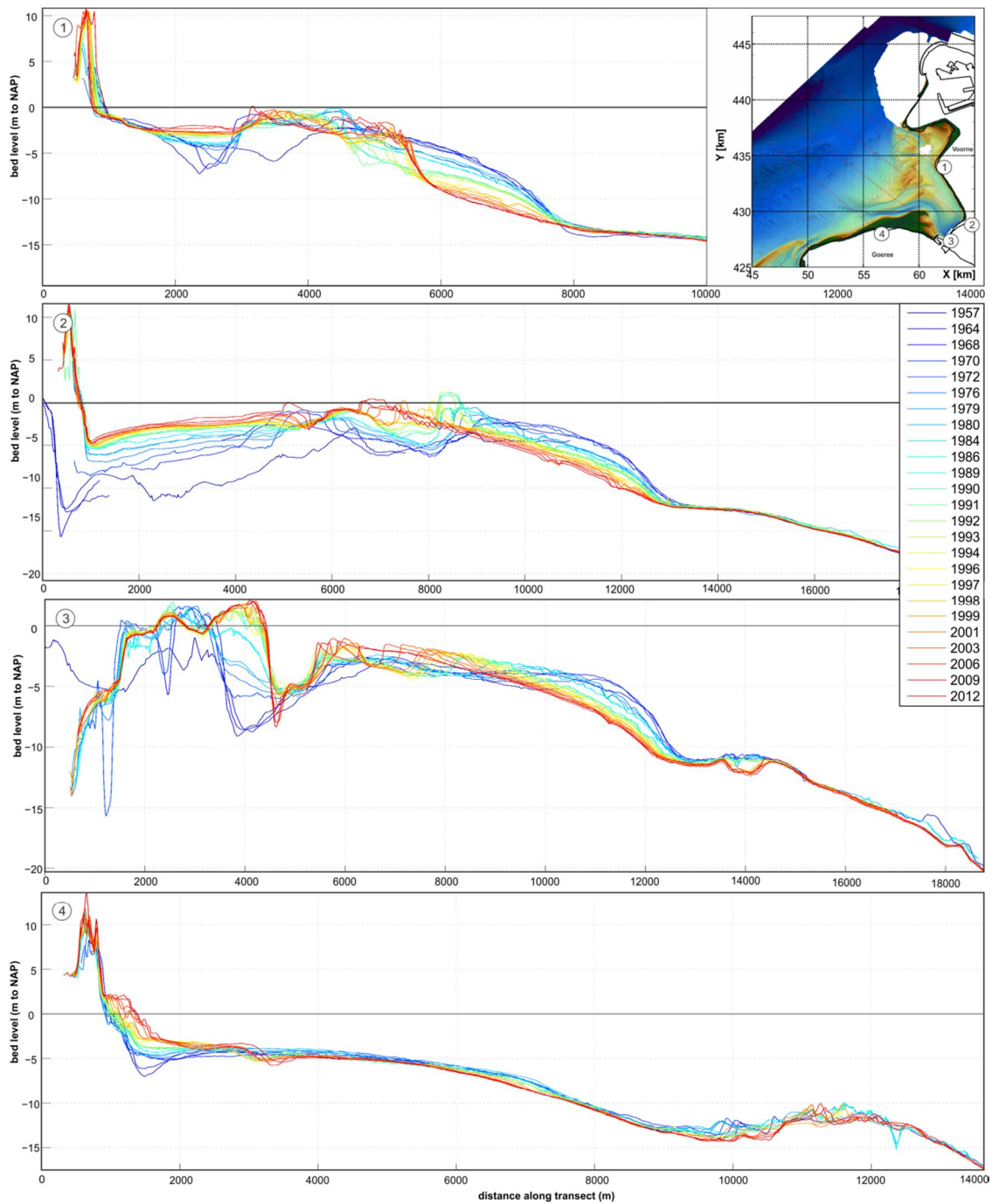




Figuur 5.9 Overzicht van de bodemverandering van de Haringvlietmonding over de periode 1965-1967 / 2010-2011.



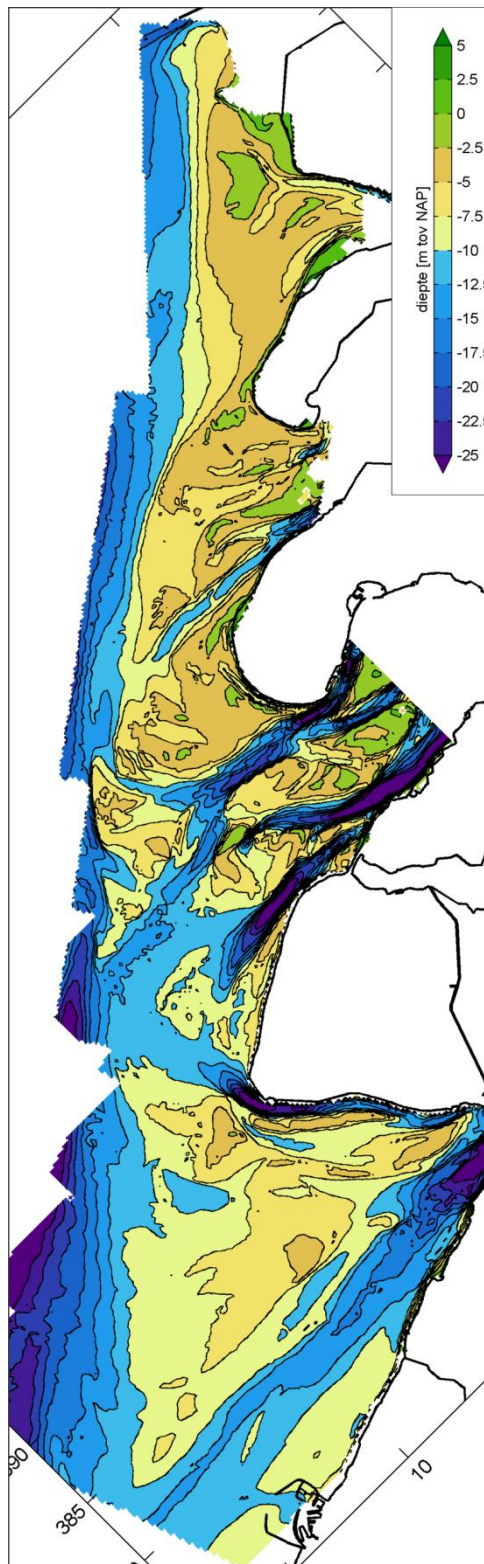
Figuur 5.10 Overzicht van de bodemverandering van de Haringvlietmonding over de periode 1965-1967 / 2010-2011.



Figuur 5.11 Overzicht van de veranderingen in bodemligging van de Haringvlietmonding over de periode 1964-2012 door middel van representatieve profielen.



## 6 Synthese; de morfodynamiek van de Voordelta



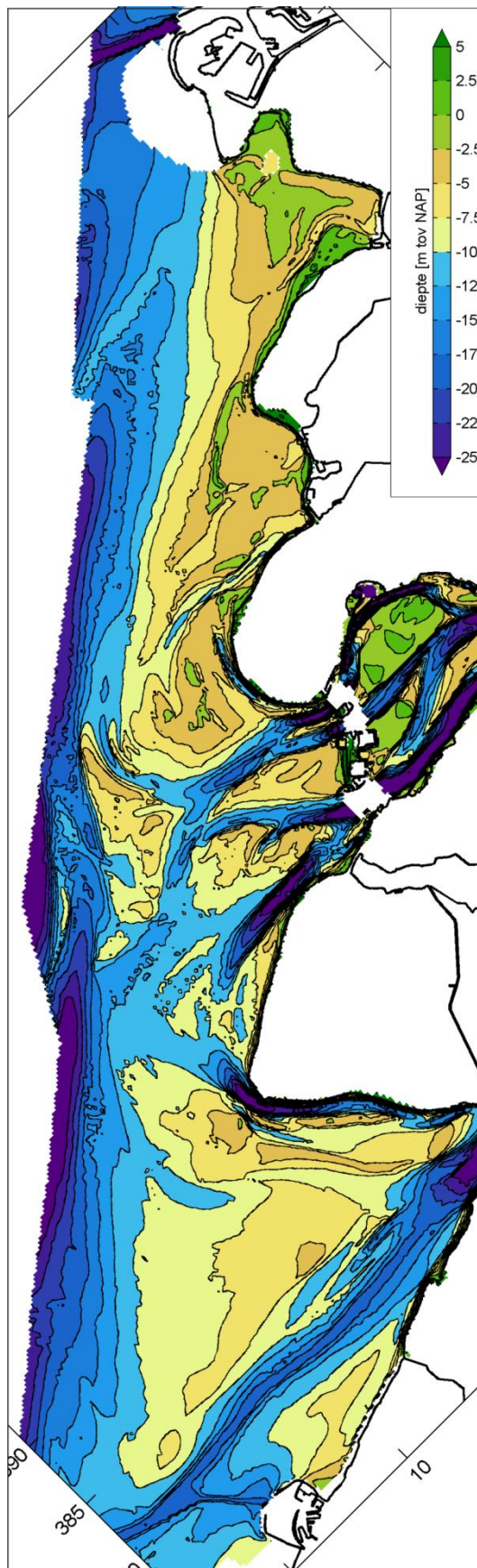
De morfologische kenmerken van de Voordelta vóór de uitvoering van het Deltaplan.

Vóór de grootschalige ingrepen tijdens de Deltawerken bestond het Deltagebied uit 4 open zeegaten en estuaria; van noord naar zuid: Haringvliet, Grevelingen, Oosterschelde en Westerschelde. Het meest noordelijke estuarium, de Brielse Maas, was al in 1950 afgedamd. Door hun grote omvang zijn de buitendelta's van deze zeegaten met elkaar vergroeid tot een aaneengesloten ondiep zeegebied: de Voordelta. De ontwikkeling van de Voordelta voor de afsluitingen in het kader van het Deltaplan werden vooral bepaald door de ontwikkelingen in de achterliggende bekkens. Door o.a. bedijking en inpoldering zijn de komberging, en daarmee het getijdgebied door de zeegaten veranderd. De morfologie van de monding en de buitendelta heeft zich onder de invloed van getij en golven hieraan aangepast.

De buitendelta's bestaan uit relatief diepe geulen en daartussen gelegen ondiepe platen. Deze configuratie ontstaat door de wisselwerking van getij en golven: de ebstroming in het zeegat vervoert zand in zeewaartse richting. Na het verlaten van het zeegat verliest de stroming snelheid en daarmee (een deel van) zijn transporterend vermogen: het zand wordt afgezet rond de geul. Hierdoor neemt de diepte af waardoor de golven vat krijgen op het zand en het weer richting kust zullen transporteren. De effecten van getij en golven houden elkaar min of meer in balans, waardoor de buitendelta niet ingrijpend zal wijzigen: het gebied is in dynamisch evenwicht. De veranderingen in de bekkens beïnvloedden de hoeveelheid water die per getij door een zeegat stroomt. Ten gevolge van bedijkingen en inpolderingen neemt het oppervlak van het bekken en daarmee het getijdgebied af. Dit resulteert in minder zandtransport in zeewaartse richting waarna de golven (die immers niet veranderen) meer zand naar de kust kunnen brengen: de buitendelta wordt kleiner. Als het getijdgebied toeneemt wordt de buitendelta groter.

*Figuur 6.1 Weergave gecombineerde bodem "1965" (gebaseerd op 1964-1967 data)*

Wel zijn er onderlinge verschillen tussen de buitendelta's. Bekkens met een groot kombergend oppervlak zoals de Ooster- en Westerschelde hebben een groot getijdebiet. De bijbehorende buitendelta's kenmerken zich door grote, diepe geulen en relatief diepgelegen plaatgebieden. De ten noorden daarvan gelegen Haringvliet en Grevelingen hadden kleinere getijdebieten en hun buitendelta's kenmerkten zich door smallere, minder diepe geulen en uitgestrekte, relatief ondiepe plaatgebieden daartussen (zie Fig. 7.1).



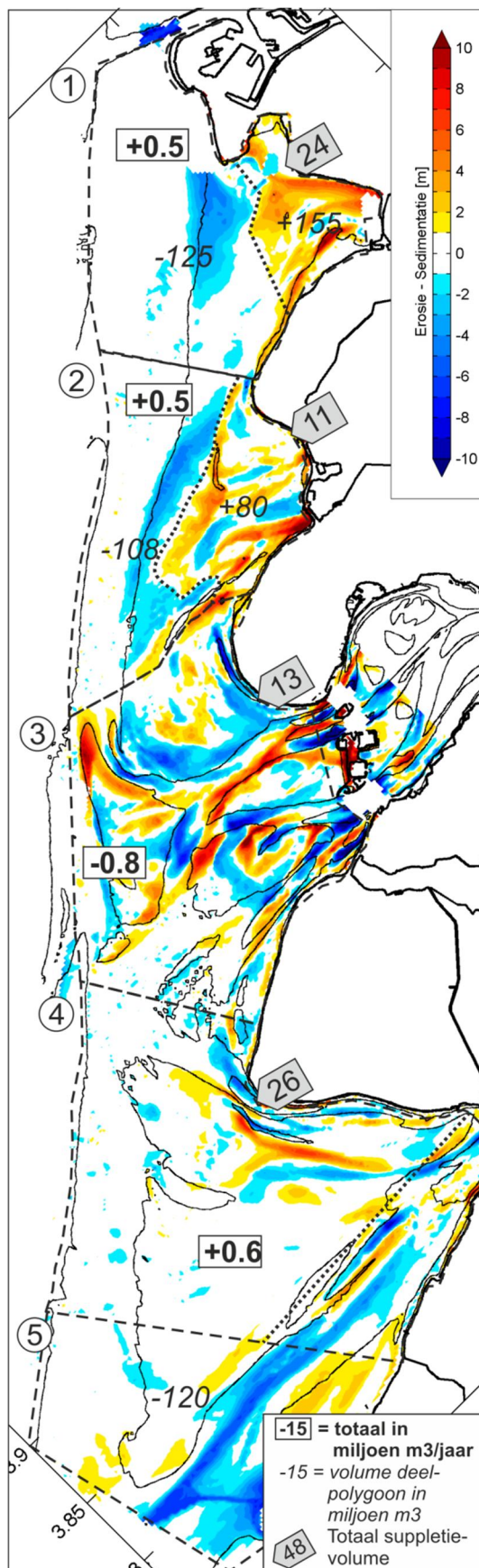
### De morfologische veranderingen na uitvoering van de Deltawerken.

Door de uitvoering van de Deltawerken, waarbij 3 van de 4 zeegaten geheel (Haringvliet en Grevelingen) of gedeeltelijk (Oosterschelde) zijn afgesloten, is de morfologie van de Voordelta sterk veranderd. Ook hebben de werken aan de noordgrens van het gebied (de aanleg van Europoort en de Maasvlakte in de 60-er en 70-er jaren van de vorige eeuw) invloed uitgeoefend, met name op de buitendelta van het Haringvliet. Toch zijn er nog sterke overeenkomsten tussen de situatie van vóór de afsluitingen (situatie "1965", Fig. 7.1) en die van daarna (situatie "2011", Fig. 7.2). De mate van verandering neemt van zuid naar noord toe. De Westerscheldemonding vertoont in beide situaties een vrijwel identieke configuratie met grote, diepe, geulen langs de kusten in het zuiden en noorden van de monding. Daartussen blijft het plaatoppervlak vrijwel behouden. De geulen zijn in grootte en diepte toegenomen, vooral onder invloed van baggerwerken in de vaargeulen (en in het estuarium). De gedeeltelijke afsluiting van de Oosterschelde heeft er toe geleid dat de geulen daar juist wat in diepte afnamen. Daarnaast zijn er grote veranderingen in de oriëntatie en diepteligging van de plaatgebieden opgetreden. De volledige afdamming van de estuaria van het Haringvliet en Grevelingen heeft er toe geleid dat de buitendelta's sterk in omvang zijn afgenomen. Met name de golfwerking heeft grote volumina zand in landwaartse richting verplaatst. De geulen zijn grotendeels ingevuld met zand en ook slib. De meest landwaartse delen van de buitendelta's zijn sterk verondiept.

Figuur 6.2 Weergave gecombineerde bodem "2011"  
(gebaseerd op 2009 – 2012 data)



Na het gereedkomen van de Haringvliet- en Grevelingendam namen de stroomsnelheden op de voorliggende buitendelta's sterk af. De waterbeweging werd nu niet meer bepaald door het kustdwarse getij maar door het noordzuidgaande Noordzeegetij. De in- en uitgaande getijstroming veranderde in rondstroming op de de buitendelta. Deze rondstroming was veel minder krachtig, waardoor de geulen hun water- en sedimentvoerende functie grotendeels verloren en verondiepten. Op de zeewaartse rand van de buitendelta overheersten nu de landwaartse golfgedreven transporten, waardoor deze buitenrand in zijn geheel landwaarts werd verplaatst, waarbij ondiep zandbanken werden gevormd. Dit concept wordt in Fig. 7.4 verder uitgewerkt.



### Opgetreden volumeveranderingen op de Voordelta over de periode 1965-2011

Door de dieptekaarten van 2011 en 1965 van elkaar af te trekken ontstaat een overzicht van de sedimentatie en erosie gedurende deze periode (Fig. 7.3). Uit deze patronen zijn de morfologische veranderingen af te leiden.

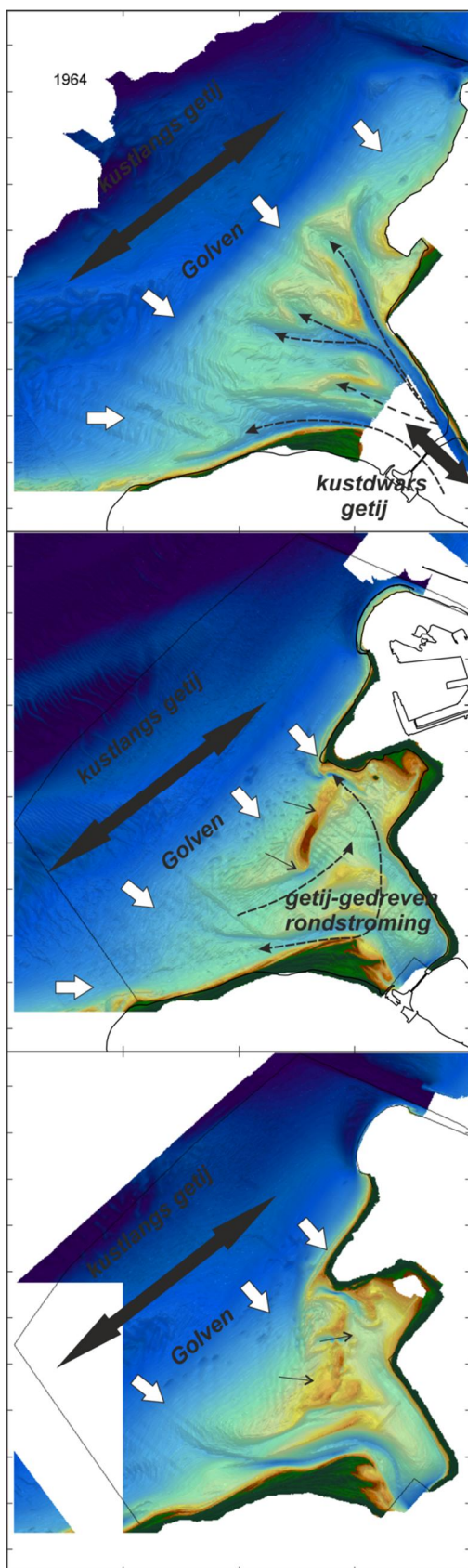
De veranderingen in het Nederlandse deel van de Westerschelde monding (met uitzondering van de Wielingen) zijn eigenlijk zeer beperkt (-0,6 miljoen  $m^3$ /jaar). Dit netto verlies wordt vooral veroorzaakt door het verdiepen van de Wielingen. Het Belgische deel van de monding vertoont significant hogere verliezen (2,6 miljoen  $m^3$ /jaar).

De voor de Oosterscheldemonding berekende verandering van -0,8 miljoen  $m^3$ /jaar is niet representatief voor de huidige trend. Dit gebied vertoonde een sterke toename in de periode 1960-1980, gevolgd door een aanzienlijke grotere afname daarna. Sinds 1980 zijn de verliezen gemiddeld 3,7 miljoen  $m^3$ /jaar. Na correctie voor suppleties (11 miljoen  $m^3$ ) komt dit verlies op -4,0 miljoen  $m^3$ /jaar.

De Grevelingenmonding vertoont een grote sedimentverplaatsing van de buitenrand naar het landwaartse deel van het mondingsgebied (respectievelijk -108 en +80 miljoen  $m^3$ ). De netto volumeverandering over het gehele gebied is beperkt tot +0,5 miljoen  $m^3$ /jaar. Het toegevoegde suppletievolumen bedraagt 11 miljoen  $m^3$ , waardoor de werkelijke netto volumetoename op 0,2 miljoen  $m^3$ /jaar komt.

De Haringvlietmonding vertoont een positieve balans (+0,5 miljoen  $m^3$  per jaar). Binnen de monding is er echter een significante sedimentverplaatsing: 125 miljoen  $m^3$  erodeert van het buitendeltafront, landwaarts wordt 155 miljoen  $m^3$  afgezet (dit is inclusief 24 miljoen  $m^3$  aan suppletievolumen).

Figuur 6.3 Volumeverandering over de periode 1965 - 2011. Contouren geven de -20 en -10m lijn van de 2011 bodem.



## Conceptueel model voor veranderingen in de de Grevelingen- en Haringvlietmonding

### Fase 1: dynamisch evenwicht

Het getij op de Noordzee vult en leegt het estuarium, dit veroorzaakt een sterk kustdwars getij in de monding. De ebstroming brengt zand naar de monding, het zand bezinkt als de snelheden zeewaarts afnemen. Brekende golven op deze ondiepten genereren landwaarts gerichte transporten. Vóór de ingrepen is er een dynamisch evenwicht tussen deze zeewaarts (getij) en landwaarts (golven) gerichte transporten.

### Fase 2: verstoring van het evenwicht.

Met het afsluiten van het estuarium verdwijnt het kustdwars getij vrijwel geheel. Het kustlangsgetij genereert nu een rondstroming door de voormalige getijgeulen. Deze rondstroming is veel zwakker waardoor de platen op de buitendelta niet langer zand aangevoerd krijgen. In het achterliggende gebied kan veel sedimentatie optreden. Slib en zand worden ingevangen in de te grote geulen en lokaal wordt sediment herverdeeld: de platen eroderen en het zand belandt in de geulen. Hierdoor zal de getijgedreven rondstroming in de tijd verder afnemen.

De landwaarts gerichte, golfgedreven transporten domineren aan de zeezijde. De ondiepe vooroever kan hierdoor sterk eroderen. Door golfwerking wordt dit zand landwaarts 'gebulldozerd'. Er ontstaat een grote kustparallelle zandbank. Dit is te beschouwen als een lokale, ondoorbroken kustlijn waar golven en het kustlangsgetij een evenwicht vormen.

### Fase 3: doorbraak en uitvlakking

Tijdelijk zal deze zandbank stabiel zijn, maar het evenwicht is fragiel. Door de beperkte breedte kunnen er gaten en doorbraken naar het achterliggende gebied ontstaan. Deze doorbraken zorgen weer voor een afbraak van de bank. Doordat het achterliggende gebied nog relatief diep zal de bank snel in hoogte afnemen.

*Figuur 6.4 Conceptueel model voor de Haringvlietmonding met 3 fasen van ontwikkeling.-*

Er ontstaat nu een complex gebied waar grote veranderingen in beperkte tijd kunnen optreden. Met iedere doorbraak wordt een micro-getijsysteem (eb-/vloedschaartjes met bijbehorende sedimentatiegebieden) gevormd, dat in de loop van de tijd weer invult en verdwijnt. Dit proces zal doorgaan tot het gehele achterliggende bekken met sediment is ingevuld.

## 7 Literatuur

Aarninkhof en van Kessel (1999). Data analyse Voordelta. Grootschalige morfologische veranderingen 1960-1996. Project Z2694, WL- Delft Hydraulics, Delft.

Cleveringa, J., (2006). Morphodynamische ontwikkeling Voordelta. Rapport Alkyon A1698.

Cleveringa, J., (2008). Morphodynamics of the Delta coast (south-west Netherlands). Quantitative analysis and phenomenology of the morphological evolution 1964-2004. Rapport Alkyon A1881.

Cleveringa (2013). Grootschalige sedimentbalans van de Westerschelde. Project LTV Veiligheid en Toegankelijkheid; LTV V&T-RAPPORT K-17. Rapport 076945827:0.4 – Definitief, Arcadis.

Croqué, J., (1998). Onderzoek naar de oorzaak van de erosie aan de zuidwestkust van Walcheren, deel 1 & 2. Werkdocument RIKZ/OS98.876x, Rijksinstituut voor Kust en Zee.

Duin, R.N.M., (2005). Trends in de zandhuishouding van het Nederlandse kuststelsel. Werkdocument RIKZ/KW/2005.132w, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ.

Eelkema, M., (2013). Eastern Scheldt Inlet Morphodynamics. Proefschrift TU Delft.

Enckevoort, I. van, (1996). Morfologisch onderzoek Westerscheldemonding; deel 2 Morfologische ontwikkeling van de Westerschelde monding sinds 1800, Universiteit Utrecht IMAU rapport R 96-21.

Haecon (2006). Actualisatie van de zandbalans van de Zee- en Westerschelde. Rapport 1249760008/lvp.

De Kruif, A.C., (2001). Bodemdieptegegevens van het Nederlandse kuststelsel, beschikbare digitale data en een overzicht van aanvullende analoge data. Rapport RIKZ/2001.041, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ.

Nederbragt, G., (2006). Zandvoorraden van het kuststelsel, onderbouwing van een conceptueel model met behulp van trends van de winst- en verliesposten over de periode 1973-1997. Rapport RIKZ/2005.033. Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ.

Steijn, R.C., van der Spek, A.J.F. (2005). Mogelijkheden voor geulwandversterking of verlegging Oostgat/Sardijngeul. Verslag van bureaustudie. Rapport Alkyon A1431.

Slikke, M.J. van der (1997). Grootschalige zandbalans van de Westerscheldemonding (1969-1993), een inventarisatie van dieptegegevens (1800-1996). Rapport R97-18, IMAU, Utrecht.

Slikke, M.J. van der (1999). Invloed van stormen op de zuidwest kust van Walcheren; uitwerking van de meetcampagne 1997/1998, Rapport IMAU, Utrecht.

Spek, A. van der (1997). De geologische opbouw van de ondergrond van het mondinggebied van de Westerschelde en de rol hiervan in de morfologische ontwikkeling. Rapport NITG 97-284B.

Taal, M., Wang, Z.B., Cleveringa, J. (2013). LTV Veiligheid en Toegankelijkheid. G-13: Synthese en conceptueel model. Basisrapport grootschalige ontwikkeling. Rapport 1207720-000, Deltares.

Berg, J.H. van den, (1984). Morphological changes of the ebb-tidal delta of the Eastern Scheldt during recent decades. *Geologie en Mijnbouw*, 63: 363-375.

van der Spek (1987). Beschrijving van de ontwikkeling van de buitendelta's van Haringvliet en Grevelingen. nota GWAO-87.10S. Ministerie van verkeer en waterstaat, Rijkswaterstaat. Dienst getijdewateren.

Verhagen, H.J., van Rossum, H. (1989). Kustverdediging na 1990, Technisch Rapport 12: Strandhoofden en paalrijen: evaluatie van hun werking. Min V&W, Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, 's-Gravenhage.

Vermaas et al (2014). Evaluatie verlegging Krabbegat 1987/1991/1996. Rapport 1209381-001, Deltares.

Walburg, L. (2005). Zandvolumes in het Nederlandse kuststelsel. Werkdocument RIKZ/KW/2005.133w. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat- RIKZ, Den Haag.

Winter (2014). Morphological development of the Haringvliet ebb tidal delta since 1970. A study based on the morphological development of individual morphological units. Afstudeerrapport Universiteit Utrecht.



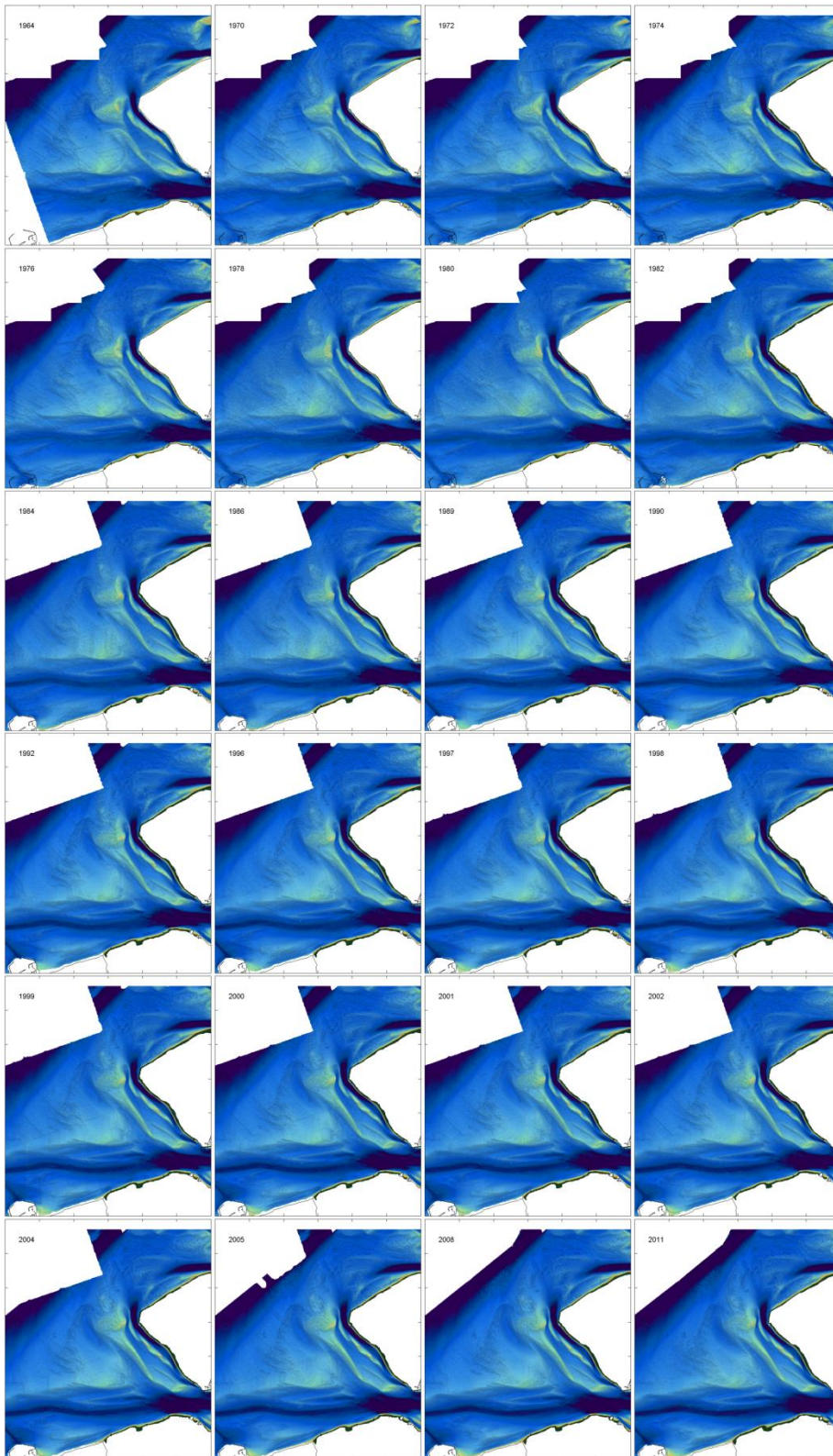


## A Beschikbare bodemgegevens

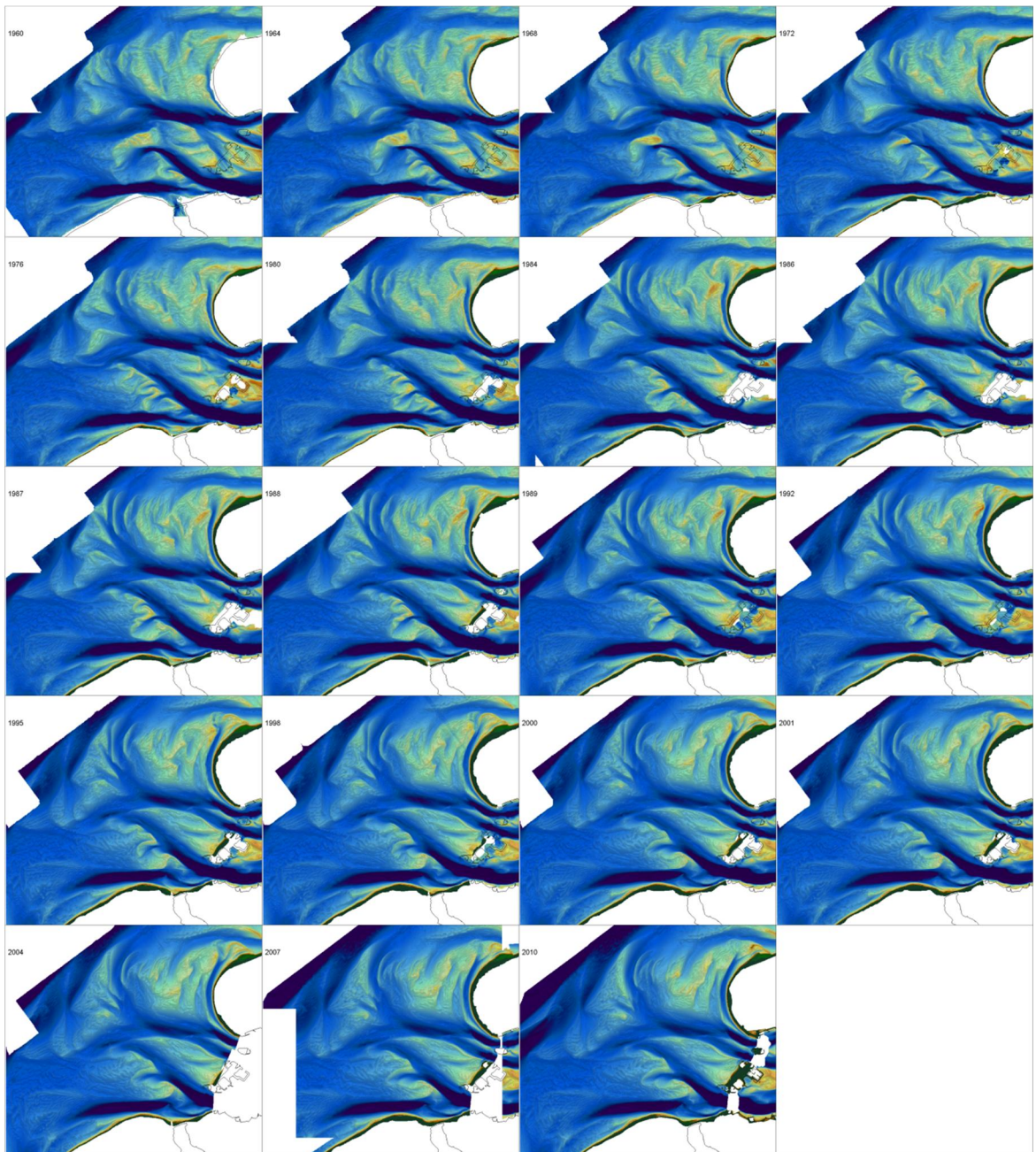
Tabel A.1 overzicht van de beschikbare jaren van bodemdata voor de verschillende deelsystemen. Deeljaren geeft de samenstelling van de data weer.

Westerschelde		Oosterschelde		Grevelingen		Haringvliet	
jaar	deeljaren	jaar	deeljaren	jaar	deeljaren	jaar	deeljaren
1964	1964	1960	1960	1964	1964	1957	1957
1970	1970+1969 +1968	1964	1964	1968	1968	1964	1964
		1968	1968	1972	1972	1968	1968
1972	1972	1972	1972	1976	1976	1970	1970
1974	1974+1975	1976	1976	1980	1980	1972	1972
1976	1976+1975	1980	1980	1984	1984	1976	1976
1978	1978+1979	1984	1984	1988	1988+1989	1979	1979
1980	1980	1986	1986	1989	1989+1988	1980	1980
1982	1982+1981	1987	1987+1986	1991	1991+1992	1984	1984
1984	1984+1985	1988	1988+1987	1996	1996+1995	1986	1986
1986	1986+1985	1989	1989+1988		+1997	1989	1989
1989	1989+1990	1992	1992	1998	1998	1990	1990+
1990	1990+1989	1995	1995+1994	1999	1999+1998		1989_1991*
1992	1992+1993	1998	1998+1997	2000	2000	1991	1991+1990
1994	1994+1993	2000	2000+2001	2004	2004		1989_1992*
1996	1996+1995	2001	2001+2000	2006	2006+2007	1992	1992+
1997	1997+1998	2004	2004		2004_2010*		1992_1994*
1998	1998+1997	2007	2007	2010	2010+2009	1993	1993+
1999	1999+2000+ 1998	2010	2010			1994	1994+
							1993_1996*
2000	2000+2001					1996	1996+
2001	2001+2002						1994_1997*
2002	2002+2001					1997	1997+
2004	2004+2003						1996_1998*
2005	2005					1998	1998
2008	2008					1999	1999
2011	2011					2001	2001+
							1999_2003*
						2003	2003+
							2001_2006*
						2006	2006+
							2003-2009*
						2009	2009
						2012	2012

\* bij het Haringvliet zijn de data na 1990 geïnterpoleerd tussen de jaren om volledige dekking te verkrijgen.

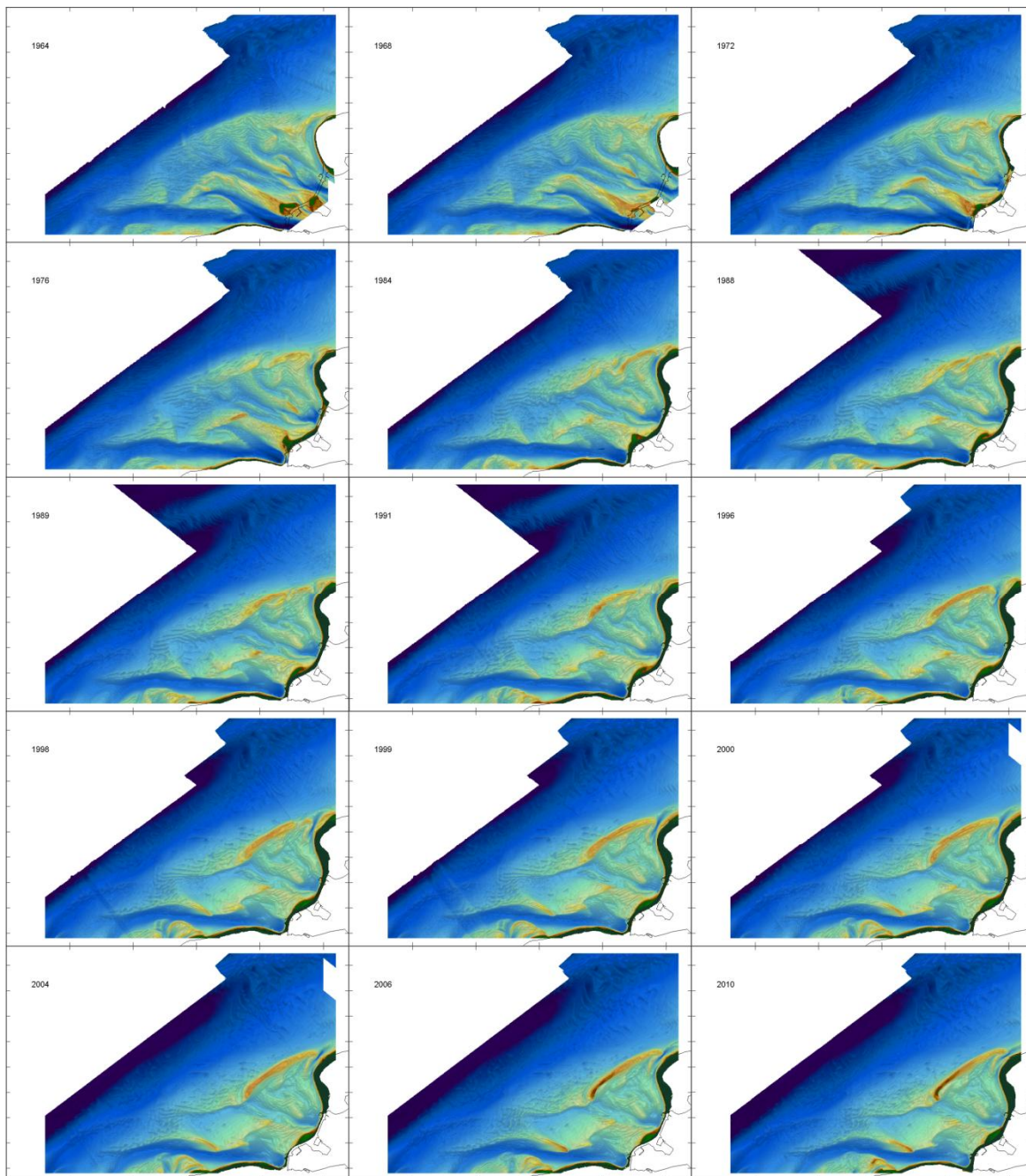


*Figuur A.1 Samengestelde (geselecteerde) kaarten Westerscheldedemonding*



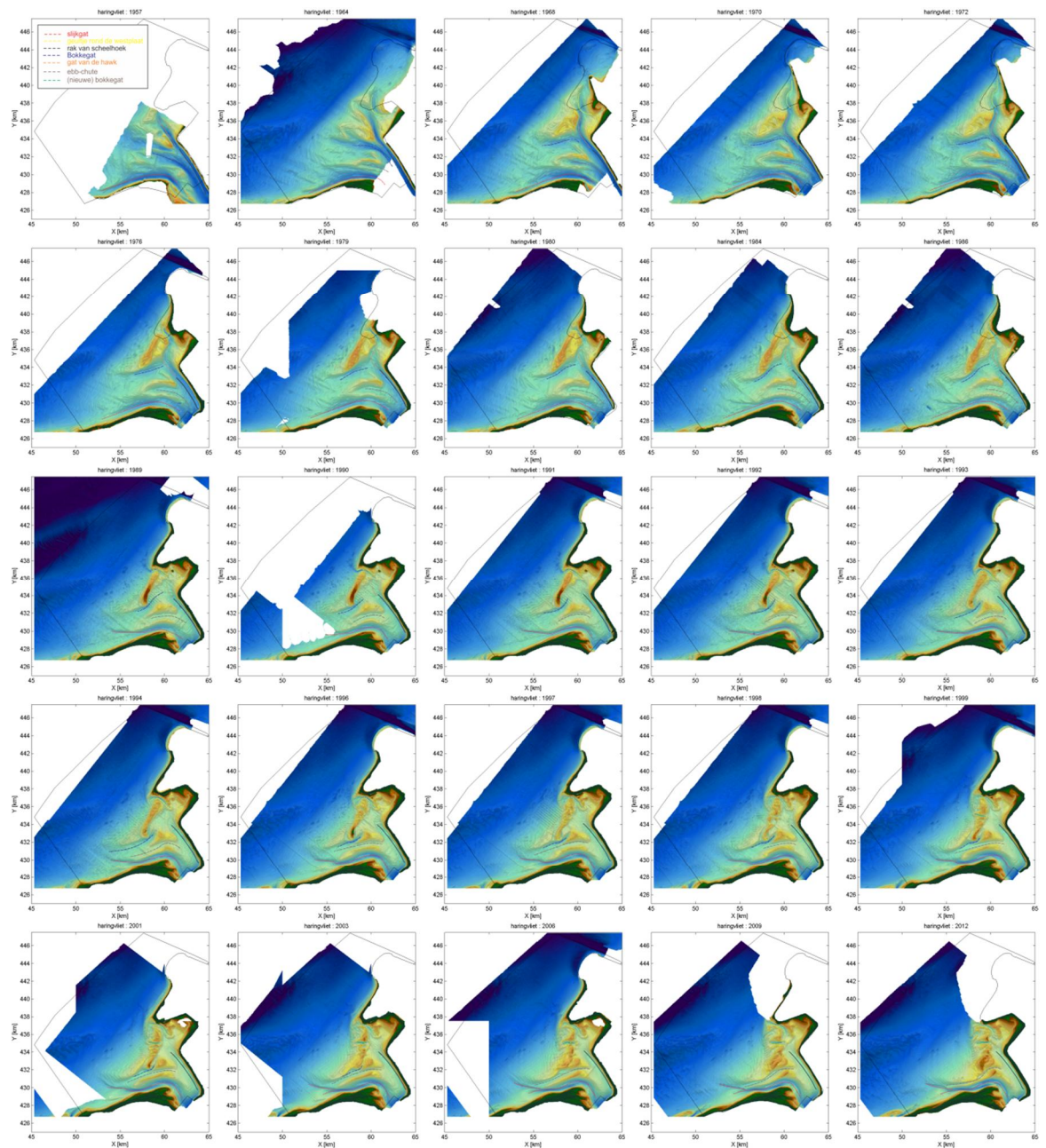
Figuur A.2 Samengestelde (geselecteerde) kaarten Oosterscheldemonding





Figuur A.3 Samengestelde (geselecteerde) kaarten Grevelingenmonding



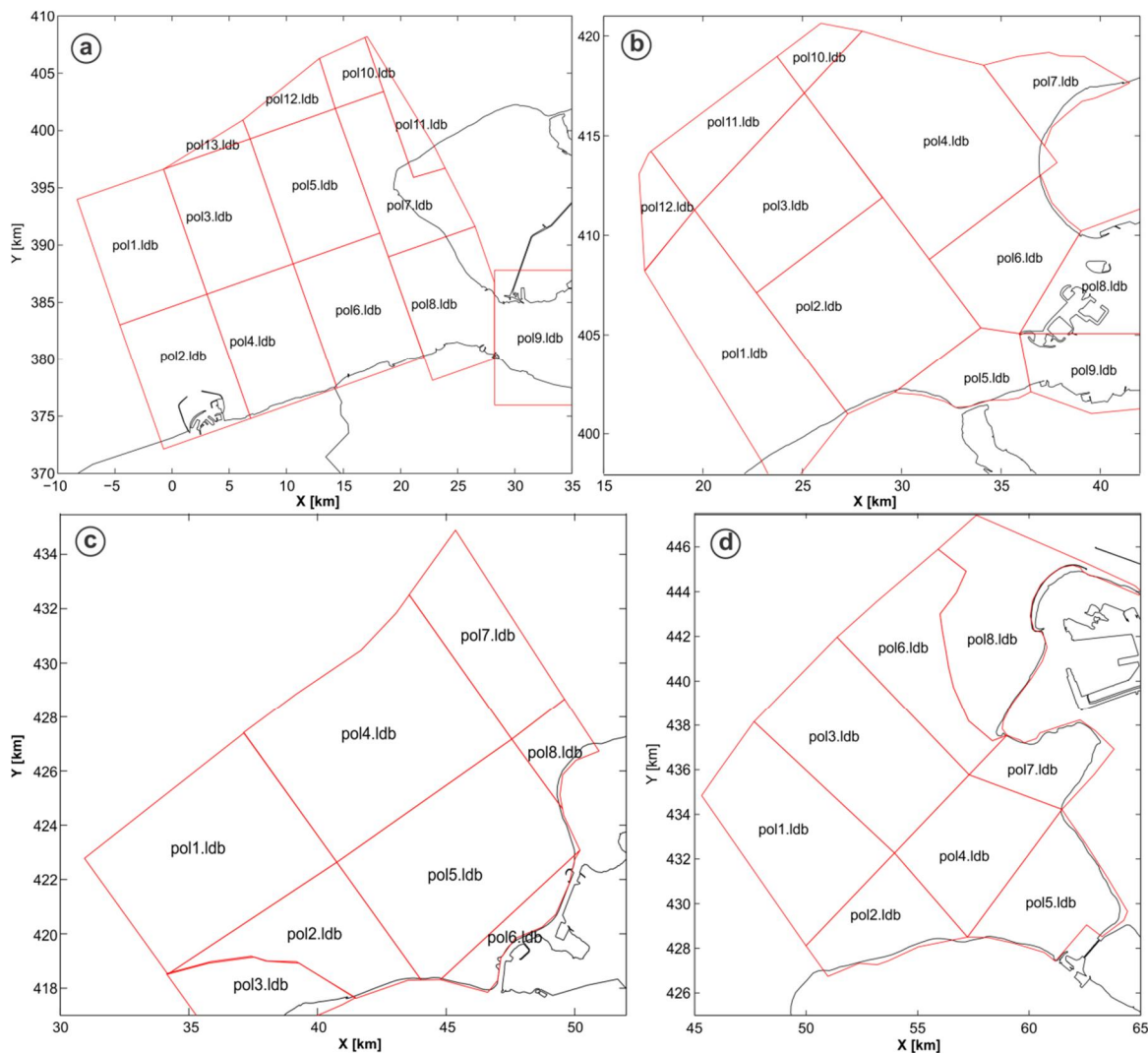


Figuur A.4 Samengestelde (geselecteerde) kaarten Haringvlietmondning (inclusief indicatie geulligging)

## B Onderbouwing Sedimentbudget

### B.1 Overzicht

In Hoofdstuk 2 zijn de sedimentbalansen voor het gehele deelgebieden bepaald. Iedere deelpolygoon bestaat uit een aantal Zeeuwse lodingsvakken. In deze paragraaf bekijken we de sedimentbalans in meer detail door de volumeverandering per Zeeuws lodingsvak te bepalen (Figuur B.1). Deze detailanalyse heeft twee grote voordelen. Ten eerste, onnauwkeurigheden door het samenstellen van representatieve jaren (zie Tabel A.1) worden hierdoor voorkomen. Ten tweede, door gebruik te maken van de individuele lodingsvakken is het beter mogelijk onrealistische waarden in de data te herkennen en te verwijderen uit de analyse. Figuur B.1 geeft een overzicht van de verschillende lodingsvakken gebruikt voor de nadere uitwerking van de sedimentbudget studie zoals gepresenteerd in deze appendix.



Figuur B.1 Overzicht van de gebruikte polygoonen in de volumebepaling voor de monding van de (a) Westerschelde, (b) Oosterschelde, (c) Grevelingen en (d) het Haringvliet.

## B.2 Westerscheldemonding

Het is eigenlijk niet mogelijk een geheel sluitend sedimentbudget van de Westerscheldemonding te maken. Aan de zuidzijde is er geen gesloten grens te definiëren. De Westerscheldepolygoon zoals weergegeven in Figuur 3.1 omsluit slechts het Nederlandse gedeelte van de monding. De grootschalige (en dominante) volumeveranderingen van de Wielingen zijn hierin slechts beperkt meegenomen. Conclusies over volumeafname of –toename zijn op basis van dit beperkt gebied eigenlijk niet representatief voor het gehele systeem. In deze paragraaf bepalen we de volumebalans gebaseerd op de deelpolygoon zoals weergegeven in Figuur B.1a. Deze polygoon geven een optimale dekking van de meetdata. In de bovenste 2 deelfiguren van Figuur B.2 en Figuur B.3 wordt de totale volumeontwikkeling weergegeven voor het Nederlandse deel (polygoon 3-8) en inclusief het Belgische deel (polygoon 1-8). Polygoon 9 tot 13 zijn niet meegenomen in de analyse. Deelpolygoon 9 maakt geen deel uit van de monding, maar is onderdeel van het Westerschelde estuarium. Deelpolygoon 9-13 hebben inconsistente data of zijn slechts beperkt gevuld. In beide figuren is de volumeontwikkeling van de ‘ruwe’ en gecorrigeerde data weergegeven. In Figuur B.2 is een correctie uitgevoerd, waarbij onrealistische bodemveranderingen op basis van visuele inspectie van de bodemdata zijn verwijderd (ongeveer 5% vd data). Figuur B.3 geeft de volumeveranderingen na een aanvullende correctie op basis van onrealistische trends in de volumeverandering (17% vd data). Na het verwijderen van de onrealistische data is de missende waarde opgevuld met het gemiddelde van de omliggende waarden. Deze uitgebreide correctie geeft een significant ander beeld van de opgetreden volumeontwikkeling (Tabel B.1 en Tabel B.2). Gezien de grote verschillen tussen de ruwe data en de 2 correctiemethoden is een verdere uitwerking benodigd. Het beeld na uitgebreide correctie is consistent met de conclusies van Cleveringa (2006).

Op basis van de ruwe data zien we dat het sedimentvolume in de periode 1962 en 1976 sterk toeneemt met 108 miljoen m<sup>3</sup> en 134 miljoen m<sup>3</sup> voor pol. 3-8 en pol. 1-8 respectievelijk. Tussen 1976 en 1986 nemen de volumes dan weer sterk af. Sinds 1990 is er een vrijwel continue trend van erosie. Rond 1986 zien we een dip in de meetreeks. Het verloop van de sedimentvolumes door de tijd maakt het moeilijk hier een coherente trend voor te bepalen. Op basis van de periode 1964-2011 is de trend over de gehele periode -2 miljoen m<sup>3</sup>/jaar, over de periode 1989-2011 -2.6 miljoen m<sup>3</sup>/jaar, en over de periode 1997-2011 -0.7 miljoen m<sup>3</sup>/jaar. Als we alleen naar de begin- en eindbodem kijken (2011 -1964) geeft dit een trend van -0.8 miljoen per jaar (zie Hoofdstuk 3). Gezien het grillige volumeverloop en inconsistentie in het sedimentbudget (het sediment moet ergens naar toe of ergens vandaan komen) is het zeer waarschijnlijk dat de data beïnvloedt wordt door meeton nauwkeurigheden. Correcties 1 en 2 corrigeren voor deze meeton nauwkeurigheden.

Tabel B.1 Overzicht volumeverandering en trends voor polygoon 3-8

Periode		Volumes ( $10^6 \text{ m}^3$ )			Trend ( $10^6 \text{ m}^3/\text{jaar}$ ) *		
begin	eind	Ruw	Corr. 1	Corr. 2	Ruw	Corr. 1	Corr. 2
1964	2011	-38	-27	27	-2.0	-1.4	+0.5
1964	1978	108	79	50	+8.0	+5.8	+0.8
1978	2011	-146	-106	-23	-3.2	-2.6	-0.4
1992	2011	-35	-47	-16	-0.7	-2.2	-0.3
2002	2011	-15	-27	-15	-3.0	-2.9	-2.1

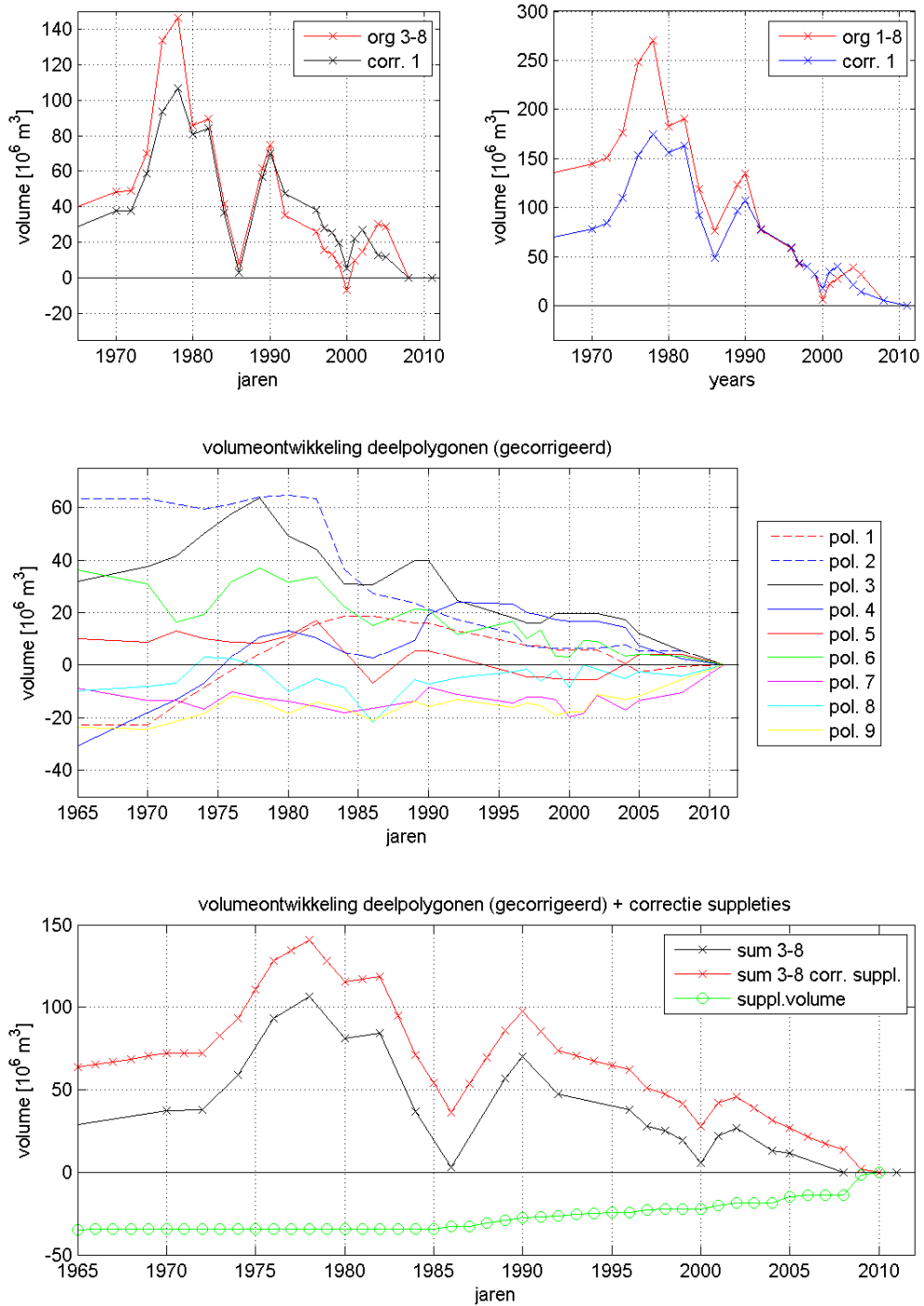
Tabel B.2 Overzicht volumeverandering en trends voor polygoon 1-8

Periode		Volumes ( $10^6 \text{ m}^3$ )			Trend ( $10^6 \text{ m}^3/\text{jaar}$ ) *		
begin	eind	Ruw	Corr. 1	Corr. 2	Ruw	Corr. 1	Corr. 2
1964	2011	-134	-68	+4	-4.9	-2.8	-0.5
1964	1978	114	107	78	10	7.8	5.6
1978	2011	-270	-175	-73	-6.9	-5.1	-2.5
1992	2011	-77	-78	-47	-2.8	-3.4	-1.6
2002	2011	-27	-40	-28	-4.1	-4.1	-3.4

\*De lineaire trend door de meetdata over de geselecteerde periode is bepaald. De trendwaarde geeft de helling vd trendlijn.

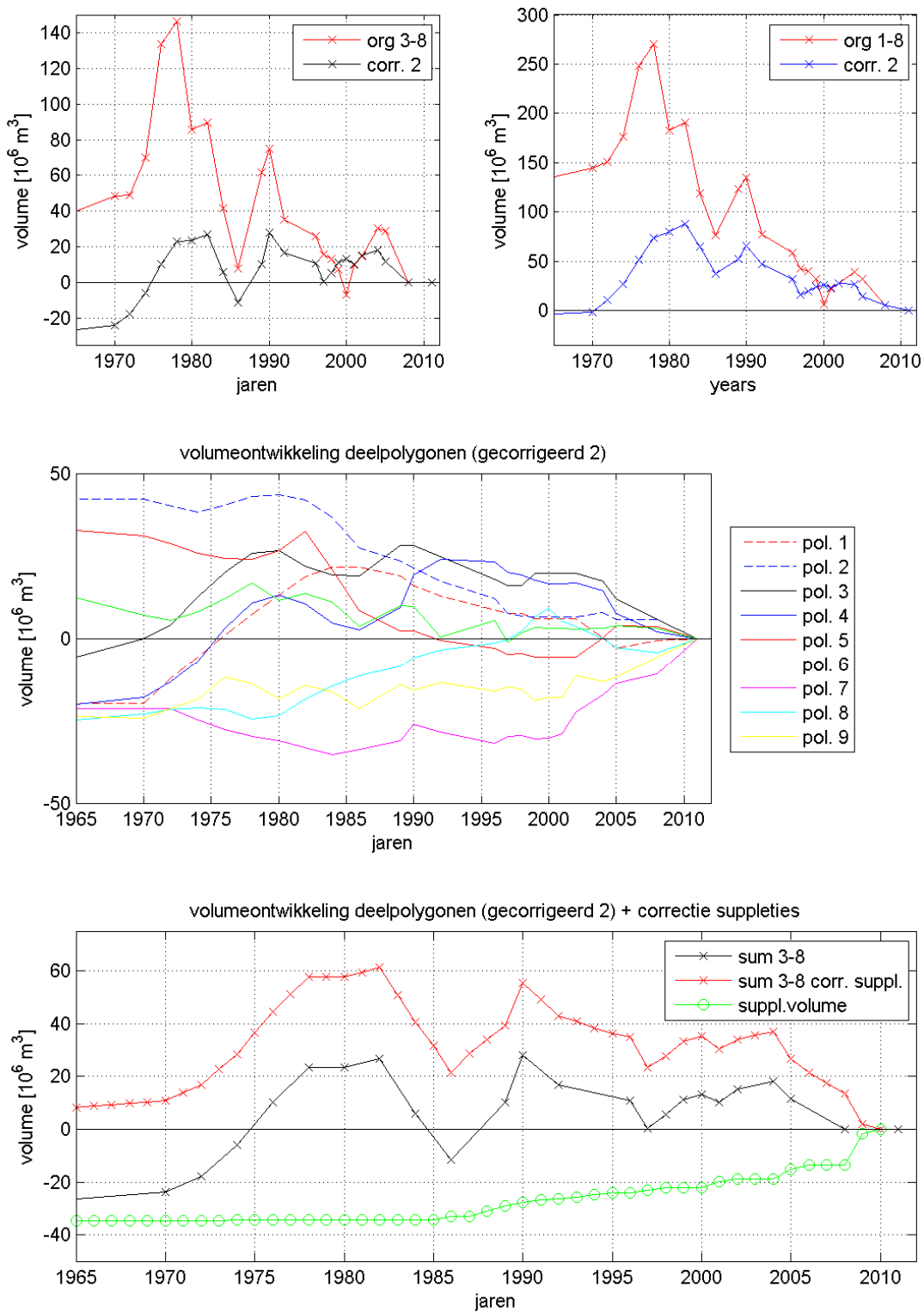
De volumeontwikkelingen per deelpolygoon (zie de middelste deelfiguur in Figuur B.2 en Figuur B.3 geven meer inzicht in de opgetreden ontwikkelingen. Deze staan hieronder samengevat

Pol	Ontwikkeling	Correctie 1	Correctie 2
1	Sterke volume toename tot 1984, daarna continue trend van erosie Geldt voor alle data ruw en gecorrigeerd. Correctie alleen op piek 1980. Deze correctie geeft een verschil van 20 miljoen	1980 -16 miljoen m3	1980; 1990 -23 miljoen m3
2	Stabiel tot 1978 daarna continue erosie.	1984 -37 miljoen m3	1980;1984; 1992; 2000 -58 miljoen m3
3	Toename tot 1978; daarna erosie; (toename in 2004 is onrealistisch	2004 +30 miljoen m3	1980;1992;2004 -8 miljoen m3
4	Toename tot 1978 daarna afname. Na correctie ander beeld. Toename tot 1992. Daarna erosie	1970 -19 miljoen m3	1970; 1980;1992 -32 miljoen m3
5	Afnemend volume over de gehele periode. Door correctie afvlakking pieken.	1976;1980;2008 -8 miljoen m3	1972;1976;1980;2008 1989; 1996 -14 miljoen m3
6	Continue erosie. Door correctie intiele toename daarna erosie.	-	1972;1978;1984;1999; 2001;2004 - 57 miljoen m3
7	Vrij stabiel tot 2000 – 2004 daarna sterke toename (suppleties?)	-	1970;1976;2000;2004 - 13 miljoen m3
8	Sterk fluctueerend in de originele data. Na correctie voornamelijk toenemend tot 2000 en daarna erosie.		1976;1984;1986;1989 1998;2000;2001;2005 - 15 miljoen m3



Figuur B.2 Volumeverandering van de Westerscheldemonding (polygonen 3-8) t.o.v. de 2011 meting na uitvoering van correctie 1.





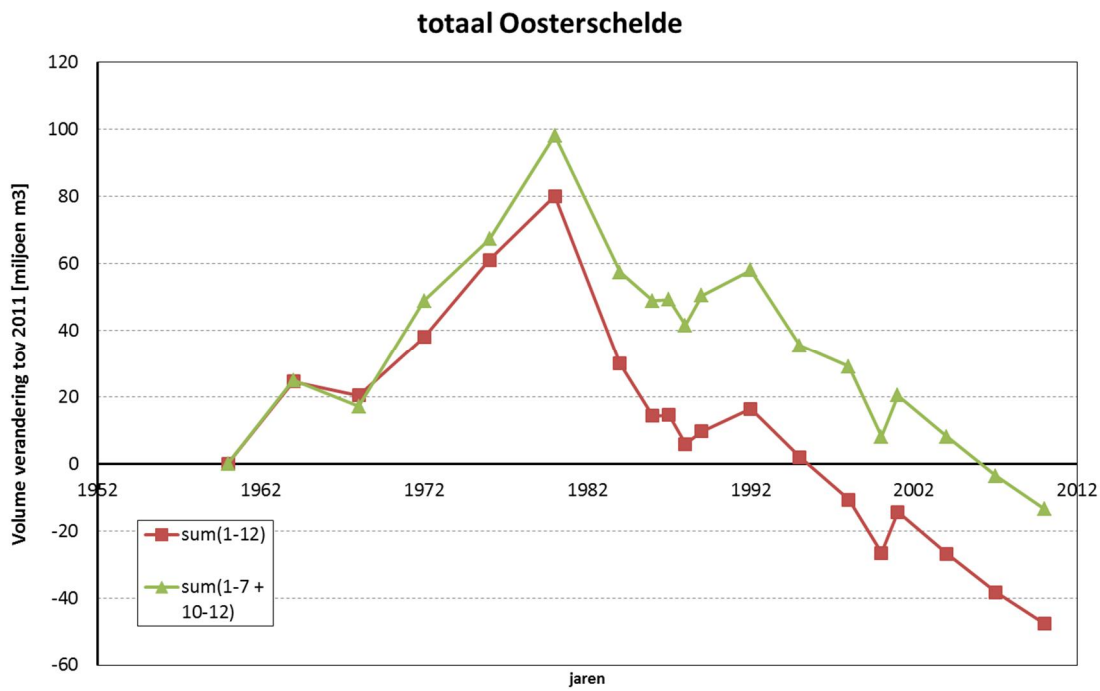
Figuur B.3 Volumeverandering van de Westerscheldedemonding (polygonen 3-8) t.o.v. de 2011 meting na uitvoeren correctie 2.

### B.3 Oosterscheldemonding

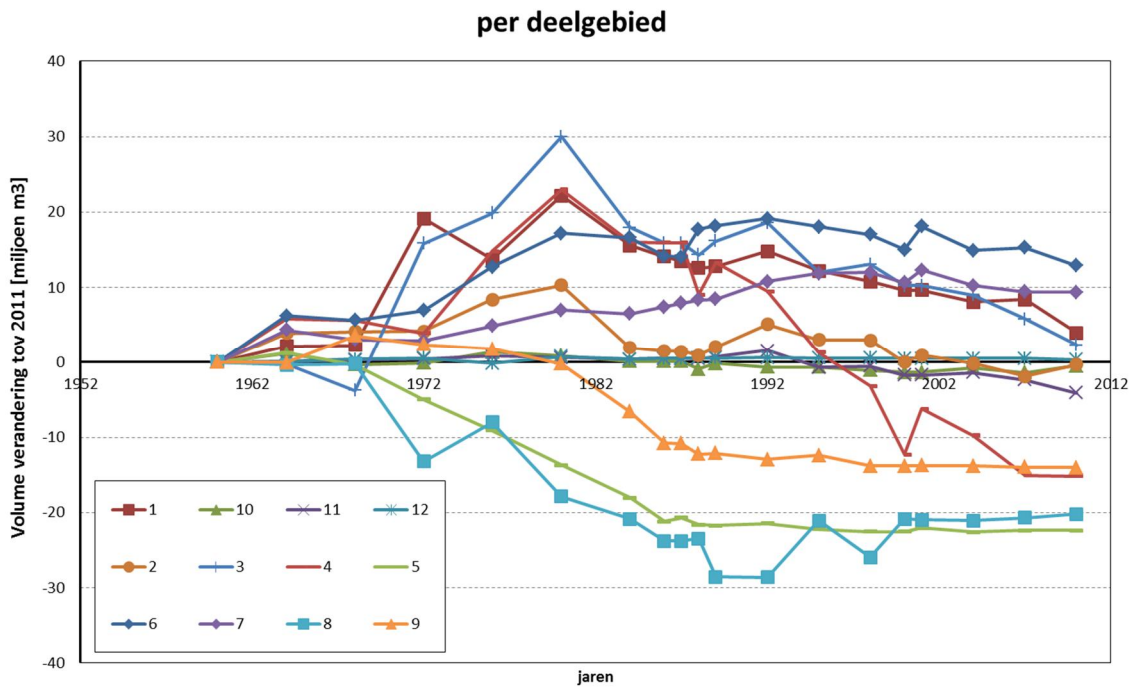
De volumeontwikkeling door de tijd wordt weergegeven in Figuur B.4. De twee verschillende lijnen geven de volumeveranderingen inclusief [sum(1-12)] en exclusief [sum(1-7+10-12)] de ontgrondingskuilen ter plaatse van de Oosterscheldewerken (polygoon 8,9). Polygoon 8 en 9 behoren eigenlijk niet tot de monding. Onderstaande analyse beperkt zich daarom tot [sum(1-7+10-12)].

Eigenlijk is de netto volumeverandering over de periode 1960-2010 klein ten opzichte van de bruto verandering. Identiek aan de Westerscheldemonding neemt ook hier het volume initieel toe. Deze volumetoename bedraagt bijna 100 miljoen m<sup>3</sup>. De waarde van 1980 ligt significant hoger dan de omliggende waarden en wordt vrijwel geheel veroorzaakt door volumetoenames in het centrale gedeelte van de buitendelta. Polygonen 1, 2, 3, 4 en 6 nemen in volume toe. Deze volumetoename, geconcentreerd bij de monding van de geulen is consistent met de theorie van Van den Berg (1984) en Eelkema (2013). Deze auteurs geven aan dat er tussen 1965 en 1985 juist een toename van de sedimentexport optreedt ten gevolge van de afsluitingen in het bekken (Volkerakdam) en van de Grevelingen. Het is echter niet duidelijk of er een samenhang is tussen de piek in Westerschelde en Oosterschelde en wat dan de achterliggende mechanismen zijn.

In de periode na 1980 nemen de volumes vervolgens weer af met 111 miljoen m<sup>3</sup>. Deze erosie vindt eigenlijk plaats in 2 stappen. Tussen 1980 en 1984 verliest de buitendelta al 40 miljoen m<sup>3</sup> sediment. Deze erosie vindt plaats over vrijwel de gehele buitendelta. Het volume blijft dan stabiel tot 1992 (daalt en stijgt). De erosie in de meeste polygonen is hier dan gestabiliseerd. Vanaf 1992 is er weer een doorgaande trend van erosie. De gehele buitendelta verliest daarbij sediment. De 31 miljoen m<sup>3</sup> erosie van de Banjaard (land), polygoon 4, is vrijwel gelijk aan het gecombineerde verlies van de rest van de buitendelta (32 miljoen m<sup>3</sup>, polygonen 1,2,3).



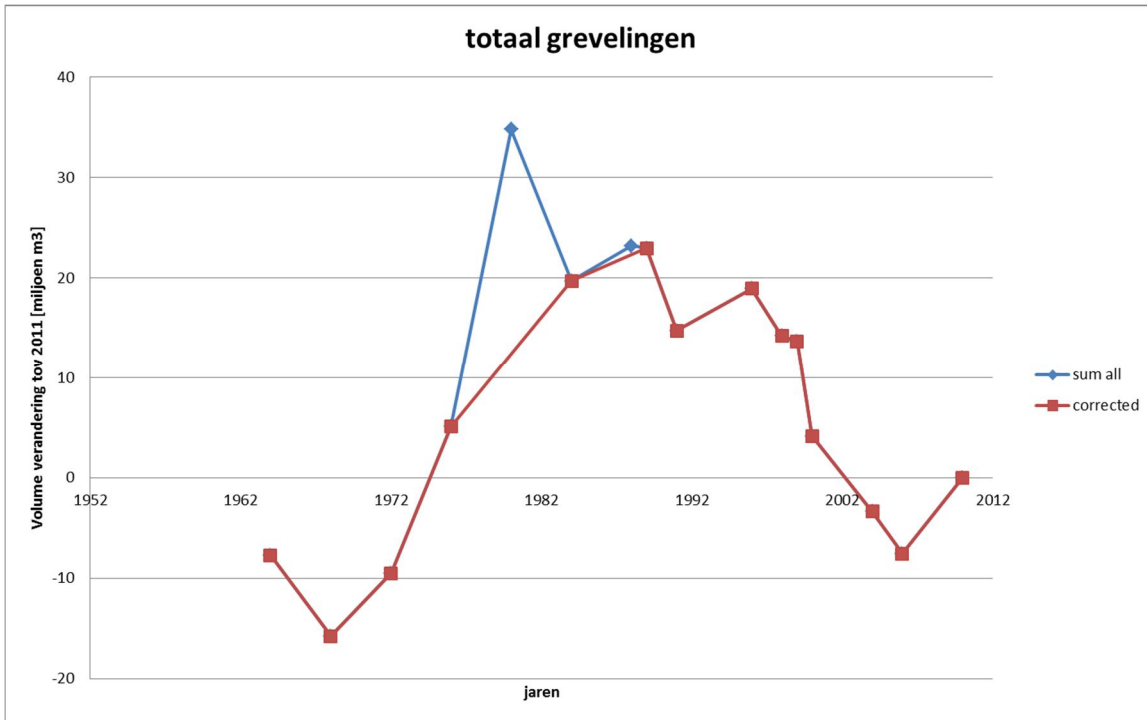
Figuur B.4 Volumeverandering van de Oosterscheldemonding (polygonen 3-8) t.o.v. de 2011 meting.



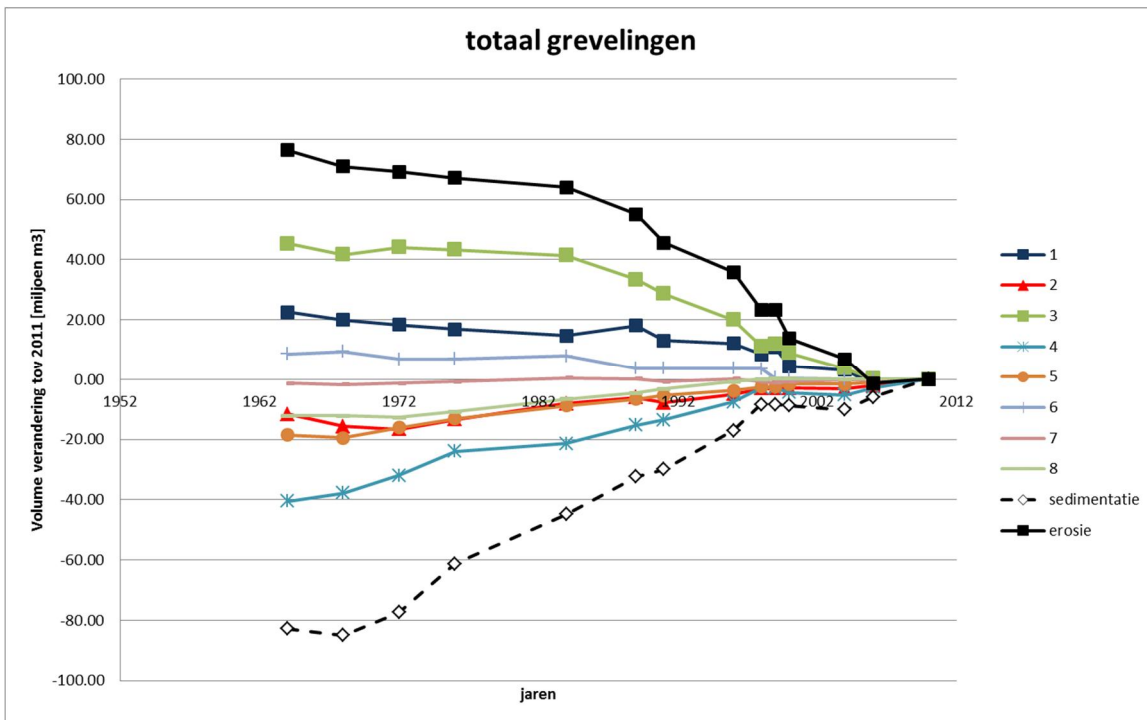
Figuur B.5 Volumeverandering van de Oosterscheldemonding voor de geselecteerde deelpolygonen 3-8 t.o.v. de 2011 meting.

#### B.4 Grevelingenmondning

Figuur B.6 illustreert de ongecorrigeerde (blauwe lijn) en gecorrigeerde volumeontwikkeling (rode lijn) door de tijd. De ongecorrigeerde data geeft een beeld van een initieel sterke zandvolume met een piek in 1980 en een afname van de buitendelta tot 2006. Over de gehele periode is het volume echter vrijwel constant. De grote uitschieter in volume in 1980 wordt gedeeltelijk veroorzaakt door de 1980 bodem. Bekijken we de bodem in detail dan zien we dat deze bodem in zijn geheel wat te hoog ligt t.o.v. de eerdere en latere bodem. Ook de 2010 bodem vertoont een duidelijke trendbreuk. Het is niet geheel duidelijk hoe dit komt. Nemen we deze bodem niet mee in de analyse dan zien we een vrij constant volume tot 1972, een toenemend volume tot 1984 en daarna de overgang van een sedimenteerdend naar eroderend systeem tot 2006. Deze overgang van sedimentatie naar erosie wordt vrijwel alleen veroorzaakt door de toegenomen erosie sinds 1984. In de periode 1962-1974 lag de erosie van polygonen 1,2,4,7 op 0,6 miljoen m<sup>3</sup>/jaar. In de periode 1984-2006 ligt deze erosie op een vrijwel constante lijn van -3.5 miljoen m<sup>3</sup>/jaar. Tussen 2006 en 2012 is deze erosie nihil. Het wegvallen van de erosie verklaart de trendbreuk in 2006. Over de vrijwel de gehele periode (1968-2010) is de sedimentatie binnen de landwaartse polygonen (3,5,6,9) vrijwel constant op 2 miljoen m<sup>3</sup>/jaar.



Figuur B.6 Volumeverandering van de Grevelingenmondning (polygoenen 3-8) t.o.v. de 2011 meting.



Figuur B.7 Volumeverandering van de Grevelingenmondning voor de geselecteerde deelpolygoenen 3-8 t.o.v. de 2011 meting.



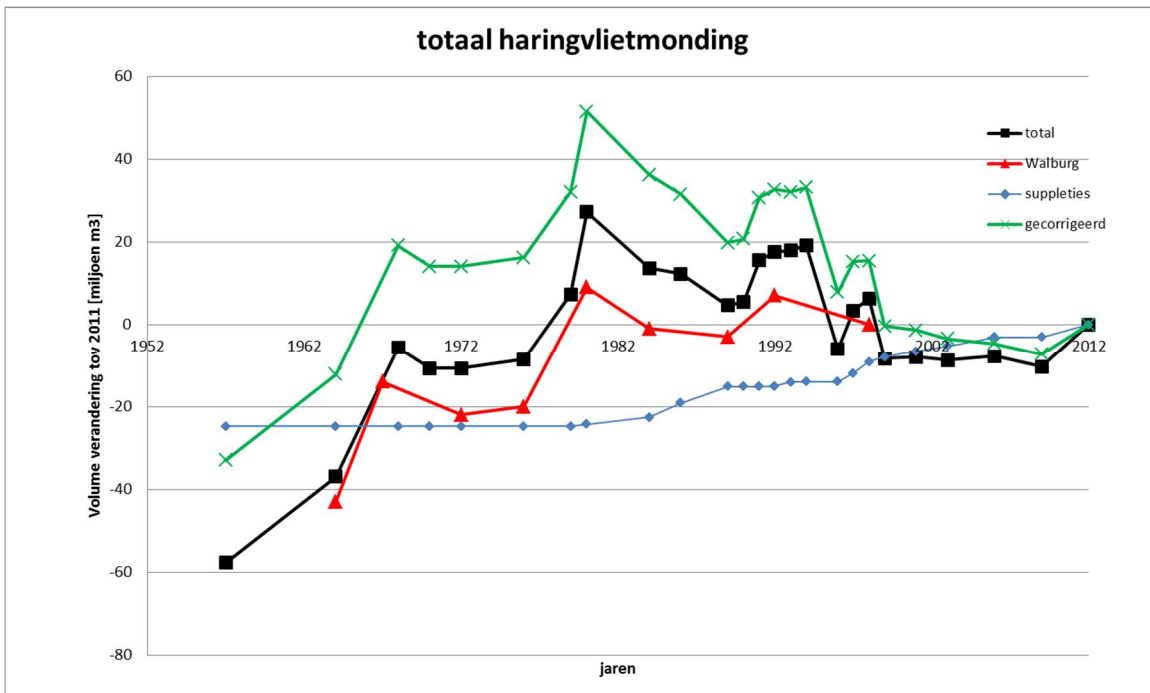
## B.5 Haringvlietmonding

In voorgaande paragraaf is de volumeverandering van de morfologische eenheden beschouwd. In deze paragraaf gebruiken we vaste polygoongrenzen om de volumeontwikkeling door de tijd te beschouwen (Figuur B.1). Figuur B.8 illustreert de gecorrigeerde (blauwe lijn) en ongecorrigeerde volumeontwikkeling (rode lijn) door de tijd. De ongecorrigeerde lijn gebruikt de bodemdata zoals gepresenteerd in Appendix A.

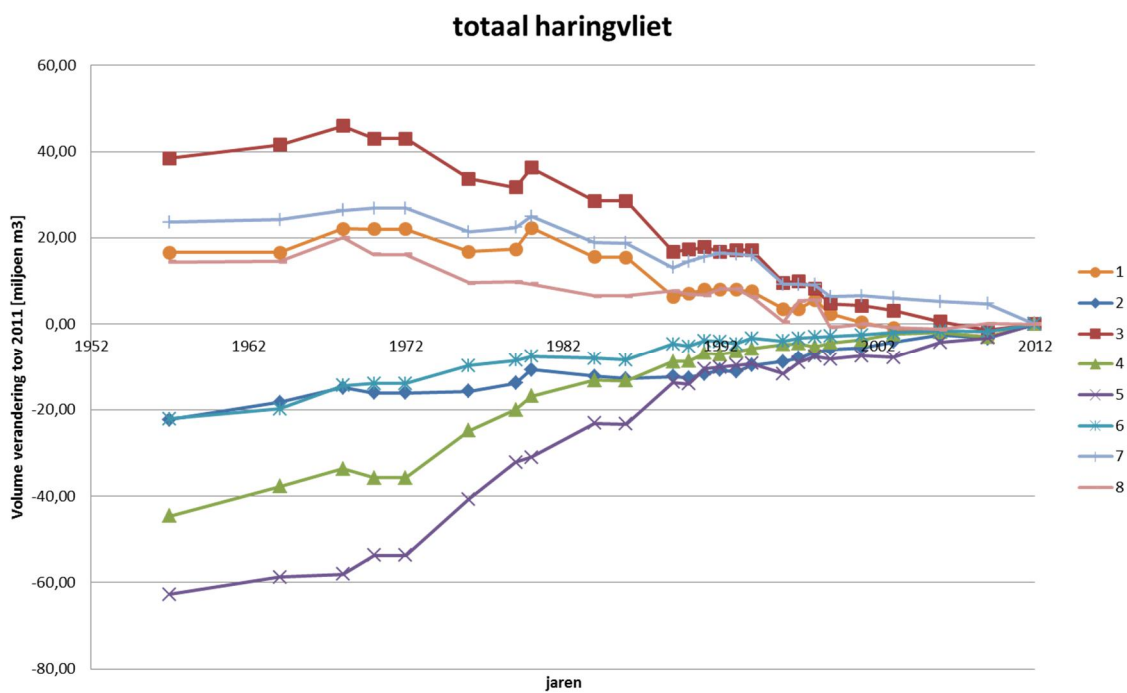
Het beeld vanuit deze data is gelijk aan de Grevelingenmonding. Initieel, tot 1980, is er een toename van het zandvolume. In de periode 1980-1998 is de trend overheersend negatief. Sinds 1998 lijkt de volumeontwikkeling te stabiliseren. De toename in volume tussen 2009 en 2012 wordt misschien veroorzaakt door de 2012 bodem. Deze bodem vertoont inconsistenties waardoor getwijfeld wordt aan de nauwkeurigheid. In totaal zijn de volumes van de Haringvliet

Ten op zichte van de eerste bodems heeft zijn de volumes wel significant toegenomen (met ongeveer 58 miljoen m<sup>3</sup>). De deelpolygonen laten zien dat er een duidelijke tweedeling in overwegend eroderende zeewaartse polygonen (1,3,7,8) en sedimenterende, landwaartse, polygonen (2,4,5,6).

De geobserveerde toename is wel inclusief suppleties. Corrigeren we voor suppleties, dan zijn de toenames kleinere (33 miljoen m<sup>3</sup>). Een groot verschil na correctie is dat de periode 1998-2009 na correctie eroderend is. De suppleties compenseren voor deze verliezen waardoor het totaal stabiel is.



Figuur B.8 Volumeverandering van de Haringvlietmonding (polygoenen 3-8) t.o.v. de 2011 meting.



Figuur B.9 Volumeverandering van de Haringvlietmonding voor de geselecteerde deelpolygoenen 3-8 t.o.v. de 2011 meting.